

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลากะพงของกลุ่มเกษตรกรในโครงการของมูลนิธิชัยพัฒนา

(Development of Sea Bass Fish Products for the Agricultural Cooperation under the
Chaipattana Foundation Patronage)

รหัสโครงการ R-๐๒๙-๒๕๕๓

โดย

อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล¹ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

รศ.ดร.ศิริรัตน์ กักผล²

ผศ.สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์²

ผศ.ดร.พาสวดี ประทีปะเสน¹

ผศ.ดร.วราภา คงเป็นสุข¹

นางสาวอินทอร กำแพงทอง¹

นายสิริภณ จิรสุขประเสริฐ¹

นางสาวไพลิน สุขวงษ์¹

นางสาวสุพรรณทิพย์ อติโพธิ์¹

นางสาวบุษบา วงศ์ลา²

นางสาวรัชชิตา เดชอุดม²

นางสาวกานติภา สิทธิเหล่าถาวร²

นางสาวอัจฉิมา กำพรม²

นางสาวทิฆัมพร พิมพ์แก้ว²

นางสาวกนกวรรณ จันทร์โฮง²

นางสาวอุฬาริกา ลือสกุล²

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการวิจัย	โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลากะพงของกลุ่มเกษตรกรใน โครงการของมูลนิธิชัยพัฒนา
ชื่อผู้วิจัย	อ. ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, รศ.ดร.ศิริรัตน์ ก๊กผล, ผศ.สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์, ผศ.ดร.พาสวดี ประทีปะเสน, ผศ.ดร.วรภา คงเป็นสุข, นางสาวอินทอร กำแพงทอง, นายสิริภณ จิรสุขประเสริฐ, นางสาวไพลิน สุขวงษ์, นางสาวสุพรรณทิพย์ อติโพธิ์, นางสาวบุษบา วงศ์ลา, นางสาวรัชชิตา เดชอุดม, นางสาวกานติภา สิทธิเหล่าถาวร, นางสาวอัจฉิมา กำพรหม, นางสาวทิมมพร พิมพ์แก้ว, นางสาวกนกวรรณ จันทร์โฮง, นางสาวอุฬาริกา ลือสกุล
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ	กันยายน 2555

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้พัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลากะพงขาวที่ได้รับมาจากมูลนิธิชัยพัฒนา ให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังนี้ ปลากะพงรมควันเย็น ปลากะพงขาวย่างปรุงรส ลูกชิ้นปลากะพงแบบญี่ปุ่น (คามาโบโกะ) และ ซุปปลากะพงผง โดยใช้กระบวนการแปรรูปอาหารแบบต่างๆ เช่น การรมควันเย็น การย่าง การทำซูริมิ และ การอบแห้งแบบโฟมแมท นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์คุณภาพของปลากะพงสดและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปลากะพง รวมถึงจัดทำฉลากโภชนาการเพื่อชุมชนที่นำผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไปต่อยอดจะได้นำไปใช้ต่อไป

Project Title	Development of Sea Bass Fish Products for the Agricultural Cooperation under the Chaipattana Foundation Patronage
Name of the Investigators	Dr Chaleeda Borompichaichartkul, Assoc Prof Dr Sirirat Kokpol, Assist Prof Sutthisak Suknaisilp, Assist Prof Dr Pasawadee Pradipasena, Assist Prof Dr Vorapha Kongpensuk, Miss Intuon Kumpangtong, Mr Siripon Jiraprasertsuk, Miss Pailin Sukwong, Miss Supuntip Atipo, Miss Busaba Wongla, Miss Ratchatida Dethudom, Miss Kantipa Sitlaotaworn, Miss Ujima Kaprom, Miss Tikumpon Pimkeaw, Miss Kanokwan Chanhong, Miss Ularika Leusakul
Year	September 2012

Abstract

This research is aimed to develop products from Sea bass fish such as cold smoking Sea bass, Seasoning grilled Sea bass, Kamaboko and Sea bass soup powder by employing various food technologies such as cold smoking, grilling, surimi making and foam-mat drying. Moreover, quality of raw materials, finishing products and nutritional data of each product were determined to provide as information guideline of product to interested community for use.

บทสรุปผู้บริหาร

ปลากะพงจัดว่าเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ได้รับการสนับสนุนให้เกษตรกรเพาะเลี้ยง ภายใต้การส่งเสริมของมูลนิธิชัยพัฒนา เนื่องจากมีรสชาติอร่อย เลี้ยงง่าย และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ตลอดจน ตลาดของปลากะพงมีศักยภาพอยู่มาก และราคาปลาต่อกิโลกรัมมีสูงกว่าปลาชนิดอื่นๆ การเพาะเลี้ยงปลากะพงทั้งในกระชังและการเลี้ยงในบ่อดินจึงขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในบางครั้งมีปัญหาเรื่องของการราคาตก เนื่องจากปลาล้นตลาด หรือราคาอาหารปลาสูงขึ้นทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงขาดทุน และการขยายการเพาะเลี้ยงปลากะพงอย่างรวดเร็ว ที่ส่งผลให้มีขยายพื้นที่การเพาะเลี้ยงไปเลี้ยงในบ่อดิน ทำให้เนื้อปลากะพงมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ และมีราคาตกลง ดังนั้นแนวทางการแก้ไขอย่างหนึ่งคือ นำปลากะพงไปแปรรูปและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับการยอมรับ โดยใช้หลักการทางเทคโนโลยีทางอาหาร เช่น การรมควัน การทำลูกชิ้น การย่าง และการทำแห้ง รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลากะพงในระหว่างการเก็บรักษา การคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม และ การศึกษาอายุการเก็บ จะสามารถเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เพิ่มมูลค่าของปลากะพง ผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานสากล เพื่อสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้

คุณภาพทางเคมีและชีววิทยาของปลากะพงสดที่เป็นวัตถุดิบสำหรับนำมาแปรรูปปลากะพงมีความสำคัญต่อการควบคุมการเพาะเลี้ยงปลากะพงในกระชังของเกษตรกร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค และสารเคมีอันตราย และสำคัญต่อการนำปลากะพงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค คุณภาพของปลากะพงสด จากโครงการอุตสาหกรรมประมงพื้นบ้าน หมู่บ้านทุ่งรัก อ.คุระบุรี จ.พังงา การวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยาของปลากะพงสดพบว่า เนื้อปลาสด ชุดที่ 2 มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และเนื้อปลาสด ชุดที่ 1, 3 และ 4 พบว่ามีปริมาณ *S. aureus* ปนเปื้อนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่ไม่พบ *E. coli* และ *Salmonella spp.* ในปลากะพงสดทุกชุด และจากการวิเคราะห์ทางเคมี ในส่วนของสารปนเปื้อน โลหะหนัก สารเคมี และความสดของปลากะพง พบว่าไม่พบโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ปนเปื้อนในเนื้อปลากะพงสด และไม่พบสารปฏิชีวนะ คลอแรมฟินิโคล ในเนื้อปลากะพงสดทุกชุด และไม่พบสารพิษตกค้างในกลุ่มของสารฆ่าแมลง ในทุกชุดของปลากะพงสด แต่พบสารปฏิชีวนะไนโตรฟูแรน ในปริมาณที่มากเกินเกณฑ์ที่กำหนดในปลากะพงสดชุดที่ 3 และ ปลากะพงมีปริมาณ TVB-N อยู่ในช่วง 16.64 – 17.93 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมเนื้อปลา ซึ่งอยู่ในคุณภาพที่สดบริโภคได้ ทั้งนี้ความสดที่ลดลงอาจเป็นเพราะต้องขนส่งปลาจาก จ.พังงา มายังห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหารที่กรุงเทพมหานคร จึงส่งผลให้ค่า TVB-N เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาสภาวะในการรมควันเย็นปลากะพง โดยแปรความเข้มข้นของเกลือ (5, 10, 15% w/v) อุณหภูมิในการรมควัน (35, 40, 45 °C) และเวลาในการรมควัน (2, 2.5, 3 ชม.) นำเนื้อปลากะพงแล่แช่ในน้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ โดยแปรความเข้มข้นของเกลือ ที่ 5, 10 และ 15% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที วิเคราะห์คุณภาพของปลากะพง ได้แก่ a_w ความชื้น ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) พบว่าอุณหภูมิและเวลาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความชื้น ค่า a_w เนื้อสัมผัส และค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการรมควันและเวลาในการรมควันนานขึ้น ตัวอย่างปลาที่ได้มีความชื้นลดลง เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น ค่า L^* และ a^* ของ

ตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า b^* ของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างปลารมควันมีสีเข้มขึ้น จากนั้นนำตัวอย่างสุตรปลากะพงรมควันทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ปริมาณความชื้นประมาณ 75% (w.b.) เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็นที่ผลิตจากเนื้อปลากะพงขาวแช่น้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ ความเข้มข้นของเกลือ 5% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที รมควันที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลารมควัน 2 ชม. มากที่สุด จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเพื่อแปรรูปปลากะพงรมควันและเมื่อนำฟิล์มต้านจุลินทรีย์ 3 ชนิด ไปใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์โดยนำฟิล์มหุ้มขึ้นปลากะพง บรรจุในถุง LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่า ฟิล์มโคโตนผสมไนซินมีประสิทธิภาพในการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ได้นานที่สุด 40 วัน ในขณะที่ฟิล์มคาราจีแนนที่ใส่สารสกัดจากอบเชยและฟิล์มเพกตินผสมไลโปโซมของน้ำมันกานพลู น้ำมันกระเทียมและสารสกัดจากเปลือกทับทิมด้วยเอธานอล สามารถยืดอายุของผลิตภัณฑ์ได้นาน 30 และ 25 วันตามลำดับ ในขั้นตอนต่อไปจึงเลือกฟิล์มโคโตนผสมไนซินมาใช้กับปลากะพงรมควันเย็นมาศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยนำฟิล์มหุ้มขึ้นปลากะพง บรรจุในถุง LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าฟิล์มสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ total plate count, Lactic acid bacteria, *Listeria* spp. and *Staphylococcus aureus* ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา 40 วัน

