สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง ผลของชนิดฟอสเฟต เกลือ และความเป็นกรดด่างต่อผลผลิตและคุณภาพของปลานิลแล่แช่แข็ง

Effects of Phosphate Types, Salt and pH on Yield and Quality of Frozen Nile Tilapia Fillets

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ: การพัฒนาระบบการผลิตปลานิลเพื่อเข้าสู่มาตรฐานการส่งออก

Development of tilapia culture systems under export standard criteria

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555

จำนวน 234,300 บาท

หัวหน้าโครงการ นางสุดาพร ตงศิริ

ผู้ร่วมโครงการ นายสุธี วังเดือย

นางสาวจีรวรรณ มณีโรจน์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30 ก.ย. 2556

คำนิยม

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รวมทั้งสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยต่อเนื่องเป็นปีที่ 2 ซึ่งได้รับการจัดสรรงบประมาณการวิจัยประจำปี 2555 ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การอนุเคราะห์ใช้เครื่องแช่แข็ง ขอบคุณคณาจารย์ บุคลากร นิสิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง และภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การช่วยเหลือในการทำวิจัย และเป็นผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ และขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนจนงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

สุดาพร ตงศิริ
สุธี วังเตือย
จีรวรรณ มณีโรจน์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	3
คำนำ	4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	15
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	23
สรุปผลการวิจัย	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	54

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ชนิดของสารประกอบฟอสเฟตและคุณสมบัติเชิงหน้าที่	12
ตารางที่ 2	สมบัติทั่วไปของโพลีฟอสเฟตบางชนิด	15
ตารางที่ 3	ค่า pH ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน	25
ตารางที่ 4	ความชื้นของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน	26
ตารางที่ 5	การวัดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็ง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน	28
ตารางที่ 6	ค่า Thiobarbituric acid ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน	29
ตารางที่ 7	ปริมาณฟอสเฟตในเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่แช่ในสารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ	30
ตารางที่ 8	ค่าการสูญเสียน้ำจากการละลาย (เปอร์เซ็นต์) ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน	32
ตารางที่ 9	น้ำหนักที่สูญเสียหลังจากการหุงต้ม (cooking loss) และปริมาณผลได้หลังจาการหุงต้ม (cook yield) ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน	34
ตารางที่ 10	ค่าสีแสดงเป็นระยะพิกัด CIE Lab ของตัวอย่างเนื้อปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน	36
ตารางที่ 11	ค่าเนื้อสัมผัสโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการทำละลายดิบระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน	39
ตารางที่ 12	ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของตัวอย่างปลานิลแล่แช่แข็งแบบดิบโดยใช้สเกลคะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale	41
ตารางที่ 13	ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของตัวอย่างปลานิลแล่แช่แข็งแบบสุกโดยใช้สเกลคะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale	43
ตารางที่ 14	การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิต Psychrophile และMesophile ของตัวอย่างปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษา 8 เดือน	44

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ขั้นตอนการหาชนิดของสารผสมฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง	22
ภาพที่ 2	เนื้อปลานิลแล่ที่ขนส่งมาจากแหล่งรับจ้างแล่ปลา นำมาแยกขนาดของชิ้นปลาตามน้ำหนัก และแช่ในสารละลายฟอสเฟตต่อไป	24
ภาพที่ 3	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปลานิลแล่แช่แข็ง	24

ผลของชนิดฟอสเฟต เกลือ และความเป็นกรดด่างต่อผลผลิตและคุณภาพของปลานิลแล่แช่แข็ง

Effects of Phosphate Types, Salt and pH on Yield and Quality of Frozen Nile Tilapia Fillets

สุดาพร ตงศิริ[1] สุธี วังเตือย[2] จีรวรรณ มณีโรจน์[3]

Sudaporn Tongsiri[1], Sutee Wangtueai[2] and Jirawan Maneerote[3]

[1]คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

[2]คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว จ.สระแก้ว 27160

[3]ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

ผลิตปลานิแล่แช่แข็งโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต จากงานวิจัยที่ผ่านมา เก็บรักษาในลักษณะบรรจุชิ้นปลาในถุงซิปล็อคถุงละ 1 ชิ้น เก็บรักษาที่อุณภูมิ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 เดือน และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง เปรียบเทียบกับหน่วยทดลองเปรียบเทียบ (Control) ที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต คุณภาพทางเคมี พบว่าเนื้อปลานิลที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยมีองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีน ไขมัน ความชื้น และเถ้ามีปริมาณ เท่ากับ 17.33 2.54 75.73 และ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่า pH ของเนื้อปลาลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บรักษาเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งชนิดที่ผ่านการแช่สารประกอบฟอสเฟตผสมเกลือ (STPP+NaCl) และไม่ผ่านการแช่ (Control) มีค่าใกล้เคียงกันในทุกเดือนระหว่างการเก็บรักษา ค่า TVB-N ในตัวอย่าง Control มีค่าสูงกว่ากลุ่มตัวอย่าง STPP+NaCl และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณ TBA ของตัวอย่าง Control และ STPP+NaCl มีปริมาณ 0.01- 0.02 mg malondialdehyde/kg sample และปริมาณฟอสเฟตในกลุ่ม STPP+NaCl และControl มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในทุกตัวอย่างมีปริมาณฟอสเฟตไม่เกิน 5000 mg/kg

คุณภาพทางกายภาพ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเนื้อปลานิลแล่หลังจากแช่เนื้อปลาในสารละลาย Control และ STPP+NaCl มีค่าเท่ากับ 3.67±2.43 และ 5.36±0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากการละลายของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน มีค่าใกล้เคียงกัน น้ำหนักที่สูญเสียหลังการหุงต้มของตัวอย่าง Control จะมีค่าสูงกว่าตัวอย่าง STPP+NaCl ปริมาณผลได้หลังจากการหุงต้มของกลุ่ม STPP+NaCl มีค่าสูงกว่าตัวอย่าง Control แต่การเก็บรักษาที่ระยะ 8 เดือน

ไม่มีผลต่อค่าปริมาณผลได้หลังการหุงต้ม ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และความสว่างของ STPP+NaCl จะมีค่ามากกว่า Control ส่วนค่า a^* b^* C* และ h* มีค่าไม่แตกต่างกันในระยะเวลาการเก็บรักษา 8 เดือน ขณะที่ C* ของตัวอย่าง Control มีค่าสูงกว่าตัวอย่าง STPP+NaCl ลักษณะเนื้อสัมผัสของปลานิลแล่แช่แข็งมีการเปลี่ยนแปลง โดยค่า hardness และgumminess มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ส่วนค่า adhesiveness และcohesiveness ในแต่ละเดือนของการเก็บรักษาทั้ง 2 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน

คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของชิ้นปลานิลแล่ดิบระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนของการเปลี่ยนแปลง ส่วนค่าคะแนนความชอบของเนื้อปลานิลสุก ด้านลักษณะปรากฏ และด้านเนื้อสัมผัส ในกลุ่ม STPP+NaCl มีค่าสูงกว่าตัวอย่าง Control ค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่น และรสชาติของตัวอย่างที่เก็บรักษาในแต่ละเดือนมีค่าไม่แตกต่างกัน

คุณภาพทางจุลิทรีย์ โดยตรวจสอบปริมาณจุนทรีย์ total aerobic psychrophilic และ total aerobic mesophilic พบว่าในตัวอย่างปลานิลแล่ทั้งสองตัวอย่างมีจำนวนจุลิทรีย์อยู่ในช่วง 4 log CFU/g โดยที่ปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่าง STPP+NaCl มีจำนวนต่ำกว่าตัวอย่าง Control

คำสำคัญ: ฟอสเฟต ปลานิล ปลานิลแล่ ปลานิลแล่แช่แข็ง การเก็บรักษา

Abstract

Nile tilapia fillets frozen were produced using the optimum condition in previous study. The products were packed in Ziploc plastic bag and were then stored at -18 to -20°C for the determination of qualities change in period of 8 months storage time. The fish fillets frozen were sampled for qualities determination by comparing with control (non-phosphate treated). Chemical qualities, Nile tilapia meat in this study were contained protein, lipid, moisture, and ash with 17.33, 2.54, 75.73, and 0.91, respectively. The pH of fish fillets was slightly decreased as a storage time increased. The moisture content of phosphate treated fish fillets (STPP+NaCl) was closed to the control in the period of storage time. The TVB-N of the control was higher than the STPP+NaCl sample and was trended increasing with storage time increasing. Thiobabutiric acid (TBA) of control and STPP+NaCl samples were 0.01- 0.02 mg malondialdehyde/kg sample, while the phosphate content in the STPP+NaCl and control were slightly differenced but not higher than the standard limit as 5000 mg/kg

The physical qualities were determined. Gain weight of Nile tilapia fillets was obtained 3.67±2.43% of control and 5.36±0.60% of the STPP+NaCl sample. Drip loss of both fish fillets samples was nearly same in the 8 months of the period of storage time. Cooking loss of control was higher than the STPP+NaCl sample, while cook yield of STPP+NaCl was higher than the control but the 8 months of storage were not affected to cook yield. The colors of Tilapia fillets frozen were determined. The L^* value was increased when the storage time increasing and L^* of STPP+NaCl sample were higher than control. The a^*, b^*, C*, and h* value of both samples were not different in 8 months storage time, while C* of control was higher than STPP+NaCl sample. The texture profile analysis (TPA) of Nile tilapia fillets frozen were determined after sample defrosted that were showed decreasing of hardness and gumminess with storage time increasing but were not different in adhesiveness and cohesiveness.

The acceptability score in appearance and texture of raw fish fillets were not found the changing trend but the acceptability score in appearance and texture of cooked STPP+NaCl sample was higher than control. The acceptability score in color and taste of cooked fish fillets STPP+NaCl sample were not diffcrent. In addition, the determination of total aerobic psychrophilic and total aerobic mesophilic of STPP+NaCl and control were obtained in the range of 4 log CFU/g.

Keywords: phosphate, Nile tilapia, Nile tilapia fillets, frozen Nile tilapia fillets, storage

คำนำ

ปลานิลเป็นปลาที่ตลาดผู้บริโภคยังมีความต้องการ และได้รับความนิยมเลี้ยงเนื่องจาก เป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว มีความแข็งแรง และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี ราคาของปลานิลขึ้นอยู่กับความสด ขนาด น้ำหนัก และ ฤดูกาล เนื่องจากเป็นปลาที่มีราคาดีไม่มีอุปสรรคเรื่องโรคระบาดเป็นที่นิยมบริโภคและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภูมิภาค ปลานิลสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายรูปแบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันปลานิลสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศในลักษณะของปลาแล่เนื้อ ปลาทั้งตัว แบบแช่เย็น หรือแช่แข็ง ซึ่งมีปริมาณการส่งออกปลานิลแช่แข็งทั้งตัวในปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 6,900 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 265 ล้านบาท และช่วงครึ่งปีแรกของปี พ.ศ. 2556 (เดือนมกราคม-สิงหาคม) มีปริมาณการส่งออกปลานิลแช่แข็งทั้งตัวประมาณ 4,500 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 176 ล้านบาท ตลาดที่สำคัญๆที่นำเข้าผลิตภัณฑ์ปลานิลแช่แข็งทั้งตัวจากไทย เช่น สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ แคนาดา ฝรั่งเศส คูเวต อังกฤษ ซาอุดิอาราเบีย เนเธอแลนด์ อิตาลี สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา เป็นต้น ขณะที่ผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็งในปี พ.ศ. 2555 มีการส่งออกประมาณ 386 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 24 ล้านบาท และช่วงครึ่งปีแรกของปี พ.ศ. 2556 (เดือนมกราคม-สิงหาคม) มีปริมาณการส่งออกเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งประมาณ 236 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 14 ล้านบาท ตลาดที่สำคัญๆที่นำเข้าผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็งจากไทย เช่น ไต้หวัน เบลเยี่ยม อิตาลี แคนาดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เนธอแลนด์ เป็นต้น (กรมศุลกากร, 2556) ดังนั้นการเลี้ยงปลานิลให้มีคุณภาพ ปราศจากกลิ่นโคลนย่อมจะส่งผลดีต่อการบริโภค การจำหน่ายและการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าที่สุด จึงควรรักษาคุณภาพของเนื้อปลานิลตลอดระยะเวลาการขนส่งจนกว่าจะถึงมือของผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์ปลานิลสดส่งออก มีหลายรูปแบบ ได้แก่ ปลานิลทั้งตัว (whole fish) และปลานิลแล่ (fish fillets) มีทั้งแบบแช่เย็น หรือแช่แข็ง การขนส่งผลิตภัณฑ์จึงต้องมีกาควบคุมอุณภูมิให้คงที่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการแปรรูปที่ช่วยคงคุณภาพของอาหารให้ใกล้เคียงของสดมากที่สุด ทั้งยังสามารถเก็บรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานเป็นปี ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีและกระบวนการผลิต แต่จำกัดของผลิตภัณฑ์ปลาแล่แช่แข็งคือหลังจากการละลายเนื้อปลาแช่แข็งจะทำให้ให้เกิดสารสูญเสีย (drip loss) ซึ่งเนื้อปลาจะสูญเสียปริมาณน้ำในเซลล์ รวมถึงโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุที่สามารถละลายน้ำได้ การสูญเสียของเหลวดังกล่าวนอกจากจะทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลงแล้วยังเป็นการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร รสชาติ และเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของปลาแล่แช่แข็งด้วย (Foegeding et al., 1996) การสูญเสียนั้นนอกจากจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แล้วยังมีผลต่อมูลค่าของผลิตภัณฑ์

และมูลค่าการตลาดของผู้ประกอบการด้วย ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อปลาแล่แช่แข็ง จึงมักมีการนำเอาสารประกอบฟอสเฟตเข้ามาใช้ด้วยวัตถุประสงค์หลักเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำ ลดการสูญเสียน้ำหนักทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและช่วยรักษาคุณภาพของเนื้อสัมผัสไว้ได้ สำหรับรูปแบบการใช้สารละลายฟอสเฟตส่วนมากจะมีการกำหนดระดับของความเป็นกรดด่าง (pH) และระดับความเข้มข้นของเกลือร่วมด้วย เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ ช่วยให้สามารถปรับปรุงรสชาติของเนื้อปลาแล่แช่แข็งให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ดียิ่งขึ้น (นงนุช, 2544) แต่การใช้สารประกอบฟอสเฟตของเนื้อปลาแล่ในปัจจุบัน ผู้ผลิตมักใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จที่พร้อมใช้ ซึ่งสะดวกในการปฏิบัติในโรงงาน ซึ่งลักษณะการใช้ก็จะเป็นไปตามคำแนะนำของบริษัทผู้ขายวัตถุเจือปนอาหารเหล่านั้น ทำให้ยากต่อการกำหนดระดับความเข้มข้นของสารฟอสเฟต ระยะเวลา ค่าความเป็นกรดด่าง และค่าความแข็งแรงของประจุ (ionic strength) ที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านั้น เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการใช้สารประกอบฟอสเฟตแต่ละชนิด