ปัจจัยในการผลิตปลากะพงอย่าง que เลือกใช้ซึ่งประเมินจากผลการทดลองข้างต้นทั้งหมด คือ หมักปลาด้วยเกลือป่นเป็นเวลา 15 นาที ที่ 4 °C โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาที่ 0.1:4 แล้วนำปลาที่ 200 °C แล้วอบที่ 150°C โดยเวลาอย่างและอบขึ้นอยู่กับขนาดของปลา ดังนี้ ถ้าน้ำหนักปลากะพงขาวอยู่ในช่วง 175.31±12.37 กรัม ให้ใช้เวลาในการย่างข้างละ 8 นาที และอบ 24 นาที แต่หากน้ำหนักปลากะพงขาวอยู่ในช่วง 95.95±17.52 กรัม ให้ใช้เวลาในการย่างข้างละ 7 นาที และอบ 18 นาที การบรรจุผลิตภัณฑ์ปลากะพงอย่างซีวแบบญี่ปุ่นในถุง EVOH โดยการบรรจุแบบ A, V และ GP ที่สัดส่วน $N_2:CO_2:O_2 = 40:59:1$ หรือในถุง PVDC/OPP/PE โดยการบรรจุแบบ A, OA และ V แล้วเก็บที่ 4 °C นั้นให้ค่า TBA ต่ำกว่าระดับวิกฤต คือ 3 mg MDA ต่อเนื้อปลา 1 kg และปริมาณจุลินทรีย์มีค่าไม่เกิน 5 log cfu/g ซึ่งเป็นค่าพื้นฐานขีดจำกัดการยอมรับทางจุลชีววิทยา ตามมาตรฐานอาหารต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ตลอดเวลาที่เก็บ 15 วัน โดยการบรรจุในถุง EVOH นั้น การบรรจุแบบ GP ให้ค่า TBA ต่ำที่สุด รองลงมาคือการบรรจุแบบ V แต่การบรรจุแบบ V ให้ปริมาณจุลินทรีย์ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นการบ่งบอกประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด ผลทางประสาทสัมผัสเป็นตัวกำหนดการยอมรับของผู้บริโภคและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ปลากะพงอย่าง ซึ่งพบว่าการบรรจุแบบ GP และ V ให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นานที่สุด ถึง 14 วัน หลังจากนั้นผู้บริโภคไม่ยอมรับลักษณะเนื้อสัมผัส แต่เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมและคะแนนเฉลี่ยความชอบของสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสพบว่าสภาวะการบรรจุแบบ GP มีคะแนนสูงกว่าการบรรจุแบบ V ส่วนการบรรจุในถุง PVDC/OPP/PE โดยการบรรจุแบบ OA เหมาะสมที่สุดสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้และการเพิ่มของค่า TBA ตามเวลาที่เก็บต่ำและช้าที่สุด

ปริมาณเกลือที่ต่างกัน มีผลต่อความแข็งแรงของเจล ความเหนียวและความยืดหยุ่น ปริมาณแป้งที่ต่างกัน มีผลต่อความแข็งแรงของเจล ความแข็ง ความเหนียว ความยืดหยุ่นและความขาว และยังมีผลร่วมกันระหว่างเกลือกับแป้ง ต่อความแข็งแรงของเจล ความแข็งและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ ($p < 0.05$) ตามาโบโกะที่ผู้บริโภค

ยอมรับมากที่สุด ได้แก่ สูตรที่มีปริมาณเกลือ 2% และแป้งมันสำปะหลัง 5% ของน้ำหนักซูริมิ การให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิ 45 °C ทำให้ได้คามาโบโกะที่มีลักษณะทางเนื้อสัมผัสและความขาวใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ความแข็งแรงของเจล ความเหนียวและความขาวของผลิตภัณฑ์คามาโบโกะที่บรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ด้วยสภาวะสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บเป็นเวลา 13 วัน แต่ความแข็งและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จากการทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า สามารถเก็บตัวอย่างได้เพียง 10 วัน ก่อนจะเสื่อมเสีย กระบวนการผลิตด้วยมือทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความแปรปรวนมาก จึงอาจใช้เครื่องมือแทนคน เพื่อช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เช่น ใช้เครื่องบรรจุไส้แทนใช้มือคนบรรจุ กระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ หรือแม้แต่การบรรจุในภาชนะบรรจุที่สะอาดปลอดจากเชื้อจุลินทรีย์ สามารถช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ดี โดยอาจฆ่าเชื้อทั้งผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุด้วยความร้อน นอกจากนี้ การผลิตแบบ Individually Quick Frozen (IQF) ซึ่งเป็นการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วและการเก็บผลิตภัณฑ์แบบแช่แข็ง จะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์คงคุณภาพและลดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บได้

ซูปลาดผงจากหัวและโครงปลากะพง โดยทำให้ซูปลแห้งแบบโพนแมท สามารถผลิตได้โดยมีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้ การผลิตน้ำซูปล ผสมหัวและโครงปลากับผัก ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 1:1 ผักที่ใช้มี 5 ชนิด คือแครอท หอมหัวใหญ่ หัวไชเท้า ต้นหอมญี่ปุ่น และต้นหอม ซึ่งมีสัดส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 6:6:6:1:1 อบหัวและโครงปลาพร้อมผักที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที ต้มเคี้ยวโดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ เท่ากับ 9:1 นาน 4 ชั่วโมง กรองน้ำซูปล เติมน้ำปรุงรสและสาหร่ายอบแห้งลงในซูปล โดยเติมน้ำปรุงรส 1.3 กรัมและสาหร่ายอบแห้ง 0.5 กรัมลงในน้ำซูปล 300 มิลลิลิตร ต้มต่อจนน้ำซูปลเดือด นำไปอบแห้ง โดยผสมน้ำซูปลกับไข่ขาว โดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของไข่ขาวต่อน้ำซูปล 4:1 ตีปั่น 30 นาที ด้วย hand mixer (easy max power Moulinex, China) ที่ความเร็วคงที่ระดับ 3 โปนโม่ที่ได้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ชูตและบรรจุผงซูปลในถุงซิปล็อค สำหรับการนำซูปลผงมาใช้ให้ละลายผงซูปล 1 กรัม ในน้ำเดือด 50 มิลลิลิตร เนื่องจากผลิตภัณฑ์ซูปลผงมีความชื้นต่ำถ้าเลือกบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ น่าจะสามารถเก็บไว้ได้น้อย 30 วัน

ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์จากปลากะพงที่ได้พัฒนาขึ้นโดยคณะผู้วิจัยจากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยคือ ปลากะพงรมควันเย็น ปลากะพงขาวย่างปรุงรส และลูกชิ้นปลากะพงแบบญี่ปุ่น (คามาโบโกะ) ได้ถูกจัดทำขึ้นตามข้อกำหนดของคณะกรรมการอาหารและยา (อ.ย.)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
บทสรุปผู้บริหาร	iii
บทที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและชีววิทยาของปลากะพงสด	1
บทที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็น	10
บทที่ 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวย่างปรุงรสบรรจุแบบสุญญากาศ	54
บทที่ 4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลากะพงแบบญี่ปุ่น (คามาโบโกะ)	86
บทที่ 5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูชิปลากะพงผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท	108
บทที่ 6 การวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการสำหรับผลิตภัณฑ์จากปลากะพง	120

บทที่ 1

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและชีววิทยาของปลากะพงสด

คุณภาพทางเคมีและชีววิทยาของปลากะพงสดที่เป็นวัตถุดิบสำหรับนำมาแปรรูปปลากะพงมีความสำคัญต่อการควบคุมการเพาะเลี้ยงปลากะพงในกระชังของเกษตรกร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคและสารเคมีอันตราย และสำคัญต่อการนำปลากะพงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ในบทนี้ได้วิเคราะห์ปลากะพงสด จากโครงการอุตสาหกรรมประมงพื้นบ้าน หมู่บ้านทุ่งรัก อ.คุระบุรี จ.พังงา ซึ่งเป็นโครงการภายใต้การดูแลของมูลนิธิชัยพัฒนา ทั้งในด้านจุลชีววิทยาและเคมี

1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.1.1 วัตถุดิบและการเก็บรักษาวัตถุดิบ

วัตถุดิบ – ปลากะพงสด

การรับตัวอย่างปลากะพงสด

แหล่งที่เก็บตัวอย่าง : โครงการอุตสาหกรรมประมงพื้นบ้าน หมู่บ้านทุ่งรัก อ.คุระบุรี จ.พังงา

ชุดที่	จำนวนตัวอย่าง (ตัว)
1	30
2	30
3	30
4	30



เมื่อได้รับตัวอย่างมาจากมูลนิธิชัยพัฒนา จะนำมาเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่แข็งที่ -20°C ทันที

รูปที่ 1.1 ปลากะพงสดเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ -20°C

การเตรียมปลากะพงสดก่

ตัวอย่างปลากะพงสด



ขั้นตอนการขูดเกล็ด และแร่เนื้อปลาสด



การปั่นตัวอย่างเนื้อปลาสดให้ละเอียดก่อนวิเคราะห์



1.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบปลากะพงสด

1.1.2.1 ด้านจุลชีววิทยา

สิ่งที่วิเคราะห์

1. จุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total Plate Count)
2. *Escherichia coli* (*E.coli*)
3. *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*)
4. *Salmonella* spp.

1.1.2.2 ด้านเคมี

สิ่งที่วิเคราะห์

1. โลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb), ปรอท (Hg)
2. คลอแรมฟินิคอล (Chloramphenicol)
3. ไนโตรฟูแรน (Nitrofurans)

4. สารพิษตกค้าง (Pesticide)
5. Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N)

1.2 ผลการทดลอง

1.2.1 การวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยา

ตามข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารสำหรับปลากะพงขาว (มกอช. 7016-2549) ได้กำหนดให้ปลากะพงขาวมีจุลินทรีย์ได้ตามเกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 1.1 โดยกำหนดให้วิเคราะห์โดยสุ่มตัวอย่างปลา 5 ตัวอย่าง ต่อ ชูต และ 3 ใน 5 ตัวอย่างต้องผ่านเกณฑ์ จึงจะถือว่าตัวอย่างปลาชูตนั้นผ่าน

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์กำหนดเรื่องจุลินทรีย์สำหรับปลากะพงขาว

จุลินทรีย์	เกณฑ์
จุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total Plate Count)	$< 5 \times 10^5$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัมของเนื้อปลา
<i>Escherichia coli</i>	< 11 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัมของเนื้อปลา
<i>Staphylococcus aureus</i>	$< 1 \times 10^3$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัมของเนื้อปลา
<i>Salmonella</i> spp.	ต้องไม่พบในเนื้อปลา 25 กรัม

ตารางที่ 1.2 ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาเนื้อปลากะพงสด ชูตที่ 1

ตัวอย่าง	ค่าที่วิเคราะห์							
	Total Plate Count (CFU/g)		<i>S. aureus</i> (CFU/g)		<i>E. coli</i> (MPN/g)		<i>Salmonella</i> spp. (Positive/Negative)	
	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก
ปลากะพง 1	2.02×10^5	ผ่าน	1.29×10^3	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 2	3.15×10^5	ผ่าน	1.84×10^3	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 3	1.63×10^7	ตก	3.00×10^4	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน

ตัวอย่าง	ค่าที่วิเคราะห์							
	Total Plate Count (CFU/g)		<i>S. aureus</i> (CFU/g)		<i>E.coli</i> (MPN/g)		<i>Salmonella</i> spp. (Positive/Negative)	
	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก
ปลากะพง 4	3.68×10^5	ผ่าน	4.67×10^3	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 5	2.63×10^4	ผ่าน	3.33×10^3	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
สรุป	ผ่าน		ตก		ผ่าน		ผ่าน	

ตารางที่ 1.3 ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาเนื้อปลากะพงสด ชุดที่ 2

ตัวอย่าง	ค่าที่วิเคราะห์							
	Total Plate Count (CFU/g)		<i>S. aureus</i> (CFU/g)		<i>E.coli</i> (MPN/g)		<i>Salmonella</i> spp. (Positive/Negative)	
	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก
ปลากะพง 1	7.67×10^4	ผ่าน	4.73×10^2	ผ่าน	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 2	1.00×10^4	ผ่าน	4.00×10^1	ผ่าน	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 3	7.00×10^3	ผ่าน	2.07×10^2	ผ่าน	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 4	1.93×10^4	ผ่าน	3.87×10^2	ผ่าน	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 5	1.79×10^3	ผ่าน	7.00×10^1	ผ่าน	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
สรุป	ผ่าน		ผ่าน		ผ่าน		ผ่าน	

ตารางที่ 1.4 ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาเนื้อปลากะพงสด ชุดที่ 3

ตัวอย่าง	ค่าที่วิเคราะห์							
	Total Plate Count (CFU/g)		<i>S. aureus</i> (CFU/g)		<i>E.coli</i> (MPN/g)		<i>Salmonella</i> spp. (Positive/Negative)	
	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก
ปลากะพง 1	1.28×10^5	ผ่าน	1.00×10^5	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 2	4.67×10^4	ผ่าน	2.95×10^4	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 3	2.70×10^5	ผ่าน	3.00×10^5	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 4	2.04×10^5	ผ่าน	1.60×10^5	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 5	1.22×10^5	ผ่าน	4.00×10^4	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
สรุป	ผ่าน		ตก		ผ่าน		ผ่าน	

ตารางที่ 1.5 ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาเนื้อปลากะพงสด ชุดที่ 4

ตัวอย่าง	ค่าที่วิเคราะห์							
	Total Plate Count (CFU/g)		<i>S. aureus</i> (CFU/g)		<i>E.coli</i> (MPN/g)		<i>Salmonella</i> spp. (Positive/Negative)	
	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก	ค่าเฉลี่ย	ผ่าน/ตก
ปลากะพง 1	9.57×10^4	ผ่าน	2.14×10^4	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 2	1.82×10^5	ผ่าน	7.67×10^4	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 3	1.11×10^5	ผ่าน	1.67×10^4	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 4	1.82×10^5	ผ่าน	3.36×10^4	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
ปลากะพง 5	5.80×10^4	ผ่าน	9.49×10^3	ตก	< 3	ผ่าน	ไม่พบ	ผ่าน
สรุป	ผ่าน		ตก		ผ่าน		ผ่าน	

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยาของปลากะพงสดพบว่า

เนื้อปลาสด ชุดที่ 2 มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 1.3) และเนื้อปลาสด ชุดที่ 1, 3 และ 4 พบว่ามีปริมาณ *S. aureus* ปนเปื้อนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 1.2, 1.4-1.5) แต่ไม่พบ *E. coli* และ *Salmonella spp.* ในปลากะพงสดทุกชุด

1.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้านเคมี

1.2.2.1 โลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม, ตะกั่ว และปรอท

ตารางที่ 1.6 ผลการวิเคราะห์สารปนเปื้อนโลหะหนักในเนื้อปลากะพงสด

โลหะหนัก	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ เทียบเท่าปลาสด *	ชุดที่			
		1	2	3	4
แคดเมียม	0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ตะกั่ว	0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ปรอท	0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

* กองตรวจสอบและรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ อ้างอิงจาก มาตรฐานสารส่งออกของกลุ่มประเทศ EU

1.2.2.2 คลอแรมฟินิคอล (Chloramphenicol)

ตารางที่ 1.7 ผลการวิเคราะห์คลอแรมฟินิคอลในเนื้อปลากะพงสด

ชุดที่	คลอแรมฟินิคอล	Minimum Required Performance Limit (MRPL) *
1	ไม่พบ	0.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม
2	ไม่พบ	
3	ไม่พบ	
4	ไม่พบ	

* มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 9007-2548)

1.2.2.3 ไนโตรฟูแรน (Nitrofurans)

ตารางที่ 1.8 ผลการวิเคราะห์ไนโตรฟูแรนในเนื้อปลากะพงสด

ไนโตรฟูแรน	Minimum Required Performance Limit (MRPL) *	ชุดที่			
		1	2	3	4
AOZ ¹	0.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	1.20	1.70
AMOZ ²	0.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	0.31	0.44

¹ AOZ = 3-amino-2-Oxazolidinone

² AMOZ = 5-methylmorpholino-3-amino-2- Oxazolidinone

* มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 9007-2548)

1.2.2.4 สารพิษตกค้าง (Pesticide)

ตารางที่ 1.9 ผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในเนื้อปลากะพงสด

ชุดที่	เกณฑ์มาตรฐาน ประกาศ กระทรวง สาธารณสุข (ฉบับที่ 288) พ.ศ. 2548 เรื่อง อาหารที่มี สารพิษตกค้าง	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (มิลลิกรัมของสารต่อ 1 กิโลกรัมของอาหาร)								
		ดีลตริน 0.20	คลอร์เดน 0.05		ดีดีที 1.00		เอน - ดริน 0.05	เฮปทาคลอร์ 0.20		
			แอลฟา- คลอร์ เดน	แกรม- มา- คลอร์- เดน	2,4'- ดีดีที	4,4'- ดีดีที		เฮปทา คลอร์	เฮปทา คลอร์- เอ็นโดสัฟ ธอก-ไซด์	เฮปทา คลอร์เอ็ก โซพอก ไซด์
1	ไม่ผ่าน	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ผ่าน	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
2	ไม่ผ่าน	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ผ่าน	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
3	ไม่ผ่าน	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ผ่าน	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
4	ไม่ผ่าน	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ผ่าน	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

1.2.2.5 ค่าความสด : Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N)

ตารางที่ 1.10 ค่าความสดในเนื้อปลาโดยทั่วไปกำหนด ดังนี้

ปริมาณ TVB-N มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง	คุณภาพ
< 12 มิลลิกรัม	สด
12-20 มิลลิกรัม	สดบริโภคได้
20-25 มิลลิกรัม	เริ่มเน่าแต่บริโภคได้
> 25 มิลลิกรัม	เริ่มเน่าบริโภคไม่ได้

ตารางที่ 1.11 ผลการวิเคราะห์ค่าความสดในเนื้อปลากะพงสด

ชุดที่	ปริมาณ TVB-N (มิลลิกรัม / 100 กรัม ตัวอย่าง)
1	16.64
2	17.93
3	17.37
4	17.34

จากการวิเคราะห์ทางเคมี ในส่วนของสารปนเปื้อน โลหะหนัก สารเคมี และความสดของปลากะพง พบว่าไม่พบโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ปนเปื้อนในเนื้อปลากะพงสด และไม่พบสารปฏิชีวนะ คลอแรมฟินิคอล ในเนื้อปลากะพงสดทุกชุด และไม่พบสารพิษตกค้างในกลุ่มของสารฆ่าแมลง ในทุกชุดของปลากะพงสด แต่พบสารปฏิชีวนะไนโตรฟูแรน ในปริมาณที่มากเกินเกณฑ์ที่กำหนดในปลากะพงสดชุดที่ 3 และ ปลากะพงมีปริมาณ TVB-N อยู่ในช่วง 16.64 – 17.93 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อปลา ซึ่งอยู่ในคุณภาพที่สดบริโภคได้ ทั้งนี้ความสดที่ลดลงอาจเป็นเพราะต้องขนส่งปลาจาก จ.พังงา มายังห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหารที่กรุงเทพมหานคร จึงส่งผลให้ค่า TVB-N เพิ่มขึ้น