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยในปีงบประมาณ 2554 ซึ่งจะเน้นการศึกษาผลของฟอสเฟตต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง โดยได้ทราบสภาวะการผลิตเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่มีประสิทธิภาพการผลิตสูงสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อปลา ทั้งยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและคุณภาพของเนื้อปลาแล่ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และผ่านเกณฑ์การควบคุมปริมาณสารฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นงานวิจัยต่อเนื่องในปีงบประมาณ 2555 จึงให้ความสำคัญกับคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง โดยมีการศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาปลานิลแล่แช่แข็งเป็นระยะเวลา 8 เดือน เพื่อประเมินแนวโน้มของระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ใช้สารฟอสเฟตผสมกับเกลือในระดับที่เหมาะสมจากการวิจัยที่ผ่านมา

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาการผลิตภัณฑ์ปลานิลแล่แช่แข็งโดยใช้สารฟอสเฟตในการช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ
2. ศึกษาคุณภาพทางเคมีของปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างเก็บรักษา
3. ศึกษาคุณภาพทางกายภาพของปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างเก็บรักษา
4. ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างเก็บรักษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะการใช้สารละลายฟอสเฟตผสมกับเกลือในการผลิตเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง
2. ช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถควบคุมคุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ทราบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างเก็บรักษา
4. เป็นองค์ความรู้ในการนำไปใช้สำหรับภาคอุตสาหกรรม หรือการทำวิจัยต่อไป

ขอบเขตของโครงการวิจัย

การตรวจเอกสาร

ปลาแล่คือผลิตภัณฑ์เนื้อปลาที่ได้จากการแล่ปลาตามยาวขนานกับกระดูกสันหลังของลำตัว โดยมีรูปร่างและขนาดที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กลับขนาดของตัวปลา การเก็บรักษาเนื้อปลาแล่แช่เย็นที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส ควรมีการใช้เทคนิค หรือกรรมวิธีการร่วมเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานยิ่งขึ้น ได้แก่ การใช้สารสกัดจากธรรมชาติ การใช้สารเคมี การใช้เทคโนโลยีการบรรจุ เช่น การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ หรือสภาพสุญกาศ และการใช้รังสี เป็นต้น(Shahidi and Botta, 1994) การใช้กรดอินทรีย์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อป้องกัน หรือชลอการเจริญของจุลินทรีย์ และต้านการหืนของเนื้อปลาแล่แช่เย็น พาขวัญ (2546) รายงานว่าการเก็บรักษาปลาทับทิมแล่แช่เย็น ควรจุ่มในสารละลายกรดแล็กติกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 10 วินาที ร่วมกับการบรรจุในถุงพลาสติก HDPE สภาวะบรรจุแบบสุญญากาศ จะช่วยให้เก็บปลาทับทิมแล่แผ่นได้นานสูงสุด 30 วัน

สารประกอบโพลีฟอสเฟตได้รับการรับรองให้เป็นสารเจือปนอาหารที่มีความปลอดภัย (Generally recognized as safe: GRAS) สารโพลีฟอสเฟตให้คุณสมบัติหลายประการเมื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และสัตว์น้ำ คุณสมบัติหลัก คือ สามารถเพิ่มความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) ของโปรตีนได้ ฟอสเฟตจะมีปฏิสัมพันธ์กับโปรตีนในกล้ามเนื้อ และจะเพิ่มความสามารถของโปรตีนในการจับกับน้ำ ช่วยให้เนื้อสัตว์ที่ผ่านการปรุงมีผลผลิตเพิ่มขึ้น (cooking yield) นอกจากนี้ยังเป็นการคงกลิ่นรสที่ดี ทำให้น้ำและกลิ่นรสสูญเสียน้อยลงในระหว่างการปรุง ความนุ่มของเนื้อและเนื้อสัมผัสที่ดีจะยังคงอยู่ เนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อยังคงเก็บรักษาความชื้นไว้ได้ (Teicher, 1990) ฟอสเฟตเป็นสารประกอบประเภท poly-anion และสามารถจับกับองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารได้หลายชนิด เช่น โปรตีนไมโอไฟบริล (จรวย, 2548) โดยทั่วไปกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำมีโปรตีนชนิดนี้เป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 40-60 (สุทธวัฒน์, 2544) จึงทำให้โปรตีนในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ทำให้เกิดเจล และโปรตีนละลายน้ำได้มากขึ้น สารโพลีฟอสเฟตถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ และเป็นที่นิยมมาเป็นระยะเวลานานแล้ว วัตถุประสงค์การใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเฉพาะการเพิ่มค่าความสามารถในการจับกับน้ำ และที่สำคัญช่วยลดการสูญเสียภายหลังจากการทำละลายผลิตภัณฑ์ด้วย (Masniyom *et al.*, 2005) การใช้ฟอสเฟตในกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำ นิยมใช้วิธีการจุ่ม ส่วนการเติมในรูปผงนั้นนิยมใช้ในการผลิตไส้กรอกและซูริมิ (Teicher, 1990) การใช้ฟอสเฟตในอาหารทะเลนิยมพ่นสารละลายฟอสเฟตลงบนอาหารหรือจุ่มอาหารลงในสารละลาย หรืออาจฉีดสารละลายเข้าไปในปลาทั้งตัวหรือชิ้นปลาแล่ที่มีขนาดใหญ่ หรืออาจคลุกเคล้าในสภาพสุญญากาศ การใช้ฟอสเฟตควรใช้ในขั้นตอนก่อนการให้ความ

ร้อน สารฟอสเฟตจะให้ผลดีกับวัตถุดิบคุณภาพสูง และไม่ควรใช้ฟอสเฟตเพื่อปิดบังคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียหรือด้อยคุณภาพ (Henson and Kowalewski, 1992)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลาในระหว่างการเก็บรักษา

ปลาและสัตว์น้ำเป็นอาหารประเภทที่เน่าเสียได้เร็วมาก กระบวนการเน่าเสียเกิดจากกระบวนการย่อยสลายตัวของโปรตีนในปลาหรือสัตว์น้ำด้วยเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวปลา คือ กระบวนการออโต้ไลสิส (autolysis) หรือเกิดการทำปฏิกิริยาของไขมันในปลากับออกซิเจนทำให้เกิดกลิ่นหืน หรือการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Dalgaard, Gram, and Huss, 1993, Pieriovanni and Fava, 1993) ด้วยเหตุนี้จึงต้องให้ความสำคัญกับการจัดการหลังการจับปลาหรือสัตว์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงภายหลังจากปลาตาย จะเกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อปลาที่เรียกว่าการเกิด rigor mortis ระยะนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นระยะที่ยังไม่เกิดการสลายตัวของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนโดยเอนไซม์ของปลาเอง และจากจุลินทรีย์ การถนอมรักษาคุณภาพสัตว์น้ำจะทำโดยการยืดช่วงระยะนี้ให้ยาวออกไป จะทำให้ปลาหรือสัตว์น้ำมีอายุการเก็บนานขึ้น อีกประการหนึ่งคือการปฏิบัติที่ดีระหว่างการจับ การขนส่ง ก็จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไปได้อีก (Farber, 1991; Fraser and Sumar, 1998) หลังจากผ่านระยะการเกร็งตัวแล้วกล้ามเนื้อปลาจะมีลักษณะนิ่มลง เนื่องจากเอนไซม์ที่มีอยู่ภายในตัวปลา และเอนไซม์จากของจุลินทรีย์ย่อยสลายองค์ประกอบของเนื้อปลา กลายเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compound) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า นอกจากนี้การย่อยสลายโปรตีนในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบที่ระเหยและก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่าได้เช่นกัน เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulphide) เมทิลเมอแคปแทน (methylmercaptan) อินโดล (indole) เอมีน (amine) และแอมโมเนีย (ammonia) ซึ่งการเน่าเสียแบบนี้มักมีสาเหตุจาก *Clostridium* spp. หลายชนิด และ แบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการเจริญเล็กน้อย (facultative bacteria) เช่น *Pseudomonas* spp., *Alcaligenas* และ *Proteus* บางชนิด (Fraser and Sumar, 1998; Gray et al., 1983; Manzano-mazorra et al., 2000)

ปริมาณสารประกอบและผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเมทาโบลิซึม การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวปลา (endogenous enzymes) การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และสภาวะหรือลักษณะหลังจากการจับปลาจะส่งผลต่อการการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาหลังการจับหรือหลังจากปลาตาย ซึ่งโดยทั่วไปการเน่าเสียของปลา สามารถสังเกตได้จากเกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่แสดงถึงความสด

ออกไป เช่น (fresh fish flavor) เช่น รสหวาน (sweet) รสชาติคล้ายสาหร่าย (seaweedy) หลังจากนั้น กลิ่นเหม็นเน่าและรสที่ผิดปกติก็จะเกิดขึ้น ทำให้ปลาไม่เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค (Fraser, 1998) เช่นเดียวกับรายงานของ Pacheco-Aguilar et al. (2000) ซึ่งรายงานว่าในวันแรกของการเก็บรักษาปลาซาร์ดีนในน้ำแข็ง เอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวปลา (endogenous enzymes) จะมีบทบาทสำคัญมากที่จะทำให้ปลามีการสูญเสียความสดไป

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง

ระหว่างการเก็บรักษาปลาในสภาพแช่แข็งจะทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนในกล้ามเนื้อปลาได้ ทำให้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเปลี่ยนไป เช่น โปรตีนไมโอไฟบริล ชนิด ไมโอซิน สามารถสูญเสียสภาพได้ง่ายระหว่างการแช่แข็ง ส่วนโปรตีนซาโคพลาสมิก เช่น ไมโอเจน ไมโอแอลบลุมิน โปรตีนสโตรมา เช่น คอลาเจน และอิลาสติน จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่แข็ง (สุทธวัฒน์, 2548) ดังรายงานของ Matsumoto ในปี ค.ศ. 1980 อธิบายว่าทั้งไมโอซินและแอกติน จะสูญเสียสภาพในช่วงแรกของการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง ส่วนโทรโปนิน และไทรไปไมโอซินจะเกิดการสูญเสียสภาพในเวลาต่อมา ซึ่งการเสียสภาพนี้เกิดจากการจับเรียงตัวของโมเลกุลโปรตีนโดยพันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก และพันธะไดซัลไฟล์ส่งผลให้เกิดการรวมตัวและสูญเสียสภาพของโปรตีน

การสูญเสียสภาพของโปรตีนในปลาแช่แข็งมีสาเหตุหลากหลาย อัตราการสูญเสียสภาพจะขึ้นอยู่กับชนิดของปลา องค์ประกอบของปลา สภาวะการแปรรูป และการเก็บรักษา การบดเนื้อปลาก่อนการแช่แข็ง สภาวะที่เร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน การเก็บที่สภาวะอุณภูมิสูง หรือการเก็บในสภาพแช่แข็งเป็นระยะเวลานาน ซึ่งการเติมสารป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนสามารถลดการสูญเสียสภาพของโปรตีนที่เกิดจากกระบวนการแช่แข็งและเก็บรักษาได้ (สุทธวัฒน์, 2548)

ในระหว่างการแช่แข็งยังเกิดการสลายตัวของไขมัน โดยเอนไซม์ฟอสโฟไลเพส กรดไขมันอิสระมีผลทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวขึ้น โดยมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพ และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (สุทธวัฒน์, 2548) การเกิดออกซิเดชันทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติในผลิตภัณฑ์ได้ Masniyom และคณะ (2005) รายงานว่าปริมาณ Thiobarbituric acid (TBA) ในเนื้อปลากระพงแล่ที่เก็บรักษาในสภาพแช่เย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเกิด

การออกซิเดชันของไขมันในปลาจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่มีการจับปลา หรือหลังจากที่ปลาตาย ตลอดจนในระหว่างกระบวนการแปรรูป ดังนั้นจึงทำให้เราสามารถรับรู้กลิ่นหืนที่เกิดขึ้นได้

สารประกอบฟอสเฟต (Phosphate compounds)

1.ชนิดของสารประกอบฟอสเฟต

ฟอสเฟตเป็นสารประกอบที่เตรียมได้จากกรดฟอสฟอริก ด้วยกระบวนการทำให้เป็นกลางบางส่วนหรือทั้งหมด ด้วยโลหะไอออนของด่าง (Alkali metal ions) ส่วนมาจะเป็นพวก โซเดียมไอออน โพแทสเซียมไอออน หรือแคลเซียมไอออน (Dziezak, 1990) โดยทั่วไปฟอสเฟตสามารถจัดตามอนุพันธ์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1 ออโทรฟอสเฟต (Orthophosphates)

ออโทรฟอสเฟตประกอบด้วยฟอสฟอรัส 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม (ตารางที่ 1) แบบโครงสร้าง tetrahedral พอลิเมอร์สามารถจัดเรียงตัวแบบเส้นตรง หรือแบบวงกลม สารประกอบของออโทรฟอสเฟตจะมี three valenccs ที่สามารถถูกเติมด้วย ไฮโดรเจนอะตอม หรือ alkali metal cations หรือ องค์ประกอบของไฮโดรเจนและไอออนโลหะ โครงสร้างพื้นฐานของโมโนออโทรฟอสเฟตจะมี อัลคาร์ไลน์มีเทลไอออน 1 ไอออน ไฮโดรเจน 2 อะตอม ไดเบสิกออโทรฟอสเฟต จะมี อัลคาร์ไลน์มีเทลไอออน 2 ไอออน ไฮโดรเจน 1 อะตอม และไตรเบสิกออโทรฟอสเฟต เป็น กลางด้วย มีเทลไอออน 3 ไอออน (Dziezak, 1990)

1.2 คอนเด็นซ์ฟอสเฟต (Condensed phosphates)

คอนเด็นซ์ฟอสเฟตสามารถผลิตจากการให้ความร้อนส่วนผสมของออโทรฟอสเฟตภายใต้สภาวะควบคุม สามารถทำให้เกิดการรวมกันของฟอสฟอรัสอะตอม 2 ตัวหรือมากกว่าผ่านการเชื่อมต่อด้วยออกซิเจน กลุ่มนี้ประกอบด้วยโครงสร้างโซ่ตรง และวงแหวนของฟอสเฟตที่เรียกว่า โพลีฟอสเฟต และเมตตะฟอสเฟต ตามลำดับ (Dziezak, 1990)

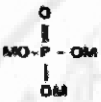
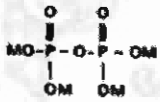
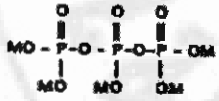
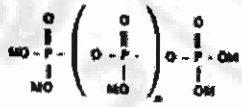
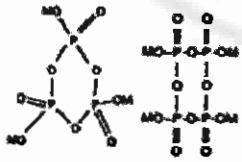
ฟอสเฟตผลิตจากการเผาหินฟอสเฟตที่อุณหภูมิสูง แล้วจะทำให้ได้ phosphoric anhydride (P_4O_{10}) หรือในรูปอย่างง่ายก็คือ phosphorus pentaoxide (P_2O_5) จากนั้นนำไปละลายน้ำได้เป็นกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ดังปฏิกิริยา

$$P_4 + 5O_2 \longrightarrow P_4O_{10}$$

$$P_4O_{10} + 6H_2O \longrightarrow 4H_3PO_4$$

กรดฟอสฟอริกที่ได้ยังเป็นเกรดระดับอุตสาหกรรม ต้องนำไปทำให้บริสุทธิ์ก่อน โดยการกำจัดอาร์เซนิก ออกไปด้วยการใช้ hydrogen sulfide