บทที่ 2

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากระพงรมควันเย็น

2.1 บทนำและวารสารปริทัศน์

ปลากระพงได้รับความสนใจในการเพาะเลี้ยง เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว และให้ผลผลิตสูง เป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ต้องการของตลาด ดังนั้นจึงมีการขยายการเพาะเลี้ยงปลากระพงในบ่อดินมากขึ้น เมื่อผลผลิตมากและอายุการเก็บสั้น ส่งผลให้ราคาของปลากระพงต่ำลงเนื่องจากการแข่งขันทางการตลาด นอกจากนี้ ปลาที่เลี้ยงในบ่อดิน มักมีกลิ่นโคลนและกลิ่นคาวที่ไม่พึงประสงค์ ทำให้คุณภาพในการขายไม่ดีเท่าปลากระพงที่เลี้ยงในกระชังปลา หากมีการแปรรูปปลากระพงจากบ่อดินให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เพิ่มกลิ่นรสของอาหาร และสีที่น่านรับประทาน น่าจะเป็นทางเลือกในการช่วยเพิ่มมูลค่าของปลากระพงให้มากขึ้น และในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการอาหารที่มีความสดใหม่ ปราศจากสารกันเสีย งานวิจัยที่ผ่านมาศึกษาผลของการเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงในอาหาร พบว่าเกิดการสูญเสียประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารต้านจุลินทรีย์และองค์ประกอบภายในอาหารทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการตรึงสารต้านจุลินทรีย์ โดยการนำสารต้านจุลินทรีย์เติมลงในบรรจุภัณฑ์ เช่น ฟิล์มบริโภคได้แทนการเติมลงในอาหารโดยตรง ซึ่งการใช้ฟิล์มบริโภคได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์ที่สามารถยับยั้งการเจริญหรือทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารได้รับความนิยมมากขึ้น โดยสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้สามารถยับยั้งการเจริญหรือทำลายจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากสารต้านจุลินทรีย์ส่งผลต่อผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ การทำงานของเอนไซม์ และกลไกทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเพิ่มจำนวน หรือทำให้จุลินทรีย์ตาย นอกจากนี้การใช้ฟิล์มร่วมกับสารยับยั้งจุลินทรีย์ สามารถยืดอายุการเก็บของอาหารได้นานกว่าการใช้สารเคลือบ หรือฟิล์มหรือสารยับยั้งจุลินทรีย์อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงชนิดเดียว โดยได้มีการศึกษาวิจัยการใช้ฟิล์มบริโภคได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เช่น ปลาแซลมอนรมควันเย็น (Mu, Hudaa and Haiqiang, 2008a.; Hudaa *et al.*, 2008) สไลซ์แฮม (Paula *et al.*, 2009) เนื้อวัวย่าง (Richelle *et al.*, 2008) แฮมสเต็ก (Mu, Hudaa, and Haiqiang, 2008b) และไส้กรอกหมูสดแบบกรีก (Soulto, *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามจากการสำรวจผลงานวิจัยการใช้ฟิล์มบริโภคได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ปลารมควันเย็น พบว่ายังมีการศึกษาในด้านนี้อยู่จำนวนน้อย

งานวิจัยนี้จึงศึกษากรรมวิธีการแปรรูปและกระบวนการเก็บรักษาที่เหมาะสมในการผลิตปลารมควันเย็น และการนำฟิล์มต้านจุลินทรีย์มาใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ เพื่อชะลอการเสื่อมเสียจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่ยาวนานขึ้น เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และส่งเสริมการผลิตผลิตภัณฑ์ปลารมควันเย็น ให้เป็นทางเลือกในการประกอบอาชีพระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม

2.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

2.2.1 วัตถุดิบและสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1.1 วัตถุดิบสำหรับผลิตปลากระป๋องวันเย็น

- ปลากระพงขาว (ตลาดสดสามย่าน, กรุงเทพฯ) น้ำหนักตัวประมาณ 500-600 กรัม ล้างให้สะอาด ขอดเกล็ด ตัดแต่ง และแลชิ้นเนื้อ (fillet) เก็บไว้ที่ 4°C ก่อนนำไปทดลองในขั้นต่อไป
- เปลือกป่นเสริมไอโอดีน ตราปรุngthิพย์ (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด, นครราชสีมา)
- ตะไคร้ (ตลาดสดสามย่าน, กรุงเทพฯ)

2.2.1.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตฟิล์มและสารเคลือบบริโภคน้ำดื่ม

- ไคโตซาน (บริษัท สตาร์ ไคโตซาน จำกัด, ประเทศไทย degree of deacetylation 94.0%)
- LM-Pectin (Poly-D-galacturonic acid methyl ester, Himedia, India)
- L- α -Lecithin (phosphatidyl choline \geq ร้อยละ 96.4, Merck, Germany)
- คาราจีแนน ชนิด แคปพาร์-คาจีแนน (Carrageenan MSC 5744) (บริษัท ไทย ฟู้ด แอนด์ เคมีคอล จำกัด, ประเทศไทย)
- ไนซิน (บริษัท สยามวิคตอรี เคมีคอล จำกัด, ประเทศไทย)
- น้ำมันกานพลู (บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด, ประเทศไทย)
- น้ำมันกระเทียม (บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด, ประเทศไทย)
- อบเชยจีนผง (*Cinnamomun cassia* Ness) (บริษัท กิจบรรลือ มัลติฟู้ด จำกัด, ประเทศไทย)
- สารสกัดจากเปลือกทับทิมด้วยเอทานอล

2.2.1.3 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (A.R. grade) (Merck, Germany)
- Ethanol ความเข้มข้น 95% (Merck, Germany)
- สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (A.R. grade)
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade)
- สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4 % (w/v)
- สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture) (A.R. grade)
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade)
- Ethanol, 95%, AR grade (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)
- 2-thiobarbituric acid (Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)
- 1-butanol (A.R. grade) (Merck, Germany)
- Standard plate count agar (Himedia, India)

2.2.1.4 อุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน (Mettler รุ่น W350, Germany)
- ถ้วยอะลูมิเนียม
- เครื่องชั่งละเอียดชนิด 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)
- โถดูดความชื้น (desiccator)
- Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)
- Buchi scrubber (รุ่น B-414, Switzerland)
- เครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน (VELP scientific รุ่น UDK 127, USA)
- เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
- Soxhlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
- เครื่อง evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Japan)
- Micrometer, model 7301 (Mitutoyo, Tokyo, Japan)
- Ultrasonic bath, Ultrasonik™, model 136H (Fisher Scientific, Schwerte, Germany)
- Color meter system, Chroma meter CR-400 series (Konica Minolta Sensing, Osaka, Japan)
- Homogenizer, model X10/25 (Ystral, Ballrechten-Dottingen, Germany)
- Shaking water bath, model SW23 (Julabo Labortechnik GMBH, Seelbach, Germany)
- Water activity meter, AquaLab®, series 3TE (Decagon Devices, Pullman, WA)
- Ultrasonication probe (Dr. Hielscher Up400s, Germany)
- Texture analyzer รุ่น TA-XT2
- pH meter (Horiba รุ่น F-21, Kyoto, Japan)
- 3M™ Petrifilm™ Listeria Plate (บริษัท 3M จำกัด, ประเทศไทย)
- Rotary Evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Tokyo, Japan)

2.2.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

2.2.2.1 วิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ

นำปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) น้ำหนักตัวประมาณ 500 – 600 กรัม ล้างให้สะอาด ขอดเกล็ด ตัดแต่ง และแล่ชิ้นเนื้อ (fillet) จากนั้นนำเนื้อปลากะพงสดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพทางจุลชีววิทยา ดังต่อไปนี้

- ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (1995)

- ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (1995)
- ค่า TBA ตามวิธีของ AOCS (1997)
- วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่
 - จุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธี AOAC (1995)
 - จุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* ตามวิธี FDA-BAM (2001)
 - จุลินทรีย์ *Salmonella* spp. ตามวิธี AOAC (1995)
 - จุลินทรีย์ *E.coli* ตามวิธี FDA-BAM (2002)
 - จำนวนพาราสิตโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (จากตัวอย่าง 147 กรัม)
 - ในแต่ละการวิเคราะห์ ทดลอง 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

2.2.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรมควันเย็นของปลากระพงด้วยชานอ้อย

การเตรียมน้ำตะไคร้

ล้างตะไคร้ให้สะอาด ตัดส่วนใบทิ้ง ใช้เฉพาะลำต้น นำมาหั่นซอยเป็นชิ้นหยาบๆ จากนั้นชั่งน้ำหนักตะไคร้ บดกับน้ำด้วยเครื่องบดสับอาหาร โดยใช้อัตราส่วนตะไคร้ต่อน้ำเป็น 1:1 โดยน้ำหนัก บดนาน 10 นาที นำตะไคร้ที่บดละเอียดแล้วมากรองด้วยกระชอน คั้นเอาแต่น้ำ นำไปใช้ทันที

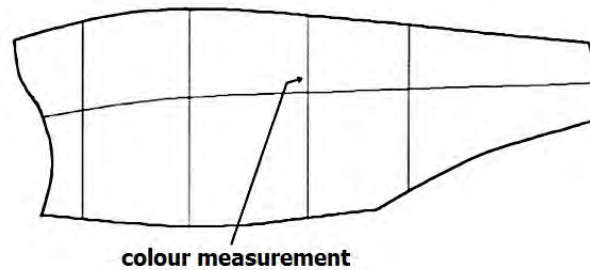
ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรมควันเย็นปลากระพงขาวด้วยชานอ้อย

เตรียมน้ำตะไคร้ จากนั้นเติมเกลือลงในน้ำตะไคร้โดยแปรความเข้มข้นของเกลือ ที่ 5, 10 และ 15% (w/v) แช่เนื้อปลากระพงขาวที่แลแล้ว 30 นาที (ปลา : น้ำตะไคร้ผสมเกลือ 1:1) จากนั้นแปรอุณหภูมิรมควันปลากระพงขาว 3 ระดับ ได้แก่ 35, 40 และ 45 °C และเวลารมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม. จัดสิ่งทดลองแบบ 3³ factorial (รวมเป็น 27 สิ่งทดลอง) วิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ดังนี้

ค่า water activity (a_w) ด้วยเครื่องวัด Water activity (AquaLab[®], series 3TE) ทดลอง 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

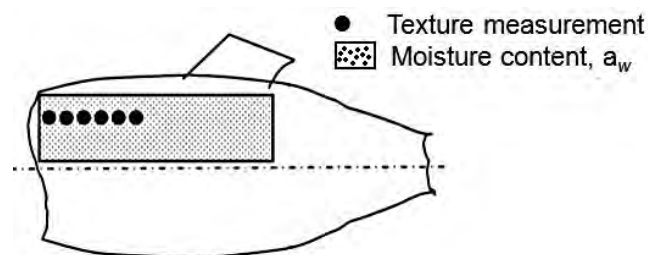
ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995) ทดลอง 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

ค่าสี ในระบบ CIE L* a* b* ด้วยเครื่อง chroma meter (Konica Minolta Sensing, Osaka, Japan) โดยตำแหน่งในการวัดค่าของชิ้นเนื้อปลาบริเวณด้านหลังครีบหลังแต่ละตัวอย่างวัดค่า 3 ครั้ง โดยหมุนตัวอย่าง 90° ระหว่างการวัดในแต่ละครั้ง (Rørå *et al.*, 1998)



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งในการวัดค่าสี L^* a^* b^* ด้วยเครื่อง chroma meter ในชั้นปลากะพงรมควัน
ที่มา : Rørd และคณะ, 1998

ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture analyzer TA-XT2 load cell 5 กก. และ plunger รูปทรงกระบอกปลายแบน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม.) วัดค่า force (g) บนชิ้นเนื้อปลาบริเวณเหนือเส้นกึ่งกลางตัวปลา ตั้งแต่บริเวณเหนือถึงครึ่งหลัง ตามวิธีของ Gallart – Jornet และคณะ (2006) โดยแต่ละตัวอย่างวัดค่า 3 ครั้ง