ตารางที่ 1 ชนิดของสารประกอบฟอสเฟตและคุณสมบัติเชิงหน้าที่

Class of phosphate and Basic structure[a]	Phosphate name	Generally accepted formula	pH (1% solution)	Solubility at 25% (g/100g water)	Function
Orthophosphate	Monosodium phosphate	NaH_2PO_4	4.6	87	Emulsifier, buffer
	Disodium phosphate	Na_2HPO_4	9.2	12	Emulsifier, buffer
	Disodium phosphate dihydrate	$Na_2HPO_4 .2H_2O$	9.1	15	Emulsifier, buffer
	Trisodium phosphate	Na_3PO_4	11.8	14	Emulsifier, buffer
	Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	4.6	25	Water binding in meats
	Dipotassium phosphate	K_2HPO_4	9.3	168	Emulsifier, buffer
	Tripotassium phosphate	K_3PO_4	11.9	107	Emulsifier, buffer
	Monocalcium phosphate	$Ca(H_2PO_4) .H_2O$	3.8	-	Acidulant, leaving acid, dough condition, yeast food, nutrient
Condensed phosphates					
pyrophosphate	Sodium acid pyrophosphate	$Na_2H_2P_2O_7$	4.3	15	Emulsifier,buffer,sequestrant Water binding in meats
	Tetrasodium pyrophosphate	$Na_4P_2O_7$	10.3	8	Dispersant, coagulant, crystallization inhibitor in canned tuna
	Tetrapotassium pyrophosphate	$K_4P_2O_7$	10.5	187	Emulsifier, Water binding in meats, suspending agent
tripolyphosphate	Sodium tripolyphosphate	$Na_5P_3O_{10}$	9.9	15	Emulsifier, Water binding in meats
	Potassium tripolyphosphate	$K_5P_3O_{10}$	9.6	193	Emulsifier, Water binding in meats
Long-chain polyphosphates	Sodium polyphosphates, glassy, or Graham's Salt;	$(NaPO_3)_6 .Na_2O$	7.7	40[b]	Sequestrant, emulsifier Water binding in meats, suspending agent
	three chain lengths;	$(NaPO_3)_{13} .Na_2O$	6.9	40[b]	Sequestrant, emulsifier Water binding in meats, suspending agent
	Sodium hexametaphosphate has an average chain length of 13	$(NaPO_3)_{21} .Na_2O$	6.3	40[b]	Sequestrant, emulsifier Water binding in meats, suspending agent
Metaphosphate					
Tri- **Tetra-**	Sodium trimetaphosphate	$(NaPO_3)_3$	6.7	23	
	Sodium tetrametaphosphate	$(NaPO_3)_4 .4H_2O$	6.2	18	

[a]M stands for one equivalent of a metal ion or hydrogen

[b]Solubility is higher than 40% but recommended for ease of preparation and use

ที่มา: Dziezak (1990)

เมื่อได้กรดฟอสฟอริกที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วจะนำไปเจือจางให้มีความเข้มข้น 75-85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะได้กรดฟอสฟอริกเกรดระดับการค้า หรือนำไปทำให้เข้มข้นจะได้เป็น superphosphoric acid โดยโครงสร้างทางเคมีอย่างง่ายของฟอสเฟตประกอบด้วย PO_4 ซึ่งจะจับกับอะตอมอื่นโดยการใช้ออกซิเจนอะตอมร่วมกัน สามารถแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่าง anionic oxide กับ cationic oxide ได้เป็น P_2O_5 / M_2O โดยที่ M อาจเป็นหมู่โลหะหรือไฮโดรเจน และสามารถแสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีในรูปปริมาณสัมพันธ์ของออกไซด์ ได้ เช่น sodium tripolyphosphatc ซึ่งมีสูตรโมเลกุล $Na_5P_3O_{10}$ สามารถแสดงในรูปปริมาณสัมพันธ์ของออกไซด์ได้เป็น $5Na_2O{\cdot}3P_2O_5$ (Molins, 1991)

2. หน้าที่ของฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์อาหาร

ด้วยสมบัติทางเคมีของสารฟอสเฟตทำให้สารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติที่ส่งผลต่ออาหารได้หลายรูปแบบ ได้แก่

2.1 การยับยั้งกิจกรรมของไอออนโลหะ (metal ions)

ฟอสเฟตมีสมบัติเป็นสารจับโลหะ (Park, 2000) โดยที่ฟอสเฟตสามารถยับยั้งกิจกรรมของไอออนโลหะที่จะไปทำปฏิกิริยาทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย ซึ่งการยับยั้งสามารถทำได้ทั้งแบบทำให้ไอออนเกิดการตกตะกอน และการแยกออก ไปจากอาหารโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมในกระบวนการแปรรูป หรือ โดยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนและ ให้คงอยู่ในรูปที่ละลายได้ (Ellinger, 1975)

2.2 การรวมตัวกับสารออกานิกโพลีอิเล็คโทรไลท์ขององค์ประกอบอาหาร (organic polyelectrolyte food constituents)

ในรูปของสารละลายฟอสเฟตจะเป็น polyvalent anions ซึ่งมีประจุลบ (nagative charges) มากกว่า 1 ประจุ ส่วนออโทรฟอสเฟตมีประจุลบมากถึง 3 ประจุขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่าง และโพลีฟอสเฟตสามารถเป็นได้มากว่าไอออนลบ สารโพลีฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหารได้หลากหลายซึ่งทำให้เกิดผลดีแก่อาหาร เช่น สามารถทำให้เกิดการดูดซับภายในพื้นผิวขององค์ประกอบ และส่งผลต่อจำนวนประจุที่พื้นผิวแล้วทำให้เกิดการไม่รวมตัวกันของตะกอน ทำให้เกิดการกระจาย ทำให้เกิดอิมัลชัน หรือทำให้เกิดการแขวนลอยขององค์ประกอบ

อาหาร (Van Wazer, 1971) ความสามารถของสารโพลีฟอสเฟตที่จะทำให้ตัวมันเองทำปฏิกิริยากับประจุบวกในส่วนของโมเลกุลใหญ่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการจับกับน้ำ และการเกิดเจลของโปรตีน ปรับปรุงความสามารถในการเกิดโฟมด้วยการเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีน สารโพลีฟอสเฟตยังช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการตกตะกอนและการไม่ละลายของโปรตีนสำหรับกระบวนการแยกโปรตีนได้ (Ellinger, 1972; Van Wazer, 1971) ความสามารถในการเป็นสาร polyelectrolyte ของโพลีฟอสเฟตโดยทั่วไปแล้วจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโมเลกุล (Ellinger, 1972)

2.3 การเป็นบัฟเฟอร์ หรือ สารควบคุมความเป็นกรดด่าง

ความสามารถในการควบคุมระดับค่าความเป็นกรดด่าง ภายหลังจากที่มีการเติมกรด หรือด่าง คือ ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ สารออโทรฟอสเฟต เช่น mono หรือ di-sodium phoaphate และ โพลีฟอสเฟต เช่น sodium acid pyrophosphate จะมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ได้ดีสำหรับค่าความเป็นกรดด่างในช่วง 2- 3 5.5 – 7.5 และ 10 – 12 (Van Wazer, 1971) แต่โพลีฟอสเฟตที่มีความยาวของโมเลกุลมากจะมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ต่ำลง และโพลีฟอสเฟตยังสามารถถูกใช้เป็นตัวเพิ่มหรือลดระดับพีเอชให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ ทั้งรูปของกรด เช่น monosodium phosphate monoamonoum phosphate และ sodium acid pyrophosphate และรูปของด่าง เช่น di- และ tri-sodium phosphate sodium triphosphate และ tetrasodium pyrophosphate

2. การใช้ฟอสเฟตในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การใช้ฟอสเฟตในกระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และสัตว์น้ำ อาจใช้วิธีจุ่มหรือฉีดสารละลายฟอสเฟตเข้าไปในเนื้อ หรือผสมในรูปผงแห้ง การแปรรูปเนื้อสัตว์และสัตว์ปีกนิยมใช้วิธีการฉีด เพื่อให้ฟอสเฟตแพร่กระจายในกล้ามเนื้ออย่างสม่ำเสมอ ในกุ้ง ปลา และสัตว์น้ำ แปรรูปอื่นๆ นิยมใช้วิธีการจุ่ม ส่วนการเติมในรูปผงนั้นนิยมใช้ในการผลิตไส้กรอกและซูริมิ จากรายงานของ Teicher (1990) กล่าวว่า สารประกอบฟอสเฟตที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และสัตว์น้ำมากที่สุดได้แก่ sodium tripolyphosphates (STPP) โดยใช้เดี่ยวหรือผสมกับ sodium hexametaphosphate (SHMP) นอกจากนี้ยังมี sodium acid pyrophosphate (SAPP) และ tetrasodium pyrophosphate (TSPP) คุณสมบัติโดยทั่วไปของสารประกอบฟอสเฟตสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทั่วไปของโพลีฟอสเฟตบางชนิด

สมบัติ	STPP	SHMP	SAPP	TSPP
ความเป็นกรดเบส (1% solution, 25°C)	9.8	6.9	4.4	10.2
ความสามารถในการละลาย (g/100 g, solid/sol)	13	>60	13	6
P_2O_5 (%)	58	67	64	53
Total Na_2O (%)	42	32	28	46

ที่มา: Teicher (1990)

Thorarinsdottir *et al.* (2004) ศึกษาผลของการเติมเกลือ ฟอสเฟต และโปรตีนต่อลักษณทางเคมีและเคมีกายภาพของเนื้อปลาคอดแล่แช่แข็ง วิธีการใช้ฟอสเฟตโดยการเตรียมเป็นสารละลายน้ำเกลือผสมแล้วฉีดเข้าไปด้านในของเนื้อปลาจากนั้นนำเนื้อปลาไปจุ่มในสารละลายความเข้มข้นเดียวกัน แล้วนำไปแช่แข็งแบบ plate freezer โดยที่องค์ประกอบของน้ำเกลือมีส่วนผสมที่แตกต่างกันได้แก่ ฟอสเฟต 3 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 5 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน (โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง หรือโปรตีนไฮโดรไลเสทจากปลาคอต) 10 เปอร์เซ็นต์ เนื้อปลาแล่หลังจากแช่แข็งแล้วถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณผลได้หลังการทำละลาย (yield after thawing) และ ปริมาณผลได้หลังการหุงต้ม (yield after cooking) drip loss ความสามารถในการจับกับน้ำ พีเอช และองค์ประกอบทางเคมี พบว่าปริมาณเกลือ และสารประกอบฟอสเฟตจะเป็นปัจจัยสำคัญของคุณภาพเนื้อปลาคอดแล่แช่แข็ง โดยปริมาณผลได้ต่างๆ จะสูงขึ้นเมื่อใช้สารผสมระหว่างเกลือและฟอสเฟต

Johnsen *et al.* (2009) ศึกษาผลของฟอตเฟต และเกลือต่อกล้ามเนื้อปลาคอดทั้งชนิดดิบและสุก โดยเปรียบเทียบด้วยค่าความสามารถในการจับกับน้ำ ร่วมกับการตรวจสอบด้วย NMR (nuclear magnetic resonance) โดยการการใช้ฟอสเฟตหลายชนิดเปรียบเทียบกัน ได้แก่ mono-phosphate di-phosphate tri-phosphate และ hexametaphosphate การใช้จะใช้ในรูปของน้ำไบรน์ (brine) โดยผสมระหว่างน้ำ เกลือ และฟอสเฟต ซึ่งพบว่าสาร tri-phosphate และเกลือจะมีผลต่อค่าความสามารถใน

การจับกับน้ำมากที่สุดทั้งในเนื้อปลาดิบ และสุก ส่วนการตรวจสอบด้วย NMR จะเหมาะสำหรับตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ di-phosphate และ tri-phosphate

Thorarinsdottir *et al.* (2001) ศึกษาผลของฟอสเฟตต่อปริมาณผลได้ คุณภาพ และค่าความสามารถในการจับกับน้ำ ในกระบวนการแปรรูปปลาคอดเค็ม การทดลองใช้เนื้อปลาคอดแล่และทำเค็มตามวิธีดั้งเดิมของไอซ์แลนด์แต่มีการเติมสารประกอบฟอสเฟตลงไปด้วย สารประกอบฟอสเฟตที่ใช้มี 2 ชนิดคือ โพลีฟอสเฟต และสารฟอสเฟตผสมทางการค้าที่มีองค์ประกอบของโพลีฟอสเฟตแต่มีความยาวโมเลกุลต่างกัน (ยี่ห้อ Brifisol 512) การผลิตทำได้โดยนำเนื้อปลาแล่มาแช่ในน้ำเกลือผสมฟอสเฟต เป็นระยะเวลานาน 3 วัน และนำไปทำแห้ง จากนั้นเก็บที่อุณภูมิเย็น 3-5 องศาเซลเซียส นาน 3 สัปดาห์ จากนั้นผลิตภัณฑ์ปลาคอดแล่เค็มจะถูกนำมาคืนรูปและเอาเกลือออกโดยการแช่น้ำ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและองค์ประกอบทางเคมี ผลการทดลองพบว่า ในกระบวนการทำแห้งปลาคอดแล่เค็มที่แช่ด้วยสาร Brifisol 512 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ ตัวอย่างที่แช่ด้วยโพลีฟอสเฟต และตัวอย่างควบคุม และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โพลีฟอสเฟตจะต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการใช้สารฟอสเฟต แต่การทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ปลานิลที่ใช้ในงานวิจัยนี้สั่งซื้อเนื้อปลานิลแล่แบบไม่ติดหนังจากบริษัทศักดิ์สิทธิ์ราชา อินเตอร์ฟีช จำกัด โดยโรงงานจะใช้ผู้ที่มีความชำนาญสูงในการแล่ปลา ซึ่งโรงงานใช้ปลานิลมีชีวิตจากบ่อเลี้ยงแถบจังหวัดนครปฐม และเพชรบุรี ขนส่งแบบปลาเป็นเข้ามาที่โรงงานที่ ตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ปลานิลจะผ่านการฆ่าด้วยการใช้ปลายมีดแหลมแทงที่เหงือกของปลาและทิ้งให้เลือดปลาออกในถังน้ำซึ่งเป็นเทคนิคที่ทางโรงงานใช้ปฏิบัติ โดยโรงงานให้ข้อมูลว่าการนำเลือดปลาออกก่อนแล่เป็นการช่วยลดกลิ่นโคลนของปลา และจะทำให้เนื้อปลาขาวขึ้น ขนาดชิ้นของเนื้อปลานิลแล่มีขนาด 100-150 กรัมต่อชิ้น

เนื้อปลานิลแล่จะถูกบรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน ซ้อนกัน 2 ชั้น ถุงละ 1 กิโลกรัม วางเรียงในลังโฟมสลับกับน้ำแข็งเกล็ดเล็ก เพื่อขนส่งจากโรงงานที่ตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร มายังห้องปฏิบัติการภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร และทำการทดลองทันที รวมระยะเวลาขนส่งจากโรงงานมายังห้องปฏิบัติการไม่เกิน 1.5 ชั่วโมง

2. สารเคมี

2.1 sodium tripolyphosphate (STPP) Food grade (Haifa Chemicals Ltd., Thailand)

2.2 เกลือบริสุทธิ์ (refined salt) 99.99 % ยี่ห้อปรุงทิพย์

3. เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Precisa, 240 A, Switzerland)

3.2 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Shimadzu, Libror EB-3200D, Japan)

3.3 เครื่องวัดความเป็นกรดเบส (pH meter) (Metrohm, 744, Herisau, Switzerland)

3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบคู่ควบ (Thermocouple Thermometer) (Delta Ohm, HD 9016, Padova, Italy)