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งในการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นปลากะพงรมควัน
ที่มา : Gallart-Jornet และคณะ (2006)

วางแผนการทดลองแบบ 3^3 factorial in CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

2.2.2.3 คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลากะพงรมควันเย็นและผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์

คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลากะพงรมควันเย็น

เมื่อนำตัวอย่างสูตรปลากะพงรมควันทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ค่าความชื้นประมาณร้อยละ 75% (ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุ่ง, 2537) เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสูตรปลากะพงรมควันที่เหมาะสม 3-5 สูตร เพื่อทดสอบการยอมรับด้วยวิธีการทดสอบ Acceptance test ด้วยสเกลแบบ 9-point hedonic scale ใช้ผู้ประเมินที่รู้จักและรับประทานผลิตภัณฑ์ปลารมควันและปลาดิบจำนวน 30 คน โดยวางแผนการทดลองแบบ

3^3 factorial in RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS คัดเลือกสูตรที่ให้ผลทางกายภาพและประสาทสัมผัสเหมาะสมที่สุด 1 สูตร สำหรับศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องรมควันเย็น โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน ประเมินความชอบด้วยสเกลแบบ 9 – point hedonic scale ในคุณลักษณะต่อไปนี้ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชอบรวม การยอมรับผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

2.2.2.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพทางจุลชีววิทยาของปลากระป๋องรมควันเย็น

แปรรูปปลากระป๋องรมควันเย็นจากสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.2.3 แล้วนำปลากระป๋องรมควันเย็นที่แปรรูปได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพทางจุลชีววิทยา ดังนี้

- ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (1995)
- วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่

จุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธี AOAC (1995)

จุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* ตามวิธี FDA-BAM (2001)

จุลินทรีย์ *Salmonella spp.* ตามวิธี AOAC (1995)

จุลินทรีย์ *E.coli* ตามวิธี FDA-BAM (2002)

จุลินทรีย์ *Listeria spp.* (โดยใช้ 3M™ Petrifilm™)

แต่ละชนิดของจุลินทรีย์ วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.2.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องรมควันเย็นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

แปรรูปปลากระป๋องรมควันตามสูตรที่เลือกได้จากข้อ 2.2.2.3 แล้วนำฟิล์มผสมสารต้านจุลินทรีย์ 3 ชนิด (ใช้ตัวอย่างปลากระป๋องรมควันที่ไม่ห่อฟิล์มบริโภคเป็นตัวอย่างควบคุม) ดังนี้

- (1) ฟิล์มเพกตินที่ตรึง liposome ของสารต้านจุลินทรีย์จากสมุนไพร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียม กานพลูและสารสกัดจากทับทิมด้วยเอทานอล (อรชร เมฆเกิดชู, 2552)
- (2) ฟิล์มคาราจีแนนเติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย (วิภาวีร์ ธาระเขตร์, 2551)

(3) ไคโตซานผสมไนซิน (Mu *et al.*, 2008b)

จากนั้นนำตัวอย่างที่หุ้มฟิล์มบรรจุในถุงพลาสติก LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดาและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

คัดเลือกฟิล์มที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็นได้นานที่สุด โดยสุ่มตัวอย่างปลากะพงรมควัน ทุก 5 วัน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส จนกว่าผู้บริโภคนิยามยอมรับโดยพิจารณาจากคะแนนการยอมรับรวมต่ำกว่า 6 หรือปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่ามาตรฐาน คือ 6 log CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2553) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2.2.2.6 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของปลากะพงรมควันเย็นด้วยชานอ้อยที่มีการใช้ฟิล์มต้านจุลินทรีย์

แปรรูปปลากะพงรมควันตามสูตรที่เลือกได้จากข้อ 2.2.2.3 แล้วนำฟิล์มผสมสารต้านจุลินทรีย์ที่เลือกได้จากข้อ 2.2.2.5 นำมาห่อปลากะพงรมควันเย็น บรรจุในถุงพลาสติก LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดาและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C สุ่มตัวอย่างปลากะพงรมควัน ทุก 5 วัน มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางจุลชีววิทยา จนกว่าผู้บริโภคนิยามยอมรับโดยพิจารณาจากคะแนนการยอมรับรวมต่ำกว่า 6 หรือปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่ามาตรฐาน คือ 6 log CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2553) โดยวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ตามวิธี AOAC, 1995) จำนวน Lactic acid bacteria (ตามวิธี ISO 15214: 1998(E)) จำนวนจุลินทรีย์ *Listeria* spp. (โดยใช้ 3MTM PetrifilmTM) และ *Staphylococcus aureus* (ตามวิธี FDA-BAM, 2001) และจำนวน *Clostridium perfringens* (ตามวิธี FDA-BAM,) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

2.3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

2.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 2.1) พบว่า เนื้อปลากะพงสด มีปริมาณโปรตีนและไขมัน ร้อยละ 20.33 และ 2.34 ตามลำดับ ตัวอย่างเนื้อปลากะพงสดมีค่า Thiobarbituric acid หรือ ค่า TBA เท่ากับ 0.019 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์/กิโลกรัม ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อปลากะพงสด แสดงให้เห็นว่าเนื้อปลากะพงที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปปลากะพงรมควันเย็นนั้น มีความสดเหมาะสมสำหรับนำไปแปรรูปต่อไป และนำเนื้อปลากะพงสดมาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนจุลินทรีย์ *S. aureus*, *Salmonella* spp., *E.coli* และ จำนวนปาราสิต พบว่า เนื้อปลากะพงสดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.8×10^5 CFU/g, จำนวน *E.coli* < 3 MPN/g จำนวน *S. aureus* 60 CFU/g ไม่พบ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม และไม่พบปาราสิต (จากตัวอย่าง 147 กรัม)

ตารางที่ 2.1 คุณภาพของเนื้อปลากระพงสดทางด้านเคมีและทางจุลชีววิทยา

คุณภาพ	ปริมาณ	มาตรฐาน มกอช. (2549)
คุณภาพทางเคมี		
โปรตีน (g/100 g)	20.33	
ไขมัน (g/100 g)	2.34	
TBA (มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์/กิโลกรัม)	0.019	
คุณภาพทางจุลชีววิทยา		
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	2.8×10^5	5×10^5
<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	60	10^3
<i>Salmonella</i> spp. (CFU/g)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>E.coli</i> (MPN/g)	< 3	<11
ปาราสิต (จากตัวอย่าง 146 กรัม)	ไม่พบ	

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2549) ได้กำหนดมาตรฐานทางด้านจุลินทรีย์ของเนื้อปลากระพงขาวสดไว้ ดังนี้ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 5×10^5 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g), *S. aureus* ไม่เกิน 10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g), *E.coli* ไม่เกิน 11 MPN/g และไม่พบ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของตัวอย่างเนื้อปลากระพงขาวสด พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด จำนวน *S. aureus*, *E.coli* และ *Salmonella* spp. ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกำหนดไว้ แสดงว่าเนื้อปลากระพงขาวที่ใช้ในการทดลอง มีมาตรฐานทางด้านจุลินทรีย์และคุณภาพที่ดี เหมาะแก่การนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักวันเย็นของปลากระพงด้วยขานอ้อย

จากการศึกษาสภาวะในการหมักวันเย็นปลากระพง โดยแปรความเข้มข้นของเกลือ (5, 10, 15% w/v) อุณหภูมิในการหมักวัน (35, 40, 45°C) และเวลาในการหมักวัน (2, 2.5, 3 ชม.) นำเนื้อปลากระพงที่แล่แล้วแช่ในน้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ โดยแปรความเข้มข้นของเกลือ ที่ 5, 10 และ 15% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที

วิเคราะห์คุณภาพของปลากะพง ได้แก่ a_w , ความชื้น ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) แสดงผลในตารางที่ 2.2 - 2.7

ผลการวัดค่าความชื้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการรมควันเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมีความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากตัวอย่างเกิดการสูญเสียน้ำไปในระหว่างการรมควัน และเมื่อแช่ปลากะพงในสารละลายที่มีความเข้มข้นของเกลือต่างกัน ที่สภาวะรมควันเดียวกัน พบว่า ความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อปริมาณความชื้นของตัวอย่าง โดยเมื่อแช่เนื้อปลากะพงในสารละลายเกลือที่เข้มข้นขึ้น ตัวอย่างมีความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณเกลือที่ใช้หรือความเข้มข้นของเกลือสูง สามารถกำจัดน้ำออกจากอาหารได้เร็ว (ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง, 2537) สอดคล้องกับผลการศึกษาสภาวะการรมควันปลาสดของปรีทิพย์ เกียรติกังวาลไกล (2532) ซึ่งพบว่า ความชื้นของตัวอย่างลดลงเมื่อแช่ตัวอย่างในสารละลายที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน (สุพันธ์ แสนกล้า, 2548; อรรถพร สัมปชัญญุสทิพย์, 2549)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในสารละลายเกลือ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรรูณหภูมิมิรมควัน 35, 40 และ 45°C แปรรยะเวลารมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