3.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (Stable Micro System, TA-HD, Surrey, UK)

3.6 เครื่องแช่แข็ง Mini Batch Freezer 100L (Bangkok Industrial Gas Co.,Ltd., Bangkok, Thailand)

3.7 สารทำความเย็นไนโตรเจนเหลว

3.8 ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็ง

3.9 ถุงโพลีเอธิลีนสำหรับแช่แข็ง (zip lock)

3.10 อุปกรณ์เครื่องครัวสำหรับการทำให้เนื้อปลาสุก

3.11 แบบประเมินและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.12เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมประมวลผลทางสถิติ

ตู้อบความร้อน (hot air oven)

3.13 เครื่อง Spectrophotometer (Shimadzu UV-1700)

3.14 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer, Minolta CM 35000d)

3.15 อุปกรณ์เครื่องครัวสำหรับทำให้เนื้อปลาสุก

3.16 แบบประเมินและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการ

1. ผลิตปลานิลแล่แช่แข็งตามสภาวะที่เหมาะสม

การใช้สารประกอบฟอตเฟตชนิดโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STPP)ในเนื้อปลานิลแล่ก่อนนำไปแช่แข็ง จะใช้ในรูปของสารละลาย ความเข้มข้นสารฟอสเฟต 1.40 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ผสมกับเกลือ 2.70 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เปรียบเทียบกับหน่วยทดลองเปรียบเทียบ (control) ที่ใช้น้ำกลั่นอย่างเดียว

การดำเนินงานโดย แช่เนื้อปลานิลแล่ชนิดไม่ติดหนังในสารละลายฟอสเฟตเย็น 4°C นาน 115 นาที และนำขึ้นจากสารละลาย ทิ้งให้สะเด็ดน้ำในตะแกรงพลาสติก 1 นาที ใส่ถุงพลาสติก แช่ในน้ำแข็ง ระหว่างรอการแช่แข็ง กระบวนการแช่แข็งดำเนินโดยเรียงชิ้นปลาบนตะแกรงสำหรับเข้าเครื่องแช่แข็ง ชิ้นปลาแล่จะถูกแช่แข็งด้วยวิธี air blast freezing อุณหภูมิ -60 องศาสเซลเซียส ระยะเวลา ประมาณ 20 นาที จนอุณหภูมิจุดกลางชิ้นปลาเป็น -30 องศาสเซลเซียส และ glazing ด้วยน้ำเย็น 1 องศาสเซลเซียส 10 วินาที บรรจุถุง Ziploc ถุงละ 1 ชิ้น ส่วนหน่วยทดลองเปรียบเทียบทำเช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนจากสารละลายฟอสเฟตเป็นน้ำกลั่น

เก็บรักษาที่อุณภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งในเดือนที่ศูนย์ โดยตรวจสอบคุณภาพด่าง ๆ ดังนี้

1.1 การตรวจวิเคราะห์ด้านเคมี

1.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานของปลานิล

-การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ 934.01 AOAC (2000)

-การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีของเจลดาห์ล (AOAC. ,2000)

-การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Harbers, 2000)

-การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยใช้ Soxhlet extraction

1.1.2 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter

1.1.3 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด(Total Volatile Basic Nitrogen : TVB-N) ด้วยวิธี Conway's microdiffusion (Conway, 1962; Conway and Byrne, 1933)

1.1.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาบิทูริก (Thiobarbituric acid; TBA)

1.1.5 ปริมาณฟอสเฟต ตามวิธีของ 986.24 AOAC (2005)

1.2 การตรวจวิเคราะห์ด้านกายภาพ

1.2.1 วัดสีด้วย Spectrophotometer, Minolta CM 35000d

1.2.2 วัดค่าเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสดหลังการทำละลายด้วย texture analyzer ดัดแปลงตามวิธีของ Hernández et al. (2009)

1.2.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Gain weight) คำนวนได้จากน้ำหนักเนื้อปลาแล่ก่อนและหลังแช่ในสารละลายฟอสเฟต ตามวิธีของ Rattanasatheirn et al. (2008)

1.2.4 การสูญสียหลังจากการทำละลาย (Drip loss) ตามวิธีของ Duan et al. (2010)

1.2.5 การสูญสียหลังจากการหุงต้ม (Cooking loss) ตามวิธีของ Rattanasatheirn et al. (2008)

1.2.6 ปริมาณผลได้หลังจากการหุงต้ม (Cooking yield) ตามวิธีของ Rattanasatheirn et al. (2008)

1.2.7 วัดค่าเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสดหลังการทำละลายด้วย texture analyzer ดัดแปลงตามวิธีของ Hernández et al. (2009)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างทางสถิติตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ

1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 40 คน โดยทดสอบความชอบในคุณลักษณะของ ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาแล่ดิบที่ผ่านการทำละลาย การทดสอบความชอบเนื้อปลานิลแล่สุกในคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก(Randomized Completely Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างทางสถิติตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ

2. ศึกษาผลของฟอตเฟตที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างเก็บรักษา

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่อุณภูมิ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 เดือน และสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง ทุก ๆ เดือน โดยมีการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

2.1 การตรวจวิเคราะห์ด้านเคมี

2.1.1การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ 934.01 AOAC (2000)

2.1.2 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter

2.1.3 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Basic Nitrogen : TVB-N) ด้วยวิธี Conway's microdiffusion (Conway, 1962; Conway and Byrne, 1933)

2.1.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาบิทูริก (Thiobarbituric acid; TBA)

2.1.5 ปริมาณฟอสเฟต ตามวิธีของ 986.24 AOAC (2005)

2.2 การตรวจวิเคราะห์ด้านกายภาพ

2.2.1 วัดสีด้วย Spectrophotometer, Minolta CM 35000d

2.2.2 วัดค่าเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสดหลังการทำละลายด้วย texture analyzer ดัดแปลงตามวิธีของ Hernández et al. (2009)

2.2.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Gain weight) คำนวนได้จากน้ำหนักเนื้อปลาแล่ก่อนและหลังแช่ในสารละลายฟอสเฟต ตามวิธีของ Rattanasatheirn et al. (2008)

2.2.4 การสูญสียหลังจากการทำละลาย (Drip loss) ตามวิธีของ Duan et al. (2010)

2.2.5 การสูญสียหลังจากการหุงต้ม (Cooking loss) ตามวิธีของ Rattanasatheirn et al. (2008)

2.2.6 ปริมาณผลได้หลังจากการหุงต้ม (Cooking yield) ตามวิธีของ Rattanasatheirn et al. (2008)

2.2.7 ค่าเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสดหลังการทำละลายด้วย texture analyzer ดัดแปลงตามวิธีของ Hernándcz et al. (2009)

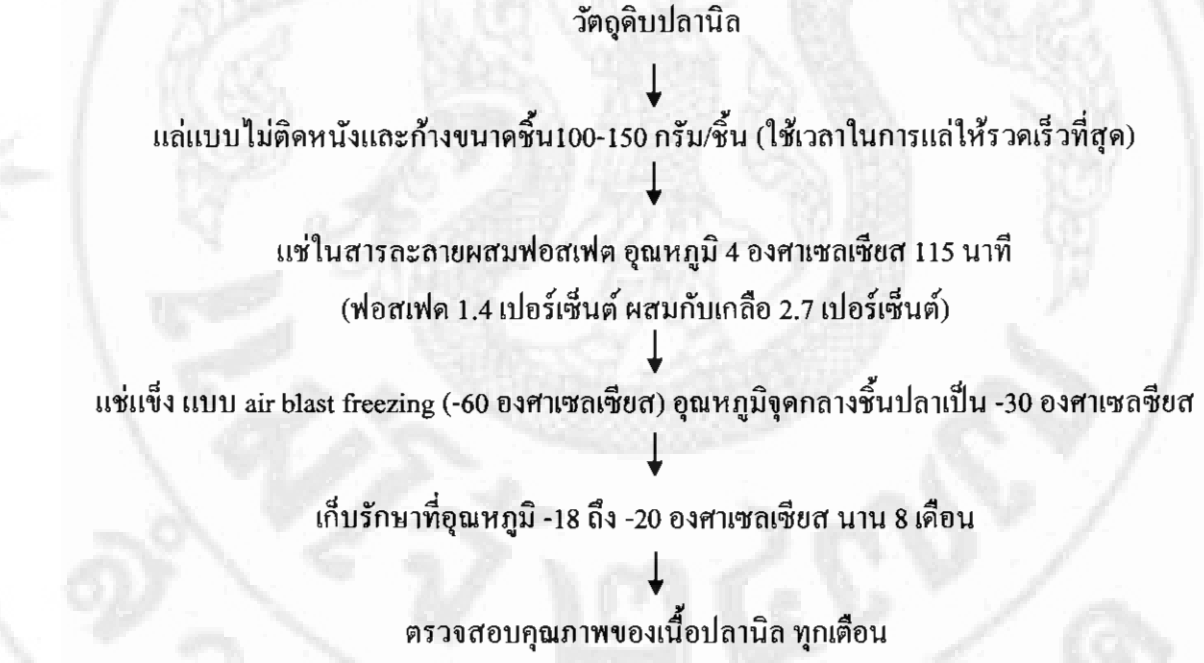
วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างทางสถิติตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ

2.3 การตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 40 คน โดยทดสอบความชอบในคุณลักษณะของ ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาแล่ดิบที่

ผ่านการทำละลาย การทดสอบความชอบเนื้อปลานิลแล่สุกในคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก(Randomized Completely Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างทางสถิติตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการศึกษาคุณภาพการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากงานวิจัยระยะแรกสามารถหาชนิดของฟอสเฟต และสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ในผลิตภัณฑ์ปลานิลแล่แช่แข็งแล้วนั้น สามารถสรุปได้คือ ใช้สารประกอบฟอสเฟตชนิด STPP ระดับความเข้มข้น 1.4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ผสมกับเกลือ 2.7 เปอร์เซ็นต์ (w/v) และแช่เนื้อปลานิลแล่ในสารละลายนาน 115 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยเพิ่มคุณภาพด้านปริมาณผลได้ และด้านประสาทสัมผัส โดยปริมาณสารฟอสเฟตที่ตรวจพบในเนื้อปลาหลังการแช่แข็งแล้วยังอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานคือ ไม่เกิน 5000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

งานวิจัยต่อเนื่องนี้จะเป็นระยะการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างการเก็บรักษาที่ระดับอุณภูมิ -18 ถึง -20°C เพื่อติดตามถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 8 เดือน โดยมีการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การศึกษาผลของฟอตเฟตที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างเก็บรักษา

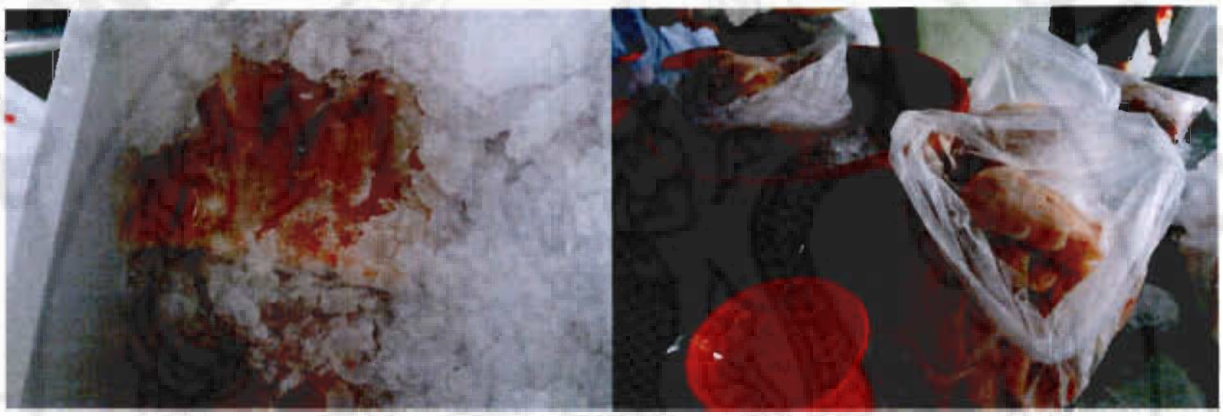
โดยใช้สารประกอบฟอตเฟตในรูปสารละลาย ความเข้มข้น 1.4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ร่วมกับเกลือ 2.7 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เปรียบเทียบกับหน่วยทดลองเปรียบเทียบ (control) ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ ดำเนินการโดย แช่ปลานิลแล่แบบไม่ดิดหนังและก้างขนาดชิ้น น้ำหนัก 100-150 กรัม/ชิ้น ในสารละลายฟอสเฟตเย็น 4 องศาเซลเซียส 115 นาที และนำขึ้นจากสารละลาย ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 1 นาที ใส่ถุงพลาสติก แช่ในน้ำแข็ง ระหว่างรอการแช่แข็ง การแช่แข็งจะเรียงชิ้นปลาบนตะแกรงสำหรับเข้าเครื่องแช่แข็ง แช่แข็งชิ้นปลาแบบ air blast freezing อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา ประมาณ 20 นาที จนอุณหภูมิจุดกลางชิ้นปลาเป็น -30 องศาเซลเซียส และเคลือบ (glazing) ด้วยน้ำเย็น 1 องศาเซลเซียส 10 วินาที บรรจุถุงซิปล๊อค (Ziploc) ถุงละ 1 ชิ้น เก็บรักษาที่อุณภูมิ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส วิเคราะห์คุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง ดังนี้

-คุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น) ค่า pH ปริมาณ TVB-N ค่าความหืน (TBA) ปริมาณฟอสเฟต ความชื้น

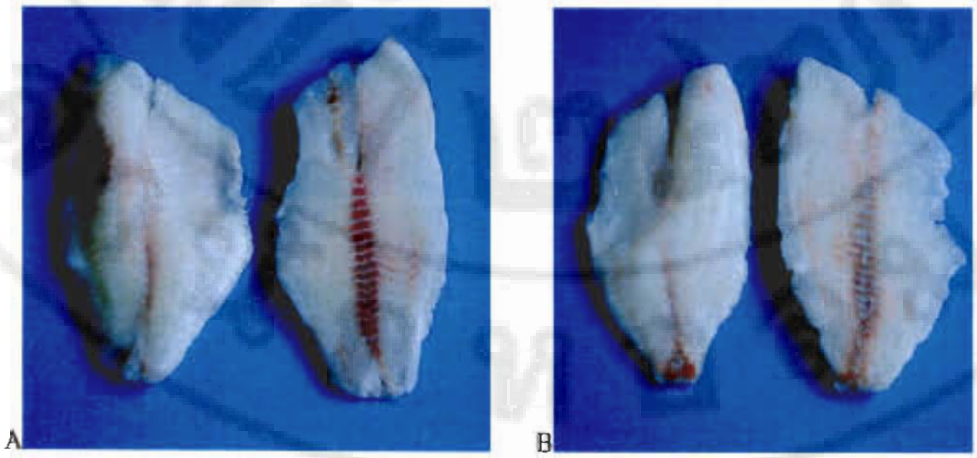
-คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ Gain weight, Drip loss, Cooking loss, Cooking yield และวัดค่าเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสดด้วย texture analyzer

-คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 40 คน ประเมินคุณลักษณะของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการทำละลายแล้ว โดยประเมินทั้งเนื้อปลาดิบและเนื้อปลาสุก

-คุณภาพทางจุลินทรีย์ โดยตรวจสอบปริมาณจุนทรีย์ total aerobic psychrophilic และ total aerobic mesophilic



ภาพที่ 2 เนื้อปลานิลแล่ที่ขนส่งมาจากแหล่งรับจ้างแล่ปลา นำมาแยกขนาดของชิ้นปลาตามน้ำหนักและแช่ในสารละลายฟอสเฟตต่อไป



A B

ภาพที่ 3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปลานิลแล่แช่แข็งที่แช่ (B) และไม่แช่ (A)สารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

1. คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง

1.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลานิลที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ความชื้น และเถ้ามีปริมาณ 17.33 2.54 75.73 และ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื้อปลานิลมีองค์ประกอบของโปรตีนสูง และไขมันต่ำ

1.2 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

จาก ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในทั้งสองชุดตัวอย่างมีค่าที่ไม่แน่นอนเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และตัวอย่างที่แช่สารละลายฟอสเฟตจะมี pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นคุณสมบัติของสารฟอสเฟต (Kilinc, 2007)

ตารางที่ 3 ค่า pH ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน

เดือนที่	pH	
	Control	STPP+NaCl
0	6.14 ± 0.08^{Bf}	6.72 ± 0.06^{Ab}
1	6.74 ± 0.04^{Aa}	6.68 ± 0.04^{Abc}
2	6.67 ± 0.02^{Aab}	6.65 ± 0.04^{Ac}
3	6.65 ± 0.03^{Bb}	6.94 ± 0.04^{Aa}
4	6.39 ± 0.06^{Ac}	6.42 ± 0.06^{Ad}
5	6.34 ± 0.01^{Acd}	6.40 ± 0.02^{Bde}
6	6.30 ± 0.02^{Ade}	6.36 ± 0.04^{Ade}
7	6.26 ± 0.03^{Ae}	6.33 ± 0.01^{Ae}
8	6.12 ± 0.03^{Af}	6.15 ± 0.03^{Af}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP+NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abcdef กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

1.3 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บรักษาเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง ชนิดที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่สารประกอบฟอสเฟต แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าค่าความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกเดือนระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งในทุกหน่วยการทดลองที่ใช้สารผสมฟอสเฟตผสมเกลือมีค่าอยู่ระหว่าง 78 – 90 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กลุ่มทดลองที่ไม่แช่สารฟอสเฟต มีค่าอยู่ระหว่าง 73 – 78 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ ในแต่ละเดือนปริมาณความชื้นในเนื้อปลานิลแล่ที่ผ่านการแช่ด้วยโซเดียมไตรพอลีฟอสเฟตผสมเกลือจะมีค่าความชื้นสูงกว่าเนื้อปลานิลที่ไม่ผ่านการแช่สารลายฟอสเฟต ($P \leq 0.05$) การที่เนื้อปลายังคงมีความชื้นสูงเป็นผลมาจากการทำงานของสารฟอสเฟตที่ช่วยรักษาคุณภาพของเนื้อปลานิลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณภูมิต่ำ

ตารางที่ 4 ความชื้นของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน

เดือนที่	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	
	Control	STPP+NaCl
0	75.73 ± 0.58^{Bbcd}	77.82 ± 0.29^{Aab}
1	78.16 ± 0.94^{Aab}	78.46 ± 3.26^{Aab}
2	74.75 ± 3.71^{Acd}	77.77 ± 0.30^{Bab}
3	80.05 ± 1.28^{Aa}	79.89 ± 0.80^{Aa}
4	71.21 ± 1.96^{Be}	77.01 ± 0.64^{Ab}
5	74.79 ± 0.38^{Bcd}	78.20 ± 0.63^{Aab}
6	73.10 ± 0.39^{Bde}	77.69 ± 0.40^{Aab}
7	76.72 ± 0.26^{Bbc}	78.73 ± 1.08^{Aab}
8	73.97 ± 0.58^{Bcde}	78.08 ± 0.89^{Aab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abcde กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

1.4 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Basic Nitrogen ; TVB-N)

การสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) จัดเป็นดัชนีคุณภาพทางเคมีค่าหนึ่งที่ใช้วัดความสดของปลา สารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจน (เนตรนรินทร์, 2546) จากตารางที่ 5 แสดงปริมาณ TVB-N ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการเก็บรักษาเดือนที่ 0 ถึง 8 พบว่ามีค่าอยู่ในระดับ 4-10 มิลลิกรัม TVB-N/100 กรัมตัวอย่างโดยปริมาณ TVB-N ที่กำหนดให้มีได้สูงสุดในปลาคือ 25-30 มิลลิกรัม TVB-N/100 กรัมตัวอย่าง และปริมาณ TVB-N ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะปรากฏของเนื้อปลา รวมทั้งการเจริญและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (Ashie et al., 1996) ผู้บริโภคจะไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่มีค่า TVB-N มากกว่า 30-40 มิลลิกรัม TVB-N/100 กรัมตัวอย่าง (Benjakul et al., 2003)

จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า TVB-N ในชุดตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) การเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการทำงานของเอนไซม์ในสัตว์น้ำ หรือจากจุลินทรีย์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีปริมาณ TVB-N เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (Benjakul et al., 2003; Chomnawang et al., 2007) ขณะที่ค่า TVB-N ในชุดตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายฟอสเฟตผสมกับเกลือมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ($P>0.05$) การที่ค่า TVB-N มีความเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบพื้นฐานที่ระเหยได้ เช่น แอมโมเนีย ไตรเมทธิลามีน และสารอื่นๆ จากการย่อยสลายตัวเองของเอนไซม์ภายในเนื้อปลา และการเน่าเสียจากแบคทีเรีย โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อปลาสามารถลดการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเนื้อปลาได้ (Hwang, 2012)

<u>ตารางที่ 5</u> การวัดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็ง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน

เดือนที่	TVB-N (mg/100 g sample)	
	Control	STPP+NaCl
0	7.51 ± 0.93^{Ab}	6.47 ± 0.00^{Aa}
1	5.39 ± 0.94^{Ac}	5.91 ± 0.93^{Aab}
2	10.25 ± 0.93^{Aa}	$5.40\pm0.93B^{ab}$
3	9.74 ± 0.00^{Aa}	3.78 ± 0.94^{Bc}
4	9.63 ± 0.00^{Aa}	4.85 ± 0.00^{Bbc}
5	9.74 ± 0.00^{Aa}	3.78 ± 0.94^{Bc}
6	9.63 ± 0.00^{Aa}	4.85 ± 0.00^{Bbc}
7	9.74 ± 0.00^{Aa}	3.78 ± 0.00^{Bc}
8	9.63 ± 0.00^{Aa}	4.85 ± 0.00^{Bbc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

1.5 ปริมาณ Thiobarbituric acid (TBA)

ตารางที่ 6 ปริมาณ TBA ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน พบว่าตัวอย่างควบคุมมีปริมาณ TBA ช่วง 0.01- 0.02 มิลลิกรัม มาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (mg malondialdehyde/kg sample) สำหรับชุดตัวอย่างเนื้อปลานิลที่แช่สารละลายโซเดียมโตรพอลิฟอสเฟต ร่วมกับเกลือมีปริมาณ TBA ช่วง 0.01- 0.02 mg malondialdehyde/kg sample จะเห็นได้ว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นในตัวอย่างทั้ง 2 ชุด ปริมาณ TBA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทีละน้อย ($P\leq0.05$) จากการรายงานของ Masniyom และคณะ (2005) รายงานว่าปริมาณ TBA ในเนื้อปลากระพงแล่ที่เก็บรักษาในสภาพแช่เย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเกิดการออกซิเดชันของไขมันในปลาจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่มีการจับปลา หรือหลังจากที่ปลาตาย ตลอดจนในระหว่างกระบวนการแปรรูป ดังนั้นจึงทำให้เราสามารถรับรู้กลิ่นหืนที่เกิดขึ้นได้ ดังเช่นในเนื้อปลาแล่จะมีค่า

TBA ที่สูงกว่าเนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างเอาส่วนประกอบของไขมันออกไปแล้ว เป็นต้น (Eymard et al., 2005) ค่า TBA นิยมนำเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของไขมันในอาหาร โดยที่ในปลาสดควรมีค่า TBA ไม่เกิน 1.0 mg malondialdehyde/kg sample (Sweet, 1973)

จากงานวิจัยนี้ค่า TBA ในชุดตัวอย่างควบคุมมีการเพิ่มขึ้นที่มีแนวโน้มมากกว่าชุดตัวอย่างที่มีการแช่สารละลายฟอสเฟตเล็กน้อย อาจเป็นไปได้ว่าไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อปลาเกิดการออกซิเดชันมากขึ้น จึงทำให้ชุดตัวอย่างควบคุมมีแน้วโน้มที่จะมีค่าปริมาณ TBA มากกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมโตรพอลิฟอสเฟต ร่วมกับเกลือมีการเพิ่มของปริมาณ TBA น้อยที่สุด อาจเป็นเพราะสารละลายโซเดียมโตรพอลิฟอสเฟต จะช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการไปจับกับไอออนโลหะ ที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาออกซิเดชันไว้ (Masniyom et al., 2005)

ตารางที่ 6 ค่า Thiobarbituric acid ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน

เดือนที่	Thiobarbituric acid (mg malondialdehyde/kg sample)	
	Control	STPP+NaCl
0	0.012 ± 0.003^{Aab}	0.010 ± 0.001^{Ab}
1	0.010 ± 0.001^{Aab}	0.014 ± 0.008^{Ab}
2	0.015 ± 0.006^{Aab}	0.019 ± 0.003^{Aab}
3	0.020 ± 0.001^{Aab}	0.018 ± 0.006^{Aab}
4	0.022 ± 0.001^{Aa}	0.021 ± 0.008^{Aab}
5	0.011 ± 0.001^{Aab}	0.016 ± 0.001^{Aab}
6	0.014 ± 0.001^{Aab}	0.029 ± 0.001^{Aa}
7	0.015 ± 0.001^{Aab}	0.012 ± 0.001^{Ab}
8	0.008 ± 0.001^{Bb}	0.015 ± 0.001^{Aab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

1.6 ปริมาณฟอสเฟต

ปริมาณฟอสเฟตในเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่สารประกอบฟอสเฟตและไม่ผ่านการแช่ (Control) วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในรูปของ P_2O_5 ในหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 7 เนื้อปลานิลที่แช่ด้วยสารประกอบฟอสเฟตชนิดโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนนำไปแช่แข็งสามารถตรวจพบปริมาณฟอสเฟตในเนื้อปลาสูงที่สุดในเดือนที่ 0 1 3 และ 4 ($P \leq 0.05$) แต่พบว่าปริมาณฟอสเฟตในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ฟอสเฟตมีค่าแตกต่างกับตัวอย่างเนื้อปลานิลแล่ที่แช่ฟอสเฟตเล็กน้อย ($P \leq 0.05$) นั้นอาจเป็นเพราะมีการสะสมปริมาณฟอสเฟตในระหว่างกระบวนการเพาะเลี้ยง หรือการขนส่งปลานิลเข้าสู่โรงงานแปรรูป แต่ในทุกตัวอย่างมีปริมาณฟอสเฟตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเนื้อปลาแล่แช่แข็ง ที่กำหนดโดย สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 7014-2548) และ European Parliament and Council (2006) ซึ่งกำหนดไว้ไม่ให้เกิน 5000 mg/kg คำนวณเป็น P_2O_5 (รวมถึงฟอสเฟตในธรรมชาติ)

ตารางที่ 7 ปริมาณฟอสเฟตในเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่แช่ในสารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง/เดือนที่	Phosphate (mg/kg)
Control/ เดือนที่ 0	3450 ± 71^{d}
STPP+NaCl/เดือนที่ 0	3750 ± 71^{a}
STPP+NaCl/เดือนที่ 1	3900 ± 00^{a}
STPP+NaCl/เดือนที่ 2	3650 ± 71^{bc}
STPP+NaCl/เดือนที่ 3	3850 ± 71^{a}
STPP+NaCl/เดือนที่ 4	3750 ± 71^{ab}
STPP+NaCl/เดือนที่ 5	3500 ± 00^{cd}
STPP+NaCl/เดือนที่ 6	3500 ± 141^{cd}
STPP+NaCl/เดือนที่ 7	3650 ± 71^{bc}
STPP+NaCl/เดือนที่ 8	3350 ± 71^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abcd กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2. คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ปลานิลแล่แช่แข็ง

2.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (gain weight) หลังการแช่สารละลายไตรโพลิฟอสเฟตผสมกับเกลือ

การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื้อปลานิลแล่หลังจากแช่เนื้อปลานิลแล่ในสารละลายของชุดตัวอย่างควบคุม มีค่าเท่ากับ 3.67±2.43 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตผสมเกลือมีค่าเท่ากับ 5.36±0.60 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างที่แช่สารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ร่วมกับเกลือมีการเพิ่มน้ำหนักมากกว่าชุดตัวอย่างควบคุม เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (Chang and Regenstein, 1997; Turan et al., 2003) และเมื่อใช้ร่วมกับเกลือจะช่วยให้โปรตีนอุ้มน้ำได้ดียิ่งขึ้นสอดคล้องกับการศึกษาของ Thorarindottir และคณะที่พบว่าฟอสเฟตมีผลต่อต่อการเพิ่มของน้ำหนัก คุณภาพ และการอุ้มน้ำ ของเนื้อปลาคอดทำเค็ม ซึ่งการที่เนื้อปลามีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความสามารถของสารฟอสเฟตที่จะไปช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการจับกับน้ำขององค์ประกอบโปรตีนในกล้ามเนื้อของปลา (Ellinger, 1972; Van Wazer, 1971)

2.2 น้ำหนักที่สูญเสียหลังการละลาย (Drip loss)

ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากการละลายปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน ของตัวอย่างเนื้อปลานิลแล่ทั้ง 2 ตัวอย่าง มีค่าใกล้เคียงกัน (P>0.05) แสดงดังตังตารางที่ 8 อาจเป็นสาเหตุมาจากกระบวนการแช่เยือกแข็งเนื้อปลานิลมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากใช้ระบบการแช่แข็งแบบรวดเร็ว (quick freezing) จึงทำให้มีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์ ประกอบกับการเก็บรักษาในสภาพที่เหมาะสมไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิตลอดการเก็บรักษา ทำให้มีค่าการสูญเสียน้ำหนักในตัวอย่างที่ไม่ใช้ฟอสเฟตมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม

แต่เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดตัวอย่าง อีกประการหนึ่งคือเมื่อตรวจสอบปริมาณฟอสเฟตในตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 7) แสดงว่าเนื้อปลานิลตามธรรมชาติอาจมีการดูดซับสารฟอสเฟตมาจากธรรมชาติตั้งแต่กระบวนการเลี้ยงในบ่อ หรืออาจมีการเติมระหว่างกระบวนการจับ การจัดการหลังการจับ หรือการขนส่งเข้าสู่โรงงาน ก่อนการแปรรูป

ตารางที่ 8 ค่าการสูญเสียน้ำจากการละลาย (เปอร์เซ็นต์) ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน