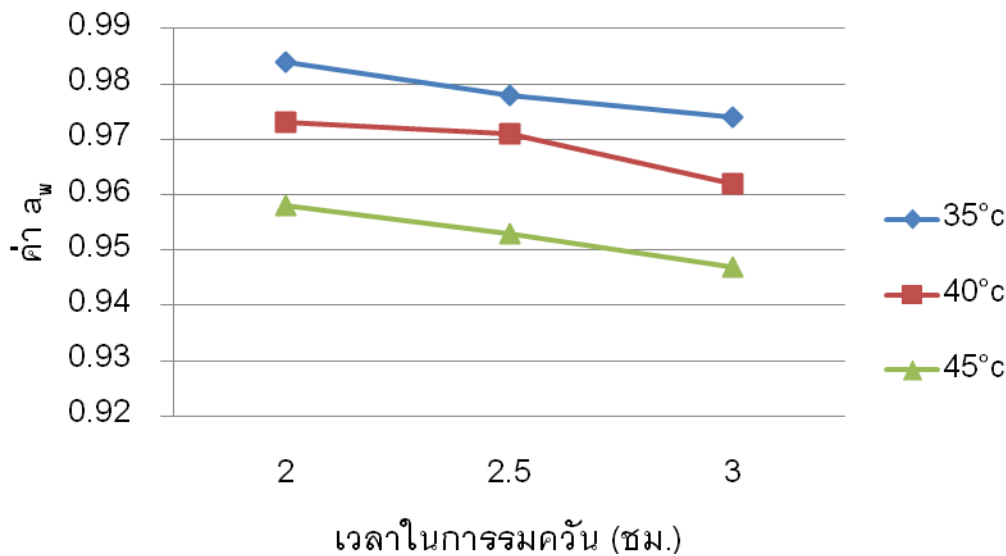
ความเข้มข้น ของเกลือ	35°C			40°C			45°C		
	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.
5%	79.09 ^a ±0.21	78.53 ^{ab} ±0.05	78.07 ^b ±0.02	75.79 ^d ±1.16	74.10 ^e ±0.02	72.52 ^{fg} ±0.04	72.41 ^{fg} ±0.11	71.85 ^{sh} ±0.19	70.38 ^{jk} ±0.24
10%	78.24 ^b ±0.11	77.19 ^c ±0.15	76.05 ^d ±0.04	74.56 ^d ±0.03	72.50 ^{fg} ±0.23	71.82 ^{gh} ±0.22	71.48 ^h ±0.10	70.36 ^{jk} ±0.09	68.92 ^{mn} ±0.27
15%	77.25 ^c ±0.17	76.05 ^d ±0.20	74.40 ^e ±0.11	72.97 ^f ±0.08	71.36 ^{hi} ±0.07	69.83 ^{kl} ±0.06	70.77 ^{ij} ±0.02	69.56 ^{lm} ±0.07	68.77 ⁿ ±0.17

a,...,n ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2.3 ค่า a_w ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในสารละลายเกลือ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรอุณหภูมิรมควัน 35, 40 และ 45°C แปรระยะเวลารมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

ความเข้มข้น ของเกลือ	35°C			40°C			45°C		
	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.
5%	0.984 ^a ±0.005	0.979 ^b ±0.01	0.974 ^{cd} ±0.005	0.973 ^{def} ±0.004	0.969 ^{ef} ±0.003	0.962 ^g ±0.004	0.958 ⁱ ±0.009	0.952 ^{jk} ±0.002	0.948 ^{kl} ±0.001
10%	0.984 ^a ±0.006	0.979 ^b ±0.008	0.975 ^{bcd} ±0.002	0.972 ^{def} ±0.002	0.974 ^{cd} ±0.003	0.963 ^g ±0.003	0.958 ^{hi} ±0.002	0.953 ^j ±0.002	0.947 ^l ±0.002
15%	0.984 ^a ±0.002	0.977 ^{bc} ±0.005	0.973 ^{cdef} ±0.007	0.973 ^{cde} ±0.004	0.969 ^f ±0.005	0.962 ^{gh} ±0.001	0.957 ^{ij} ±0.001	0.953 ^j ±0.003	0.946 ^l ±0.003

a,...,l ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวและแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 2.1 ค่า a_w ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในสารละลายเกลือความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรรูณหภูมิมักวัน 35, 40 และ 45°C ระยะเวลาหมักวัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

หมายเหตุ: ค่า a_w ที่แสดงในกราฟเป็นค่า a_w เฉลี่ยของตัวอย่างที่ความเข้มข้นเกลือ 5, 10 และ 15% (w/v) ที่สภาวะการหมักวันเดียวกัน

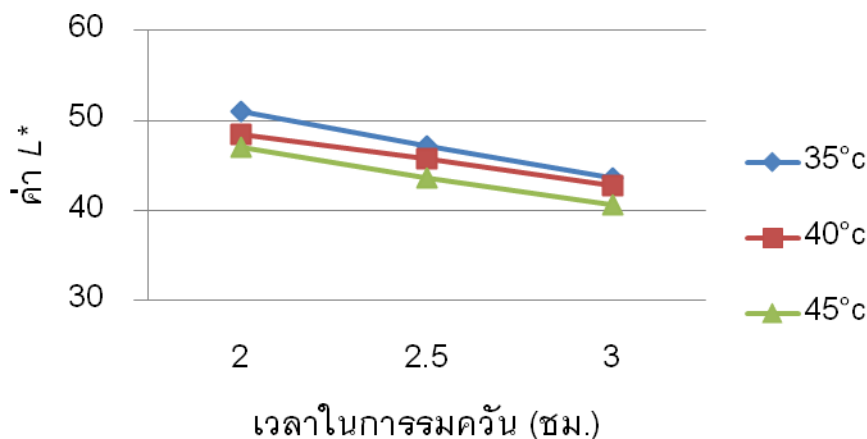
ค่า a_w ของตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการหมักวันเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมี ค่า a_w ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือไม่มีผลต่อค่า a_w ($p > 0.05$) ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือและเวลาในการหมักวันเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 45°C ตัวอย่างมีค่า a_w ต่ำที่สุด (รูปที่ 2.2) ในขณะที่อุณหภูมิในการหมักวันเดียวกัน ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมักวันนานขึ้น มีค่า a_w ลดลง ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยในปลาสาวยรมควัน ปลาดุกอุยเทศ และหอยแครงรมควัน ที่พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการหมักวันเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมี ค่า a_w ลดลง (ปรทิพย์ เกียรติกังวาลไกล, 2532; สุพันธ์ แสนกล้า, 2548; อรรถพร สัมปชญัญสถิตย์, 2549) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า a_w ของตัวอย่างไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของตัวอย่างโดยตรง โดยค่า a_w จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ในอาหารที่อุณหภูมิเดียวกัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ตารางที่ 2.4 ค่าสี (L^*) ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรอุณหภูมิรมควัน 35, 40 และ 45°C และแปรระยะเวลารมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

ความเข้มข้น ของเกลือ	35°C			40°C			45°C		
	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.
5%	51.25 ^a ±0.04	46.27 ^{def} ±0.08	42.85 ^g ±0.17	48.40 ^b ±0.12	45.48 ^f ±0.05	42.54 ^{gh} ±0.13	46.60 ^{def} ±0.03	43.61 ^g ±0.17	41.37 ^{hi} ±0.07
10%	50.20 ^a ±0.11	47.12 ^{bcd} ±0.21	43.94 ^g ±0.23	48.65 ^b ±0.25	45.69 ^{ef} ±0.02	42.93 ^g ±0.02	46.87 ^{cdef} ±0.01	43.99 ^g ±0.11	40.45 ⁱ ±0.04
15%	51.50 ^a ±0.24	48.15 ^{bc} ±0.12	43.94 ^g ±0.15	48.42 ^b ±0.12	45.97 ^{ef} ±0.21	42.73 ^{gh} ±0.15	47.59 ^{bcd} ±0.12	43.44 ^g ±0.08	40.07 ⁱ ±0.11

a,...,i ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่า L^* คือค่าความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 100 (สีขาว) ถึง 0 (สีดำ) จากตารางที่ 2.4 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักตัวอย่างนานขึ้น พบว่า ค่า L^* หรือค่าความสว่างของตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าตัวอย่างมีสีเข้มขึ้น โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือไม่มีผลต่อค่า L^* ($p > 0.05$) โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือและเวลาในการหมักวันเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 45°C ตัวอย่างมีค่า L^* ต่ำที่สุด (รูปที่ 2.2) ในขณะที่อุณหภูมิในการหมักวันเดียวกัน ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมักวันนานขึ้น ตัวอย่างมีค่า L^* ลดลง ($p \leq 0.05$) ซึ่งสีของตัวอย่างมีค่าความสว่างลดลงหรือตัวอย่างมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีหรือการเกิดเม็ดสี (pigmentation) ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบในควันที่มาจากแหล่งให้ควัน และเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการหมักวันนานขึ้น ตัวอย่างจะมีสีเข้มขึ้นหรือมีค่าความสว่างลดลง (Shahidi and Botta, 1994) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุพันธ์ แสนกล้า (2548) ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักวันนานขึ้น ค่า L^* ของปลาตุ๋นเทศรมควันมีแนวโน้มลดลง และยังพบว่า ที่อุณหภูมิและเวลาในการหมักวันเดียวกัน ตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่า L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



รูปที่ 2.2 ค่า L^* ของตัวอย่างปลากระพงรมควันที่แช่ในสารละลายเกลือความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรอุณหภูมิหมักวัน 35, 40 และ 45°C ระยะเวลาหมักวัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

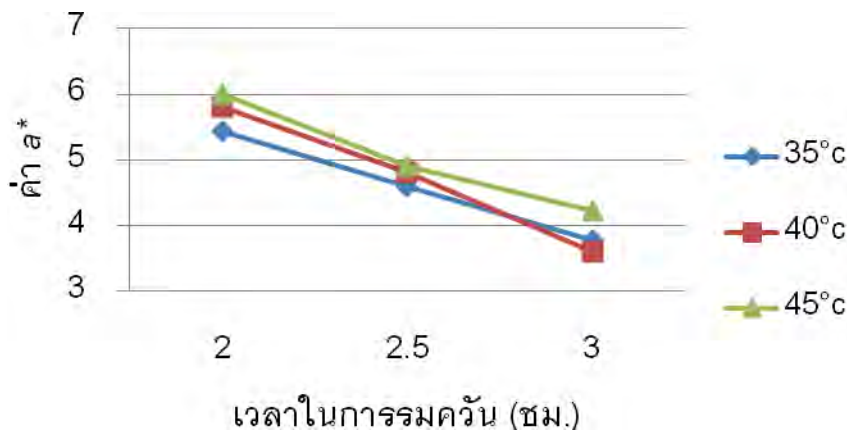
หมายเหตุ: ค่า L^* ที่แสดงในกราฟเป็นค่า L^* เฉลี่ยของตัวอย่างที่ความเข้มข้นเกลือ 5, 10 และ 15% (w/v) ที่สภาวะการหมักวันเดียวกัน

ตารางที่ 2.5 ค่าสี (a^*) ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรอุณหภูมิรมควัน 35, 40 และ 45°C และแปรระยะเวลารมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