เดือนที่	การสูญเสียน้ำจากการละลาย (%)	
	control	STPP+NaCl
0	8.59 ± 0.92^{Aab}	8.32 ± 5.69^{Aa}
1	7.65 ± 6.18^{Aab}	10.43 ± 3.97^{Aa}
2	10.85 ± 3.32^{Aa}	8.97 ± 4.96^{Aa}
3	5.66 ± 1.47^{Ab}	6.74 ± 1.24^{Aa}
4	9.46 ± 1.86^{Aab}	9.69 ± 0.25^{Aa}
6	8.45 ± 0.53^{Aab}	9.79 ± 1.60^{Aa}
5	nd	nd
7	8.55 ± 2.45^{Aab}	10.73 ± 6.04^{Aa}
8	8.58 ± 1.24^{Aab}	10.67 ± 2.23^{Aa}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ nd คือไม่ได้ศึกษา

ตัวอักษร ab กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

2.3 น้ำหนักที่สูญเสียจากการหุงต้ม (Cooking loss)

น้ำหนักที่สูญเสียหลังการหุงต้ม แสดงในตารางที่ 9 โดยระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือนเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ใช้และไม่ใช้ฟอสเฟตมีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยตัวอย่างที่ไม่มีการใช้สารฟอสเฟต จะมีค่าการสูญเสียหลังการหุงต้มสูงกว่าตัวอย่างที่มีการใช้ฟอสเฟต ($P\leq0.05$) แสดงให้เห็นว่า STPP ส่งผลต่อน้ำหนักที่สูญเสียหลังการหุงต้มมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Woyewoda and Bligh (1986) ที่รายงานว่าการแช่ชิ้นปลาคอดในสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 12 เปอร์เซ็นต์ ก่อนกระบวนการแช่เยือกแข็ง สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลาย และการสูญเสียน้ำหนักหลังการหุงต้ม อีกทั้งสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตของชิ้นปลาคอดสต และชิ้นปลาคอดปรุงสุก

Rattanasatheirn et al. (2008) อธิบายว่าการใช้สารประกอบฟอสเฟตชนิด SAPP ร่วมกับ STPP หรือ TSPP จะทำให้ได้ค่าผลได้จากการหุงต้มต่ำกว่าเล็กน้อยแต่จะมีค่าการสูญเสียจากการหุงต้มที่มากกว่า การใช้สารประกอบฟอสเฟตชนิด STPP หรือ TSPP แบบเดี่ยวๆ ในผลิตภัณฑ์กุ้งแกะเปลือกและเอาไส้ออก

2.4 ปริมาณผลได้หลังการหุงต้ม (Cook yield)

ปริมาณผลได้หลังจากการหุงต้มของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ด้วยสารประกอบฟอสเฟตชนิด STPP จะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างปลานิลที่ไม่ได้ใช้สารฟอสเฟต ($P \leq 0.05$) แต่การเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นไม่มีผลต่อค่าปริมาณผลได้หลังการหุงต้มโดยจะมีค่าเพิ่มไม่แตกต่างกันในแต่ละเดือน ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 9 ซึ่ง Woyewoda and Bligh (1986) รายงานว่าการใช้สารประกอบฟอสเฟตในเนื้อปลาคอดแล่แช่แข็งจะช่วยเพิ่มค่าปริมาณผลได้จากการหุงต้ม โดยจะไปช่วยเพิ่มความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีนระหว่างการการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง

ตารางที่ 9 น้ำหนักที่สูญเสียหลังจากการหุงต้ม (cooking loss) และปริมาณผลได้หลังจากการหุงต้ม (cook yield) ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 เดือน

เดือนที่	Cooking loss (%)		Cook yield (%)	
	control	STPP+NaCl	control	STPP+NaCl
0	6.83 ± 5.39^{Ab}	4.88 ± 1.66^{Ad}	85.18 ± 5.26^{Aa}	87.42 ± 6.22^{Aa}
1	15.53 ± 6.22^{Aa}	8.14 ± 1.71^{Abc}	78.15 ± 9.57^{Ab}	82.30 ± 4.44^{Aab}
2	14.62 ± 2.37^{Aa}	9.41 ± 1.85^{Babc}	76.13 ± 3.71^{Bb}	82.46 ± 4.49^{Aab}
3	17.02 ± 1.01^{Aa}	10.98 ± 2.01^{Ba}	78.30 ± 1.95^{Bb}	83.01 ± 1.53^{Aab}
4	15.99 ± 1.42^{Aa}	9.90 ± 1.12^{Bab}	76.06 ± 2.48^{Bb}	81.36 ± 1.07^{Ab}
5	nd	nd	nd	nd
6	13.20 ± 3.61^{Aa}	10.54 ± 1.71^{Aab}	79.47 ± 3.46^{Aab}	80.68 ± 1.42^{Ab}
7	12.52 ± 2.35^{Aa}	7.21 ± 1.88^{Bcd}	80.04 ± 4.19^{Aab}	82.87 ± 6.47^{Aab}
8	12.63 ± 1.35^{Aa}	9.47 ± 2.62^{Babc}	79.87 ± 1.56^{Aab}	80.91 ± 4.17^{Ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ nd คือไม่ได้ศึกษา

ตัวอักษร ab กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

2.5 ค่าสีของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง

ค่าสีของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งดิบ ระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน แสดงดังตารางที่ 10 ซึ่งระบบสี L^* a^* b^* นี้ ค่า L^* แสดงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0(ดำ) จนถึง 100(ขาว) ค่า a^* แสดงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (ค่า a เป็นบวกจะแสดงค่าสีแดง และค่า a เป็นลบจะแสดงค่าสีเขียว) b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (ค่า b เป็นบวกจะแสดงค่าสีเหลือง และค่า b เป็นลบจะแสดงค่าสีน้ำเงิน) ค่าความเข้มของสีแสดงในรูปของค่าฮิว (h*; hue) คำนวนได้จาก $h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ และค่าโครมา (C*; chroma) คำนวนได้จาก $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (Hernández et al., 2009) จากงานนี้วิจัยพบว่า ชุดตัวอย่างควบคุม และชุดตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STPP ผสมเกลือ มีค่าความสว่าง (L^*) ที่แตกต่างกันในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา ($P\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และความ

สว่างของชุดตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลาย STPP ผสมเกลือจะมีค่ามากกว่าชุดตัวอย่างควบคุม ($P \leq 0.05$) เนื่องจากการแช่ในสารละลายดังกล่าวได้กำจัด heme ไขมัน สีและองค์ประกอบอื่นๆ ออกไปบางส่วน และการแช่สารละลาย STPP ร่วมกับเกลือยังทำให้เกิดการเปิดโครงสร้างกล้ามเนื้อ ช่วยให้การกักเก็บน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Thorarinsdottir, 2001) และในชุดตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลาย STPP ผสมเกลือ มีค่า a^* และ b^* ที่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ในตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 เดือน ($P>0.05$)

ขณะที่ C* ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ฟอสเฟตจะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่มีการแช่ฟอสเฟตผสมเกลือ ทั้งสองตัวอย่างเมื่อเก็บรักษาเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งเป็นระยะเวลานานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า C* ส่วนค่า h* พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของตัวอย่างเนื้อปลานิลแล่ที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่สารฟอสเฟตก่อนการแช่แข็ง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 เดือน

ตารางที่ 10 ค่าสีแสดงเป็นระยะพิกัด CIE Lab ของตัวอย่างเนื้อปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

เดือนที่	*L**		*a**		*b**	
	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl
0	41.31 ± 1.07^{Bd}	45.29 ± 0.88^{Abcd}	-3.13 ± 0.33^{Bb}	-2.02 ± 1.01^{Aa}	3.61 ± 2.06^{Aa}	1.89 ± 1.83^{Aa}
1	39.79 ± 0.76^{Be}	45.23 ± 2.11^{Abcd}	-2.88 ± 0.69^{Ab}	-3.41 ± 0.23^{Ab}	2.70 ± 2.28^{Aa}	1.85 ± 2.11^{Aa}
2	41.96 ± 1.41^{Bcd}	46.62 ± 1.14^{Abc}	-3.22 ± 0.43^{Ab}	-3.42 ± 0.41^{Ab}	2.29 ± 2.38^{Aa}	0.44 ± 1.13^{Aa}
3	41.52 ± 1.11^{Ad}	44.19 ± 3.08^{Ad}	-3.13 ± 0.11^{Ab}	-3.23 ± 0.09^{Ab}	2.69 ± 0.91^{Aa}	0.75 ± 1.93^{Ba}
4	43.04 ± 1.85^{Bcb}	46.25 ± 1.64^{Abcd}	-3.24 ± 0.25^{Ab}	-3.28 ± 0.14^{Ab}	2.48 ± 1.35^{Aa}	2.22 ± 1.29^{Aa}
5	37.51 ± 0.78^{Bf}	46.64 ± 0.30^{Abc}	-1.84 ± 1.23^{Aa}	-3.17 ± 0.27^{Bb}	4.01 ± 2.71^{Aa}	1.62 ± 1.88^{Aa}
6	44.19 ± 0.59^{Ab}	44.94 ± 1.42^{Acd}	-3.46 ± 0.15^{Ab}	-2.77 ± 1.25^{Ab}	2.06 ± 0.69^{Aa}	2.44 ± 2.65^{Aa}
7	44.25 ± 1.32^{Bb}	47.20 ± 0.84^{Aab}	-3.29 ± 0.22^{Ab}	-3.16 ± 0.12^{Ab}	3.06 ± 2.15^{Aa}	1.11 ± 0.88^{Aa}
8	47.43 ± 0.23^{Ba}	48.99 ± 1.17^{Aa}	-3.54 ± 0.22^{Ab}	-3.48 ± 0.37^{Ab}	3.56 ± 0.48^{Aa}	2.46 ± 0.30^{Ba}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abcdef กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เดือนที่	C^*		h^*	
	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl
0	4.91 ± 1.67^{Aa}	3.41 ± 1.24^{Aa}	134.49 ± 13.79^{Abc}	149.47 ± 23.42^{Ab}
1	4.28 ± 1.53^{Aa}	4.30 ± 1.18^{Aa}	142.82 ± 22.04^{Abc}	161.31 ± 30.16^{Aab}
2	4.32 ± 1.51^{Aa}	3.60 ± 0.43^{Aa}	150.36 ± 22.74^{Aab}	170.77 ± 16.97^{Aab}
3	4.31 ± 0.57^{Aa}	3.69 ± 0.77^{Aa}	$141.91\pm9.31B^{bc}$	170.56 ± 26.56^{Aab}
4	4.23 ± 0.68^{Aa}	4.10 ± 0.68^{Aa}	144.80 ± 17.42^{Abc}	147.82 ± 15.78^{Ab}
5	4.84 ± 2.04^{Aa}	3.89 ± 0.82^{Aa}	124.05 ± 26.37^{Ac}	156.50 ± 24.66^{Aab}
6	4.05 ± 0.27^{Aa}	4.43 ± 1.18^{Aa}	149.17 ± 9.85^{Aab}	146.13 ± 35.27^{Ab}
7	4.75 ± 1.37^{Aa}	3.43 ± 0.35^{Ba}	141.99 ± 20.42^{Abc}	161.90 ± 13.89^{Aab}
8	4.28 ± 0.14^{Aa}	3.70 ± 0.32^{Ba}	167.66 ± 8.49^{Ba}	180.34 ± 0.97^{Aa}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

2.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

ลักษณะเนื้อสัมผัสตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 11 ซึ่งวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) ใช้แรงกดที่ทำให้เปลี่ยนรูป 25 เปอร์เซ็นต์ ค่า hardness คือค่าแรงที่สามารถทำให้โครงสร้างของอาหารเปลี่ยนรูปไป หรือแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดตัวอย่างครั้งแรก ค่า cohesiveness คือ อัตราส่วนของแรงระหว่างการกดครั้งที่ 2 จากจุดเดิมที่กดครั้งแรก ค่าadhesiveness คือ พื้นที่แรงที่ต้านการกดของแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดครั้งแรก ค่าspringiness คือ ส่วนสูงที่ตัวอย่างสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ ระหว่างเวลาที่สิ้นสุดจากการกดครั้งแรกและเริ่มการกดครั้งใหม่ ค่าgumminess คือ ค่า hardness คูณด้วย cohesiveness และ ค่า chewiness คือค่า gumminess คูณด้วย springiness หรือ hardness คูณด้วย cohesiveness คูณด้วย springiness (Bourne, 1978; Yang, 2007; Barroso, 1998) จากการศึกษาพบว่า ค่า hardness ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น แต่ค่า hardness ของตัวอย่างในชุดตัวอย่างควบคุมจะไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่แช่ใน STPP ร่วมกับเกลือ (P>0.05) ค่า adhesiveness และcohesiveness ในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา ของทั้ง 2 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ค่า gumminess ของตัวอย่างทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ในชุดตัวอย่างควบคุมจะมีการลดลงของค่า Gumminess มากกว่าในตัวอย่างที่แช่ใน STPP ร่วมกับเกลือมีการลดลงของค่า gumminess เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า gumminess ของตัวอย่างที่แช่ใน STPP ผสมกับเกลือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้เป็นไปทิศทางเดียวกับที่ Etemadian และคณะ (2011) ได้ศึกษาผลของการใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพของโปรตีนของสารประกอบโพลิฟอสเฟตในปลา *Rutilus frisii kutum* แล่ ตลอดระยะเวลาการเก็บโดยการแช่น้ำแข็ง

ลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยทางชีววิทยาของกล้ามเนื้อปลา ซึ่งก็คือความหนาแน่นของเส้นใยกล้ามเนื้อ รวมทั้งองค์ประกอบของไขมัน และคอลลาเจนในกล้ามเนื้อด้วย หลังจากปลาตายนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่าการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) และการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา ซึ่งจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการนิ่มลงและสูญเสียความยืดหยุ่นได้ (Hernandez et al., 2009; Olafsdottir et al., 2004) ดังรายงานของ Hernandez et al. (2009) ที่เก็บรักษาเนื้อปลา meager แล่ ไว้ที่น้ำแข็งอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าค่า hardness ลดลงจาก 27 นิวตัน เหลือ ค่าระหว่าง 23-25 นิวตัน

ตารางที่ 11 ค่าเนื้อสัมผัสโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของเนื้อปลานิลแล่แช่เข็งที่ผ่านการทำละลายดิบระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

เดือนที่	Hardness		Adhesiveness		Springiness	
	control	STPP+NaCl	control	STPP+NaCl	control	STPP+NaCl
0	1436.752±122.809^{Aa}	1657.954±14.794^{Aa}	-17.546±9.465^{Aab}	-33.110±7.898^{Aab}	0.706±0.035^{Abcd}	0.693±0.033^{Abc}
1	823.679±315.994^{Abc}	1006.485±186.906^{Abc}	-14.405±11.151^{Aab}	-9.865±13.744^{Aa}	0.634±0.017^{Ad}	0.641±0.048^{Abc}
2	1030.465±123.771^{Ab}	1107.805±204.865^{Ab}	-2.481±8.045^{Aa}	-43.198±25.526^{Aabc}	0.643±0.011^{Ad}	0.668±0.158^{Abc}
3	857.949±89.555^{Abc}	1049.134±57.665^{Abc}	-15.182±10.915^{Aab}	-119.869±16.587^{Bd}	0.841±0.035^{Aa}	0.843±0.051^{Aa}
4	903.181±76.469^{Abc}	829.344±137.878^{Ac}	-8.398±2.591^{Aab}	-16.416±7.066^{Aa}	0.651±0.019^{Bcd}	0.696±0.007^{Abc}
5	919.296±170.275^{Abc}	1049.402±114.508^{Abc}	-22.157±11.147^{Aab}	-106.998±39.306^{Bd}	0.549±0.030^{Aa}	0.602±0.107^{Ac}
6	1476.795±203.238^{Aa}	1589.711±77.420^{Aa}	-27.873±20.501^{Ab}	-88.458±34.208^{Abcd}	0.748±0.086^{Ab}	0.864±0.035^{Aa}
7	853.136±24.131^{Abc}	529.117±67.946^{Bd}	-13.457±3.179^{Aab}	-97.191±64.180^{Acd}	0.693±0.011^{Abcd}	0.767±0.042^{Bab}
8	697.219±50.116^{Ac}	862.511±112.470^{Abc}	-31.458±20.169^{Ab}	-80.145±11.400^{Bbcd}	0.734±0.081^{Abc}	0.753±0.056^{Aab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 11 (ต่อ)

เดือนที่	Cohesiveness		Gumminess		Chewiness	
	control	STPP+NaCl	control	STPP+NaCl	control	STPP+NaCl
0	0.557 ± 0.007^{Aa}	0.565 ± 0.014^{Aabc}	800.828 ± 78.182^{Aa}	935.136 ± 40.468^{Aa}	564.547 ± 50.327^{Aa}	647.668 ± 34.358^{Ab}
1	0.587 ± 0.008^{Aa}	0.548 ± 0.026^{Abc}	482.451 ± 181.724^{Abc}	549.185 ± 82.503^{Abc}	307.378 ± 120.255^{Abc}	290.080 ± 136.298^{Acf}
2	0.551 ± 0.012^{Aa}	0.581 ± 0.026^{Aab}	567.096 ± 56.508^{Ab}	640.209 ± 92.528^{Ab}	364.387 ± 32.694^{Abc}	421.108 ± 69.170^{Acd}
3	0.567 ± 0.005^{Aa}	0.575 ± 0.007^{Aab}	486.773 ± 54.363^{Bbc}	603.689 ± 39.011^{Abc}	409.118 ± 44.100^{Ab}	508.984 ± 44.464^{Ac}
4	0.576 ± 0.010^{Aa}	0.592 ± 0.003^{Aa}	520.079 ± 43.349^{Abc}	490.953 ± 80.680^{Ac}	338.193 ± 25.899^{Abc}	342.403 ± 59.375^{Adef}
5	0.550 ± 0.019^{Aa}	0.535 ± 0.009^{Ac}	506.312 ± 99.763^{Abc}	560.994 ± 58.330^{Abc}	276.294 ± 41.372^{Abc}	335.317 ± 47.688^{Adef}
6	0.552 ± 0.035^{Aa}	0.579 ± 0.026^{Aab}	810.195 ± 59.893^{Aa}	920.644 ± 70.356^{Aa}	609.911 ± 114.515^{Aa}	795.314 ± 65.964^{Aa}
7	0.573 ± 0.029^{Aa}	0.591 ± 0.027^{Aa}	489.393 ± 38.021^{Abc}	311.664 ± 27.122^{Bd}	338.981 ± 21.176^{Ac}	238.453 ± 10.902^{Bf}
8	0.563 ± 0.039^{Aa}	0.575 ± 0.011^{Aab}	392.113 ± 36.931^{Ac}	496.190 ± 64.300^{Ac}	287.442 ± 40.943^{Abc}	372.022 ± 40.168^{Adc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

3. คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง

3.1 คะแนนความชอบในผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลดิบ

ตารางที่ 12 แสดงค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของชิ้นปลานิลแล่ดิบระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน ค่าคะแนนที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงนี้ เนื่องจากระดับคะแนนความชอบที่ได้รับไม่สม่ำเสมอกัน อาจเนื่องจากความแปรปรวนจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จึงทำให้ไม่สามารถเห็นความแตกต่างในตัวของผลิตภัณฑ์ปลานิลแล่ดิบทั้งสองชนิดได้ สังเกตได้จากค่าคะแนนความชอบที่ไม่แตกต่างกันระหว่างสองตัวอย่างในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา ($P>0.05$)

ตารางที่ 12 ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของตัวอย่างปลานิลแล่แช่แข็งแบบดิบโดยใช้สเกลคะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale

เดือนที่	ลักษณะปรากฏ		เนื้อสัมผัส	
	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl
0	6.80 ± 1.02^{Abc}	7.20 ± 1.04^{Aa}	6.88 ± 1.04^{Aab}	7.08 ± 0.97^{Aa}
1	6.33 ± 1.53^{Acd}	6.85 ± 1.63^{Aa}	6.30 ± 1.64^{Ab}	6.73 ± 1.36^{Aa}
2	5.95 ± 1.54^{Ad}	6.08 ± 1.56^{Ab}	5.50 ± 1.57^{Ac}	5.98 ± 1.51^{Ab}
3	6.75 ± 1.37^{Abc}	6.70 ± 1.64^{Aa}	6.58 ± 1.36^{Ab}	6.73 ± 1.95^{Aa}
4	7.08 ± 0.97^{Ab}	7.15 ± 1.17^{Aa}	6.25 ± 1.13^{Ab}	6.78 ± 1.37^{Aa}
5	nd	nd	nd	nd
6	5.30 ± 1.44^{Be}	7.28 ± 1.13^{Aa}	5.43 ± 1.39^{Bc}	6.90 ± 1.34^{Aa}
7	7.68 ± 1.05^{Aa}	6.88 ± 1.26^{Ba}	7.30 ± 1.44^{Aa}	7.05 ± 1.24^{Aa}
8	6.43 ± 1.53^{Bcd}	7.08 ± 1.35^{Aa}	6.70 ± 1.34^{Aab}	6.93 ± 1.49^{Aa}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ nd คือไม่ได้ศึกษา

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.2 คะแนนความชอบในผลิตภัณฑ์เนื้อปลานิลสุก

การทดสอบโดยนำเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการทำละลายแล้วไปทำให้สุก โดยวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำจนสุก แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 13 พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเนื้อปลานิลที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือจะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ใช้ฟอสเฟต ตลอดการเก็บรักษา 8 เดือน ($P \leq 0.05$) ส่วนค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่น และรสชาติของตัวอย่างที่เก็บรักษาในแต่ละเดือนมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสตัวอย่างที่เก็บรักษาในแต่ละเดือนมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ค่าคะแนนความชอบของตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารฟอสเฟตผสมเกลือจะมีค่าคะแนนความชอบมากกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย ($P \leq 0.05$) แต่พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ค่าคะแนนความชอบในทุกด้านมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

สารประกอบฟอสเฟตสามารถช่วยเพิ่มคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ ดังรายงานของ Goncalves and Riberio (2009) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางประสาทสัมผัสของกุ้งที่ผ่านการแช่สารประกอบฟอสเฟตชนิด STPP กับกุ้งชนิดที่ไม่แช่ พบว่ากุ้งที่แช่ด้วยสารประกอบฟอสเฟตมีคะแนนความชอบสูงกว่า 6 (จากระดับ 0-9) ขณะที่กุ้งที่ไม่แช่สารประกอบฟอสเฟดมีคะแนนความชอบที่ต่ำกว่า 6 การที่ตัวอย่างที่แช่สารประกอบฟอสเฟตได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าเนื่องจากว่าฟอสฟเฟตจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ดีขึ้น และช่วยเพิ่มคุณลักษณะด่างๆด้านประสาทสัมผัสด้วย นอกจากสารประกอบฟอสเฟตที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลาแล่กุ้ง และหอยจะช่วยเก็บรักษาความชื้นแล้ว ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้สุกจึงสามารถช่วยเพิ่มระดับคะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งทดสอบโดยผู้บริโภคได้ (Goncalves et al., 2008)

ตารางที่ 13 ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของตัวอย่างปลานิลแล่แช่แข็งแบบสุกโดยใช้สเกลคะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale

เดือนที่	ลักษณะปรากฏ		กลิ่น		รสชาติ		เนื้อสัมผัส	
	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl
0	6.63 ± 1.15^{Aab}	7.10 ± 1.22^{Aa}	6.15 ± 1.56^{Ba}	6.93 ± 1.31^{Aa}	5.38 ± 1.98^{Ab}	7.40 ± 1.24^{Ba}	5.98 ± 1.66^{Bab}	7.00 ± 1.30^{Aab}
1	6.10 ± 1.17^{Bb}	6.80 ± 1.26^{Aabc}	5.23 ± 1.79^{Abcd}	5.60 ± 1.81^{Abc}	5.85 ± 1.85^{Bab}	6.63 ± 1.60^{Aab}	6.20 ± 1.65^{Aab}	6.73 ± 1.45^{Aab}
2	5.90 ± 1.43^{Bb}	6.78 ± 1.35^{Aabc}	5.68 ± 1.76^{Aabc}	5.53 ± 1.60^{Abc}	5.43 ± 1.66^{Ab}	5.98 ± 1.78^{Ab}	5.80 ± 1.74^{Ab}	6.13 ± 1.59^{Ab}
3	6.20 ± 1.95^{Bb}	7.05 ± 1.58^{Ab}	5.33 ± 2.08^{Aabc}	6.18 ± 2.54^{Aab}	5.48 ± 1.87^{Ab}	6.28 ± 2.52^{Ab}	5.43 ± 2.11^{Bb}	6.60 ± 2.49^{Aab}
4	4.93 ± 1.79^{Bc}	6.35 ± 1.41^{Ac}	4.38 ± 1.90^{Bc}	5.85 ± 1.78^{Abc}	4.00 ± 1.81^{Bc}	6.10 ± 1.39^{Ab}	4.63 ± 1.89^{Bc}	6.23 ± 2.25^{Ab}
5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6	6.20 ± 1.62^{Ab}	6.40 ± 1.41^{Abc}	4.98 ± 1.85^{Acd}	5.10 ± 2.04^{Ac}	6.38 ± 1.85^{Aa}	6.05 ± 2.05^{Ab}	5.98 ± 1.82^{Aab}	$6.45\pm.1.71^{Aab}$
7	7.10 ± 1.22^{Aa}	7.28 ± 1.32^{Aa}	5.90 ± 1.89^{Aab}	6.10 ± 1.89^{Aab}	6.65 ± 1.64^{Aa}	7.35 ± 1.53^{Aa}	6.73 ± 1.47^{Aa}	7.23 ± 1.35^{Aa}
8	6.43 ± 1.41^{Aab}	6.73 ± 1.50^{Aabc}	5.48 ± 2.35^{Aabc}	5.35 ± 2.24^{Abc}	5.90 ± 2.05^{Aab}	6.60 ± 2.15^{Aab}	6.08 ± 1.73^{Aab}	6.55 ± 1.69^{Aab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ nd คือ ไม่ได้ศึกษา

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

4. คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

ระหว่างการเก็บรักษามีการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตตามมาตรฐานอาหารแช่แข็ง 2 กลุ่ม คือ total aerobic psychrophilic และ total aerobic mesophilic ผลแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิต Psychrophile และMesophile ของตัวอย่างปลานิลแล่แช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษา 8 เดือน

เดือนที่	Psychrophile		Mesophile	
	Control	STPP+NaCl	Control	STPP+NaCl
0	$2.56\pm1.50 \times 10^{4}_{Abc}$	$2.02\pm0.54 \times 10^{4}_{Abc}$	$5.40\pm2.39 \times 10^{4}_{Acd}$	$2.91\pm0.82 \times 10^{4}_{Ab}$
1	$9.60\pm3.42 \times 10^{4}_{Aa}$	$4.73\pm1.74 \times 10^{4}_{Ba}$	$2.51\pm1.31 \times 10^{4}_{Bd}$	$1.35\pm0.75 \times 10^{5}_{Aa}$
2	$1.01\pm0.19 \times 10^{4}_{Aac}$	$3.36\pm3.55 \times 10^{4}_{Aab}$	$6.21\pm2.11 \times 10^{4}_{Abc}$	$8.29\pm8.68 \times 10^{4}_{Aab}$
3	$2.88\pm1.12 \times 10^{4}_{Abc}$	$0.63\pm0.57 \times 10^{4}_{Bc}$	$4.43\pm1.23 \times 10^{4}_{Acd}$	$1.52\pm0.74 \times 10^{4}_{Bb}$
4	$0.88\pm0.55 \times 10^{4}_{Aac}$	$0.98\pm0.76 \times 10^{4}_{Abc}$	$2.82\pm1.43 \times 10^{4}_{Ad}$	$1.69\pm0.36 \times 10^{4}_{Ab}$
5	$3.91\pm0.95 \times 10^{4}_{Ab}$	$1.14\pm0.49 \times 10^{4}_{Bbc}$	$6.63\pm1.18 \times 10^{4}_{Abc}$	$4.33\pm0.40 \times 10^{4}_{Bb}$
6	$4.56\pm0.95 \times 10^{4}_{Aa}$	$0.38\pm0.16 \times 10^{4}_{Bc}$	$1.00\pm0.40 \times 10^{5}_{Aa}$	$2.10\pm0.92 \times 10^{4}_{Bb}$
7	$4.25\pm0.65 \times 10^{4}_{Aab}$	$2.50\pm0.74 \times 10^{4}_{Babc}$	$8.91\pm3.46 \times 10^{4}_{Aab}$	$2.99\pm0.97 \times 10^{4}_{Bb}$
8	$2.88\pm0.46 \times 10^{4}_{Abc}$	$1.31\pm0.55 \times 10^{4}_{Bbc}$	$6.31\pm2.34 \times 10^{4}_{Abc}$	$2.54\pm0.38 \times 10^{4}_{Bb}$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±SD; Control คือตัวอย่างที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต และ STPP + NaCl คือตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายฟอสเฟตผสมเกลือ

ตัวอักษร abc กำกับในค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตัวอักษร A B กำกับในค่าเฉลี่ยแต่ละแถวที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

จากการศึกษาพบว่าในตัวอย่างปลานิลแล่ทั้งสองตัวอย่างมีจำนวนจุลิทรีย์อยู่ในช่วง 4 log cfu/g โดยที่ปริมาณ total aerobic psychrophilic และ total aerobic mesophilic ในตัวอย่างปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ด้วยสาร โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตผสมเกลือจะมีจำนวนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ใช้ฟอสเฟต ($P\leq0.05$) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่สภาวะแช่แข็งเป็นระยะเวลา 8 เดือน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์โดยมีจำนวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การที่ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อ

ปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตก่อนการแช่แข็งน้อยกว่า ตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้ฟอสเฟตนั้น เป็นผลมาจากคุณสมบัติการเป็นสารต้านจุลินทรีย์ของฟอสเฟต เนื่องจากฟอสเฟตสามารถจับดับแคลเซียมแมกนีเซียมและเหล็ก ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นฟอสเฟตจึงมีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุการเน่าเสียได้ (สุทธวัฒน์, 2548)

สรุปผลการวิจัย

1. การผลิตปลานิลแล่แช่แข็งโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ประกอบด้วย สารประกอบฟอตเฟตในรูปสารละลาย ความเข้มข้น 1.4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ผสมกับเกลือ 2.7 เปอร์เซ็นต์ (w/v) แช่ตัวอย่างเนื้อปลานิลแล่แบบไม่ติดหนังและก้างขนาดชิ้น น้ำหนัก 100-150 กรัม/ชิ้น นาน 115 นาที โดยที่อุณภูมิสารละลายฟอสเฟตเท่ากับ 4 องศาเซลเซียส การแช่แข็งแบบ air blast freezing อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา ประมาณ 20 นาที จนอุณหภูมิจุดกลางชิ้นปลาเป็น -30 องศาเซลเซียส และเคลือบด้วยน้ำเย็น บรรจุชิ้นปลาในถุงซิปล็อค (Ziploe) ถุงละ 1 ชิ้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 เดือน และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง เปรียบเทียบกับหน่วยทดลองเปรียบเทียบ (control) ที่ไม่ใช้สารฟอสเฟต