ความเข้มข้น ของเกลือ	35°C			40°C			45°C		
	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.
5%	5.92 ^{abc} ±0.01	4.55 ^{de} ±0.04	3.84 ^g ±0.02	5.79 ^{abc} ±0.07	4.84 ^d ±0.02	3.71 ^g ±0.03	6.25 ^a ±0.02	4.95 ^d ±0.12	4.04 ^{fg} ±0.03
10%	5.47 ^c ±0.03	4.60 ^{de} ±0.03	3.71 ^g ±0.01	5.80 ^{abc} ±0.05	4.77 ^d ±0.02	3.75 ^g ±0.05	6.04 ^{ab} ±0.11	4.96 ^d ±0.06	4.18 ^{efg} ±0.04
15%	5.47 ^c ±0.02	4.63 ^{de} ±0.05	3.77 ^g ±0.03	5.85 ^{abc} ±0.02	4.83 ^d ±0.01	3.37 ^g ±0.01	5.70 ^{bc} ±0.04	4.82 ^d ±0.03	4.45 ^{def} ±0.09

a,...,g ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า a^* (ค่าสีแดง-เขียว) จากตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมัก ตัวอย่างนานขึ้น พบว่า ค่า a^* ของตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าค่าสีแดง (+ a^*) ของตัวอย่างลดลง โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือไม่มีผลต่อค่า a^* ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับค่า L^* โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือและเวลาในการหมักวันเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 45°C ตัวอย่างมีแนวโน้มของค่า a^* ต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ (รูปที่ 2.3) ในขณะที่อุณหภูมิในการหมักวันเดียวกัน ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมักวันนานขึ้น ตัวอย่างมีค่า a^* ลดลง ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 2.3 ค่า a^* ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในสารละลายเกลือความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรอุณหภูมิหมักวัน 35, 40 และ 45°C ระยะเวลาหมักวัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

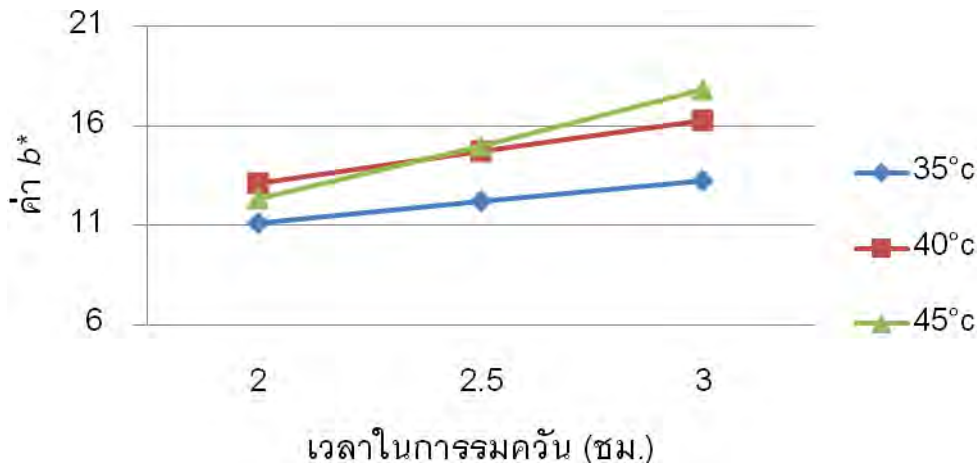
หมายเหตุ: ค่า a^* ที่แสดงในกราฟเป็นค่า a^* เฉลี่ยของตัวอย่างที่ความเข้มข้นเกลือ 5, 10 และ 15% (w/v) ที่สภาวะการหมักวันเดียวกัน

ตารางที่ 2.6 ค่าสี (b^*) ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรรูณหภูมิมิรมควัน 35,40 และ 45°C และแปรร
ระยะเวลารมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

ความ เข้มข้นของ เกลือ	35°C			40°C			45°C		
	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.
5%	10.97 ^k ±0.11	12.39 ^{ghi} ±0.05	13.14 ^f ±0.04	13.09 ^{fg} ±0.07	14.42 ^{de} ±0.06	16.14 ^b ±0.25	12.79 ^{fgh} ±0.06	14.12 ^e ±0.05	17.81 ^a ±0.15
10%	11.21 ^{jk} ±0.12	12.33 ^{hi} ±0.06	13.17 ^f ±0.17	13.11 ^{fg} ±0.08	14.85 ^{cde} ±0.05	16.31 ^b ±0.17	12.36 ^{ghi} ±0.19	15.34 ^c ±0.23	17.77 ^a ±0.08
15%	11.15 ^{jk} ±0.03	11.96 ⁱ ±0.03	13.40 ^f ±0.11	13.2167 ^f ±0.09	14.89 ^{cd} ±0.12	16.32 ^b ±0.08	11.83 ^{ij} ±0.19	15.41 ^c ±0.11	17.88 ^a ±0.06

a,...,k ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่า b^* จากตารางที่ 2.6 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการรมควันตัวอย่างนานขึ้น พบว่า ค่า b^* ของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าค่าสีเหลือง ($+b^*$) ของตัวอย่างเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือไม่มีผลต่อค่า b^* ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับค่า L^* และ a^* โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือและเวลาในการรมควันเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 35°C ตัวอย่างมีค่า b^* ต่ำที่สุด (รูปที่ 2.4) ในขณะที่อุณหภูมิในการรมควันเดียวกัน ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการรมควันนานขึ้น ตัวอย่างมีค่า b^* เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 2.4 ค่า b^* ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในสารละลายเกลือความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรรู้อุณหภูมิรมควัน 35, 40 และ 45°C ระยะเวลาการรมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

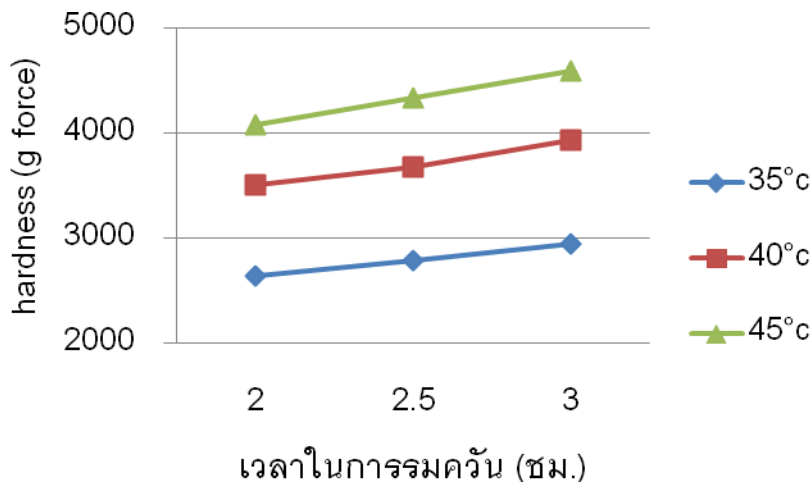
หมายเหตุ: ค่า b^* ที่แสดงในกราฟเป็นค่า b^* เฉลี่ยของตัวอย่างที่ความเข้มข้นเกลือ 5, 10 และ 15% (w/v) ที่สภาวะการรมควันเดียวกัน

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าการรมควันมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ โดยมีรายงานว่าสีของอาหารรมควันเกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) ในควันกับกรดอะมิโน (amino acid) และสารเอมีน (amine) ในอาหาร ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นที่ผิวหน้าของอาหาร ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยา Maillard reaction (Hall, 1992; อรรถพร สัมปชัญญสถิต, 2549) และสารในกลุ่มฟีนอลิกก็มีส่วนช่วยให้เกิดสีในอาหารรมควันเช่นกัน และความเข้มของสีที่เกิดขึ้นในอาหารรมควัน ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการรมควัน นอกจากนี้ควันยังทำให้เกิดความมันเลื่อมที่ผิวหน้าของปลาซึ่งเกิดจากควันและไขมันในตัวปลา (อรรถพร สัมปชัญญสถิต, 2549)

ตารางที่ 2.7 ค่าความแข็งของเนื้อปลา (hardness; g force) ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรอุณหภูมิ รมควัน 35,40 และ 45°C และแปรระยะเวลารมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

ความ เข้มข้น ของ เกลือ	35°C			40°C			45°C		
	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.	2ชม.	2.5ชม.	3ชม.
5%	2644.33 ⁱ ±15. 45	2786.70 ^h ±8. 32	2963.83 ^s ±24. 21	3512.07 ^f ±22.7 2	3687.63 ^e ±19. 49	3992.47 ^d ±23. 13	4104.27 ^c ±34. 64	4337.47 ^b ±25. 49	4581.07 ^a ±12. 33
10%	2626.33 ⁱ ±23.34	2796.70 ^h ±11 .47	2955.53 ^s ±16.11	3521.47 ^f ±18.94	3691.63 ^e ±14.31	3904.4 ^d ±14.75	4062.67 ^c ±13.45	4350.97 ^b ±18.58	4590.10 ^a ±17.77
15%	2659.83 ⁱ ±24. 67	2801.47 ^h ±14 .23	2942.93 ^s ±11.29	3494.43 ^f ±35.63	3647.03 ^e ±31.23	3918.4 ^d ±36.87	4089.67 ^c ±21.14	4337.40 ^b ±19. 05	4620.43 ^a ±35.86

a,...,i ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 2.5 ค่าความแข็งของเนื้อปลา (hardness; g force) ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในสารละลายเกลือความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยแปรรูณหภูมิมรมควัน 35, 40 และ 45°C ระยะเวลาการรมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.