2. คุณภาพทางเคมี ได้แก่ เนื้อปลานิลที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีน ไขมัน ความชื้น และเถ้า เท่ากับ 17.33 2.54 75.73 และ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่า pH ลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บรักษาเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งชนิดที่ผ่านการแช่สารประกอบฟอสเฟตผสมเกลือ (STPP+NaCl) และไม่ผ่านการแช่ (Control) มีค่าใกล้เคียงกันในทุกเดือนระหว่างการเก็บรักษา โดยที่ตัวอย่าง STPP+NaCl มีค่าสูงกว่า Control เล็กน้อย ค่า TVB-N ในตัวอย่าง Control มีค่าสูงกว่ากลุ่มตัวอย่าง STPP+NaCl และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณ TBA ของ Control และSTPP+NaCl มีปริมาณ 0.01- 0.02 mg malondialdehyde/kg sample และปริมาณฟอสเฟตในกลุ่ม STPP+NaCl และControl มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในทุกตัวอย่างมีปริมาณฟอสเฟตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเนื้อปลาแล่แช่แข็ง คือไม่ให้เกิน 5000 mg/kg

3. คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังจากแช่เนื้อปลานิลแล่ในสารละลายของชุดตัวอย่าง Control และ STPP+NaCl มีค่าเท่ากับ 3.67±2.43 และ 5.36±0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากการละลาย ระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ตัวอย่าง น้ำหนักที่สูญเสียหลังการหุงต้มตัวอย่าง Control จะมีค่าการสูญเสียหลังการหุงต้มสูงกว่าตัวอย่าง STPP+NaCl ปริมาณผลได้หลังจากการหุงต้มของกลุ่ม STPP+NaCl มีค่าสูงกว่า Control แต่พบว่าการเก็บรักษาที่ระยะ 8 เดือนไม่มีผลต่อค่าปริมาณผลได้หลังการหุงต้ม ค่าสีของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง มีค่า L^* ที่แตกต่างกันในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และความสว่างของ STPP+NaCl จะมีค่ามากกว่า Control ส่วนค่า a^* b^* C* และ h* มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ระหว่าง Control กับ STPP+NaCl แต่เมื่อเก็บรักษาเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งเป็นระยะเวลานานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า C* ลักษณะเนื้อสัมผัสของปลานิลแล่แช่แข็งมีการเปลี่ยนแปลงโดยค่า hardness และ

gumminess ของปลานิลแล่แช่เยือกแข็งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ส่วนค่า adhesivencss และcohcsiveness ในแต่ละเดือนของการเก็บรักษาของทั้ง 2 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน

4. คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 40 คน ประเมินคุณลักษณะของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการทำละลายแล้ว โดยประเมินทั้งเนื้อปลาดิบและเนื้อปลาสุก พบว่าค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของปลานิลแล่ดิบระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ส่วนค่าคะแนนความชอบของเนื้อปลานิลสุก ด้านลักษณะปรากฏ และด้านเนื้อสัมผัส ในกลุ่ม STPP+NaCl มีค่าสูงกว่าตัวอย่าง Control ค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่น และรสชาติของตัวอย่างที่เก็บรักษาในแต่ละเดือนมีค่าไม่แตกต่างกัน

5. คุณภาพทางจุลินทรีย์ โดยตรวจสอบปริมาณจุนทรีย์ total aerobic psychrophilic และ total aerobic mcsophilic พบว่าในตัวอย่างปลานิลแล่ทั้งสองตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 4 log cfu/g โดยที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดในตัวอย่างปลานิลแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ด้วยสารโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตผสมเกลือจะมีจำนวนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ใช้ฟอสเฟต

เอกสารอ้างอิง

กรมศุลกากร. 2556. สถิติการนำเข้า-ส่งออกสินค้าของไทย. http://internet1.customs.go.th/ext/Statistic/StatisticIndex2550.jsp <6/10/2556>

จรวย ไฝทอง. 2548. **ผลของชนิดฟอสเฟต เกลือ และความเป็นกรดเบส ต่อผลผลิต และคุณภาพของกุ้งขาวแวนนาไมต้มแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาผลิตภัณฑ์ประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

พาขวัญ ทองรักษ์. 2546. **การยืดอายุการเก็บรักษาปลาทับทิมแล่แช่เย็นโดยวิธีการจุ่มน้ำร้อนและกรดแล็กติก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาผลิตภัณฑ์ประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

ปกรณ์ อุ่นประเสริฐ. 2527. ปลานิลแดง. **วารสารการประมง** 37: 229 – 234.

มยุรี จัยวัฒน์. 2532. **การให้ความเย็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ**. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน. 2546. **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลานิลซึ่งเก็บรักษาภายใต้การปรับเปลี่ยนบรรยากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: นครราชสีมา

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2544. **เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ**. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2548. **เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

Ashie, A., Smith, P., and Simpson, K. 1996. Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 36 (2): 87-121.

Barroso, M., M. Careche, and A.J. Borderias. 1998. Quality control of frozen fish using reological techniques. **Trends Food Science & Technology**. 9: 223-229.

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

Bourne, M.C. 1978. Texture profile analysis. **Food Technology**. 33:62-66.

Chomnawang, C., Nantachai, K., Yongsawatdigul, J., Thawornchinsombut, S. and Tungkawachara, S. 2007. Chemical and biochemical changes of hybrid catfish fillet stored at 4°C and its gel properties. **Food Chemistry**. 103: 420–427.

Chang, C.C. and Regenstein, J.M. 1997. Textural changes and functional properties of Cod mince proteins as affected by kidney tissue and cryoprotectants. **Journal of Food Science**. 62(2): 299-304.

Conway, E.J. 1962. **Microdiffusion Analysis and Volumetric Error, 5th eds.** Crosby Lockwood and Sons, London, UK.

Dziezak, J.D. 1990. Phosphate improve many foods. **Food Technology**. 44(4): 80-92.

Duan, J., G. Cherian, and Y. Zhao. 2010. Quality enhancement in fresh and frozen lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets by employment of fish oil incorporated chitosan coatings. **Food Chemistry**. 119: 524-532.

Eillinger, R.H. 1772. The functions and applications of phosphates in food systems. *In* **Phosphates as food ingredients**. CRC press. Boca Raton. Florida, USA. pp. 31.

Etemadian Y., Shabanpour B. et al. 2011. Cryoprotective effects of polyphosphates on *Rutilus frisii kutum* fillets during ice storage. **Journal of Food chemistry** 129, 1544–1551.

Eymard, S., Carcouët, E., Rochet, M.J., Dumay, J., Chopin, C. and Genot, C. 2005. Development of lipid oxidation during manufacturing of horse mackerel surimi. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 85: 1750- 1756.

European Parliament and Council. 2006. Directive nr 95/2/EC of 20 February 1995 on **food additives other than colours and sweeteners-amended by M1-M7**. EU.

Farber, J.M. 1991. Microbiological aspects of modified atmosphere packaging technology review. **Journal of Food Protection**. 54(3): 58-70.

Fennema, O.R. 1990. Comparative water-holding properties of various muscle foods: A critical review relating to definitions, methods of measurement, governing factors, comparative data, and mechanistic matters. **Journal of Muscle Foods**. 1(4):363-381.

Foegeding, E.A., T.C. Lanier, and H.O. Hultin. 1996. Characteristies of edible muscle tissue. *In*: Fennema O.R., ed. **Food chemistry**. 3rd ed. New York: Marcel Dekker. pp. 879-943.

Fraser, O.P., and Sumar, S. 1998. Compositon changes and spoilage fish (part II) microbiological induced deterioration. **Nutrition & Food Science**. 98(6): 325-329.

Goncalves, A.A., B.T. Rech, P.M. Rodrigues, and D.M.T. Pucci. 2008. Quality evaluation of frozen seafood (*Genypterus brasiliensis*, *Prionotus punctatus*, *Pleoticus muelleri* and *Perna perna*) previously treated with phosphates. **Pan-American Journal of Aquatic Science.** 3(3): 248–258.

Goncalves, A.A. and J.L.D. Ribeiro. 2009. Effects of phosphate treatment on quality of red shrimp (*Pleoticus muelleri*) processed with cryomechanical freezing. **LWT-Food Science & Technology**. 42: 1435-1438.

Gray, R.J.H., D.G. Hoover and A.M. Mur. 1983. Attenuation of microbial growth on modified atmosphere-packaged fish. **Journal of Food Protection**. 46(9): 600-613.

Hernández , M.D., M.B. López, A. Álvarez , E. Ferrandini, B. García García, and M.D. Garrido. 2009. Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage. **Food Chemistry.** 114: 237-245.

Hwang, C.C., Lin, C.M., Kung, H.F., Huang, Y.L., Hwang, D.F., Su, Tsai, Y.H. 2012. Effect of salt concentrations and drying methods on the quality and formation of histamine in dried milkfish (*Chanos chanos*). **Food Chemistry**. 135: 839-844.\

Jittinandana S., P.B. Kenney, D.S. Slider, and R.A. Kiser. 2002. Effect of brine injection and brining time on quality of smoked rainbow trout fillets. **Journal of Food Science**. 67: 2095-2099.

Johnsen, S.O., K.B. Jorgensen, S. Birkeiland, D. Skipnes, and T. Skara. 2009. Effects of phosphates and salt in ground raw and cooked farmed cod (*Gadus morhua*) muscle studied by the water holding capacity (WHC), and supported by ^{31}P-NMR measurements. **Journal of Food Science.** 74(3): c211-c220.

Kilinc, B. and Cakli, S. 2004. Chemical, microbiological and sensorychanges in thawed-frozen fillets of sardine (*Sardina pilchardus*) duringmarination. **Food Chemistry. 88**, 275–280.

Lampila, L.E. 1993. Polyphosphates rationale for use and functionality in seafood and seafood products. *In*: **Proceedings of the 18th annual tropical and subtropical fisheries technological conference of the Americas** (pp. 13–20). VA, USA.

Liu, G. and Y.L. Xiong. 1997. Gelation of chicken muscle myofibrillar proteins treated with protease inhibitors and phosphates. **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 45: 3437-3442.

Mackie, I.M. 1994. Fish protein. *In* **New and developing sources of food proteins**. (Hudson, B.F.J. ed.) Chapman & Hall. New York, USA. pp. 95-143.

Manzano-mazorra, M.A., Aguilar, R.P., Rojas, E.I., and Sanchez, M.E. 2000. Postmortem changes in black skipjack muscle during storage in ice. **Journal of Food Science**. 65(5):774-779.

Masniyom, P., S. Benjakul, and W. Visessanguan. 2005. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-life extension of refrigerated seabass slices. **LWT-Food Science & Technology.** 38(7): 745-756.

Molins, R.A. 1991. **Phosphates in Food**. CRC Press, Boca Raton, Florida. 261 pp.

Olafsdottir, G., P. Nesvadba, C. Di Natale, M. Careche, J. Oehlenschlager, S.V. Tryggvadottir, R. Schubring,M. Kroeger, K. Heia, M. Esaiassenf, A. Macagnano, and B.M. Jorgensen. 2004. Multisensors for fish quality determination. **Trends Food Science & Technology.** 15: 86–93.

Pacheco-Aguilar, R., M.E. Lugo-Sanchez and M.R. Robles-Burgueno. 2000. Postmortem biochemical and functional characteristic of monterey sardine muscle stored at 0°C. **Journal of Food Science**. 65(1); 40–47.

Park, J.W. 2000. Ingredient technology & formulation development. *In* **Surimi and surimi seafood**. Park, J.W. ed. Marcel Dekker. New York, USA. 343-391 pp.

Rattanasatheirn, N., S. Benjakul, W. Visessanguan, and K. Kijroongrojana. 2008. Properties, translucence, and microstructure of Pacific white shrimp treated with phosphates as affected by freshness and deveining. **Journal of Food Science.** 73(1): s31-s40.

Shihidi, F. and J. R. Botta. 1994. **Seafood chemistry technology and quality**. Chapman & Hall. London. UK.

Sweet, C.W. 1973. A Research Note: Activity of antioxidants in fresh fish. **Journal of Food Science**. 38:1260-1261.

Thorarinsdottir K.A., Arason S. et al. 2001. Effects of phosphate on yield, quality, and water-holding capacity in the proeessing of salted Cod (*Gadus morhua)*. **Journal of Food Science**. 66(6):821-826.

Thorarinsdottir, K.A., Gudmundsdottir, G. et al. 2004. Effects of added salt, phosphates, and proteins on the chemical and physicochemical characteristics of frozen Cod (*Gadus morhua*) Fillets. **Journal of Food Science**. 69: 144-152.

Trout, G.R. and G.R. Schmidt. 1986. Effect of phosphates on the functional properties of restructured beef rolls: the role of pH, ionic strength, and phosphate type. **Journal of Food Science**. 51(6): 1416 – 1423.

Turan, H., Kaya, Y., & Erkoyuncu, 1. 2003. Effects of glazing, packaging, phosphate treatments on drip loss in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) during frozen storage. **Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 3, 105–109.

VanWazer, J.R. 1971. Chemistry of the phosphate and condense phosphates. *In* **Symposium: Phosphates in food processing**. (Denma, J.M. and Malnnyehn, P., eds.). The AVI Pub.Co..Inc. Westport Connecticut, USA. pp. 1.

Woyewoda, A.D. and Bligh, E.G. 1986. Effect of phosphate blends on stability of cod fillets in frozen storage. **Journal of Food Science**. 51: 932-935.

Xiong, Y.L. 1997. Protein denaturation and functionality losses. *In* **Quality in frozen food**. (Erickson. M.C. and Hung, Y.C., eds.). Champman & Hall. New Tork, USA. pp. 111-140.

Xiong, Y.L., X. Lou, C. Wang, W.G. Moody, and R.J. Harmon. 2000. Protein extraction from chicken myofibrils irrigated with various polyphosphate and NaCl solution. **Journal of Food Science**. 65: 96–100.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

No. .....

ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อตัวอย่าง ปลานิลแล่แช่แข็ง **วันที่ทดสอบ** _____

ชื่อผู้ทดสอบ _____ เพศ☐ชาย ☐หญิง อายุ_____ปี

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างปลานิลแล่แช่แข็ง และให้คะแนนการยอมรับในแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยให้คะแนนที่กำหนดไว้ด้านล่าง ลงในช่องให้ตรงตามรหัสตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ และกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

การให้คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ขอบมาก 1 = ไม่ขอบมากที่สุด

ปลานิลแล่ (ดิบ)เนื้อสัมผัสปลานิลแล่ดิบทดสอบด้วยการสัมผัสกับตัวอย่าง **ปลานิลแล่ (สุก)**

รหัสตัวอย่าง																					
ลักษณะปรากฏ																					
กลิ่น																					
รสชาติ																					
เนื้อสัมผัส																					
ความยอมรับ	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N					Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
ผลิตภัณฑ์																					

หมายเหตุ ความยอมรับผลิตภัณฑ์หมายถึง หากมีผลิตภัณฑ์จำหน่ายท่านมีความประสงค์จะซื้อผลิตภัณฑ์นั้นๆ ไปบริโภคหรือไม่ Y=**ยอมรับ** N=**ไม่ยอมรับ**

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....