หมายเหตุ: ค่าความแข็งที่แสดงในกราฟเป็นค่าความแข็งเฉลี่ยของตัวอย่างที่ความเข้มข้นเกลือ 5, 10 และ 15% (w/v) ที่สภาวะการรมควันเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของเนื้อปลา (hardness; g force) ของตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แช่ในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% ที่แปรรูณหภูมิมรมควัน 35, 40 และ 45°C และระยะเวลาการรมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม. จากตารางที่ 2.7 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการรมควันตัวอย่างนานขึ้น ค่า hardness (g force) ของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสของตัวอย่างจึงแข็งและแน่นขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือไม่มีผลต่อค่าความแข็งของเนื้อปลา ($p > 0.05$) โดยความเข้มข้นของสารละลายเกลือและเวลาในการรมควันเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 35°C ตัวอย่างมีค่าความแข็งต่ำที่สุด (รูปที่ 2.5) ในขณะที่อุณหภูมิในการรมควันเดียวกัน ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการรมควันนานขึ้น ตัวอย่างมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการรมควันจะเกิดการสูญเสียน้ำ การแพร่กระจายของไขมันและการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนในเนื้อเยื่อโครงสร้างและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน โดยปฏิกิริยาของสารประกอบและความร้อนกับโปรตีนที่ผิวหน้าอาหาร ทำให้โปรตีนที่ละลายได้สูญเสียในระหว่างการรมควัน นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นของ สโตรมา (stroma fraction) ส่วนองค์ประกอบที่ลดลง ได้แก่ myofibrillar proteins และกลุ่มซัลไฟดริลอิสระ (free sulfhydryl group) เนื่องจากปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (cross link) ของโปรตีนที่ผิวหน้าอาหาร ทำให้ผิวนอกของอาหารแข็งและแน่น การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามระหว่างองค์ประกอบของควันและโปรตีนที่ผิวหน้าของอาหารมากเกินไปจะทำให้เกิดลักษณะแข็งที่ผิวนอก (hardened casing) ขัดขวางการซึมของควันเข้าไปในเนื้ออาหาร และการระเหยออกของน้ำ ส่งผลให้ภายในเนื้ออาหารนุ่มและไม่มีกลิ่นรสควัน (วรรณ ตังเจริญชัย, 2534) นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียจากด้านในของชิ้นอาหารได้ง่ายขึ้นอีกด้วย ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง (2537) กล่าวว่า การรมควันที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือใช้ระยะเวลาในการรมควันนานเกินไปอาจทำให้เกิดกลิ่นควันที่มากอีกด้วย

2.3.3 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลากะพงรมควันเย็นและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็น

2.3.3.1 ผลการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลากะพงรมควันเย็น

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างปลากะพงรมควันเย็นทั้งหมด 27 สูตร (ความเข้มข้นของเกลือ 5, 10 และ 15% w/v อุณหภูมิในการรมควัน 35, 40 และ 45°C และเวลาในการรมควัน 2, 2.5 และ 3 ชม.) เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาต่อไป เนื่องจากการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือโดยรวม ไม่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ประกอบกับการทดลองเบื้องต้น ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่า ตัวอย่างปลากะพงรมควันเย็นที่แช่ในสารละลายเกลือ 10 และ 15 % (w/v) นั้น มีรสเค็มเกินไป นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เกลือที่ความเข้มข้นดังกล่าวนั้น เป็นการประหยัดต้นทุนและให้รสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย ดังนั้นจึงเลือกสภาวะในการแช่ในสารละลายเกลือเข้มข้น 5 % (w/v) และเมื่อพิจารณาด้วยปริมาณความชื้นซึ่งควรมีค่าประมาณ 75% เป็นเกณฑ์ประกอบการพิจารณา (ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรง, 2537) จึงเลือกสูตรปลากะพงรมควันได้ 4 สูตร ได้แก่ ตัวอย่างแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 5 ใช้อุณหภูมิในการรมควัน 35°C รมควันนาน 3 ชม. ตัวอย่างแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 5 ใช้อุณหภูมิในการรมควัน 40°C รมควันนาน 2 และ 2.5 ชม. และ ตัวอย่างแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 5 ใช้อุณหภูมิในการรมควัน 45°C รมควันนาน 2 ชม. จากนั้นนำสูตรที่เลือกทั้ง 4 สูตรมาประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยสเกลแบบ 9-point hedonic scale ผู้ทดสอบ 30 คน โดยผู้ประเมิน 1 คน ประเมินการยอมรับทั้ง 4 สูตรคัดเลือกสูตรปลากะพงรมควันที่ให้ผลทางกายภาพและประสาทสัมผัสเหมาะสมที่สุด 1 สูตร ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสูตรที่คัดเลือกได้ แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของปลากะพงรมควันที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	คะแนนความชอบ					
	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	ความชอบรวม
	35°C, 3 ชม.	6.90±1.29 ^c	7.50±0.86 ^{ab}	6.93±1.20 ^b	7.43±0.93 ^{ab}	7.70±0.65
40°C, 2 ชม.	7.20±0.96 ^b	7.43±0.93 ^{ab}	7.26±1.17 ^{ab}	7.63±0.61 ^a	7.63±0.71	7.38±0.97 ^b
40°C, 2.5 ชม.	7.43±0.81 ^{ab}	7.60±0.81 ^a	7.20±1.24 ^{ab}	7.50±0.90 ^{ab}	7.68±0.85	7.43±1.07 ^{ab}
45°C, 2 ชม.	7.60±0.77 ^a	7.63±0.71 ^a	7.53±1.04 ^a	7.50±0.86 ^{ab}	7.70±0.65	7.71±0.58 ^a

a,...,c ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2.8 พบว่าผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างที่เลือกมาในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในผลิตภัณฑ์มากที่สุด 2 สูตร คือ ปลา กะพงรมควันเย็นที่ผลิตจากเนื้อปลากะพงขาวแช่น้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ ความเข้มข้นของเกลือ 5% (w/v) ใช้เวลา ในการแช่ปลา 30 นาที รมควันที่อุณหภูมิ 40°C ใช้เวลาในการรมควัน 2.5 ชม. และ รมควันที่อุณหภูมิ 45°C ใช้ เวลาในการรมควัน 2 ชม. ซึ่งมีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่า a_w ของสภาวะทั้งสอง พบว่า สภาวะในการรมควันที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลาในการรมควัน 2 ชม. มีค่าต่ำกว่าซึ่งค่า a_w หรือค่า water activity คือ น้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งหากผลิตภัณฑ์มีค่า a_w สูงนั้น จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อม เสียได้เร็วขึ้น นอกจากนี้การใช้เวลาในการรมควันที่สั้นกว่านั้นช่วยลดพลังงานและประหยัดเชื้อเพลิงในการใช้ รมควันผลิตภัณฑ์อีกด้วย ดังนั้นจึงเลือกสภาวะดังกล่าวสำหรับทดลองขั้นต่อไป

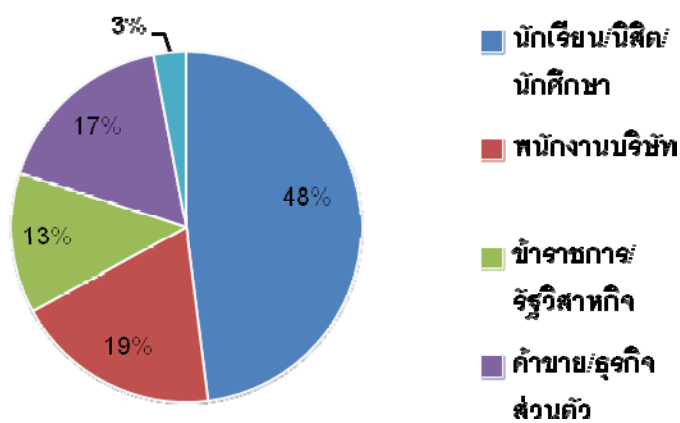
2.2.3.2 การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็น

เมื่อผลิตปลากะพงรมควันเย็นโดยวิธีการที่คัดเลือกแล้ว โดยนำเนื้อปลากะพงแช่น้ำตะไคร้ที่เติม เกลือ ความเข้มข้นของเกลือ 5% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที รมควันที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลาในการ รมควัน 2 ชม. บรรจุในถุง LDPE ปิดผนึก บรรจุถุงละ 1 ชิ้น (fillet) นำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ดังนี้

ใช้แบบสอบถาม ทดสอบผู้บริโภคทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 100 คน แบ่งตามช่วงอายุ ได้แก่ ต่ำกว่า 20 ปี, 20 – 30 ปี, 31 – 40 ปี, 41 – 50 ปี และมากกว่า 50 ปี ช่วงอายุละ 20 คน เป็นเพศ หญิง 48 คน และเพศชาย 52 คน โดยในแต่ละช่วงอายุมีจำนวนผู้ทดสอบที่เป็นเพศชายและเพศหญิง ดังแสดง ในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ทดสอบ

ช่วงอายุ	ชาย	หญิง
ต่ำกว่า 20 ปี	11	9
20 – 30 ปี	10	10
31 – 40 ปี	9	11
41 – 50 ปี	10	10
มากกว่า 50 ปี	10	10



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงสัดส่วนของอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถาม



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงสัดส่วนของรายได้ต่อเดือนของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชาย ร้อยละ 52 และเป็นเพศหญิง ร้อยละ 48 จากรูปที่ 2.6 พบว่า อาชีพส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 48 รองลงมาคือ พนักงานบริษัทและค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว คิด

เป็นร้อยละ 19 และ 17 ตามลำดับ มีการศึกษาระดับปริญญาตรีมากที่สุด คือ ร้อยละ 57 รองลงมา คือ อนุปริญญา/ปวช., ปวส. และ ประถมศึกษา/มัธยมศึกษา คิดเป็นร้อยละ 18 และ 12 ตามลำดับ รายได้ต่อเดือนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5,000 - 10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 47 รองลงมา คือ 15,001 - 20,000 บาท และ น้อยกว่า 5,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 16 และ 13 ตามลำดับ (รูปที่ 2.7)

ผลการสอบถามเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบได้ผลดังตารางที่ 2.10 กล่าวคือ ผู้บริโภคมีความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง คือ ระดับความชอบเฉลี่ยของปัจจัยดังกล่าวเท่ากับ 7.05, 7.06, 7.40, 7.51, 7.40 และ 7.46 ตามลำดับ จากคะแนน 1 - 9 (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด)

ตารางที่ 2.10 คะแนนเฉลี่ยระดับความชอบของผลิตภัณฑ์ต่อคุณลักษณะด้านต่างๆ จากผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ลักษณะปรากฏ	7.05±0.87
สี	7.06±0.89
กลิ่น	7.40±0.85
รสชาติ	7.51±0.81
เนื้อสัมผัส	7.40±0.84
ความชอบรวม	7.46±0.80

ผลการสอบถามด้านการยอมรับของผู้บริโภคทั้งบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 2.11) พบว่าผู้บริโภคยอมรับในบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควัน ในระดับปานกลาง โดยมีคะแนนการประเมินเท่ากับ 3.71 และ 3.84 ตามลำดับ จากคะแนน 1 - 5 (1 หมายถึง ไม่ยอมรับมากที่สุด 5 หมายถึง ยอมรับมากที่สุด)

ผู้บริโภคร้อยละ 92 มีแนวโน้มที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ในราคา 150 บาท อีกร้อยละ 8 ผู้บริโภคไม่เต็มใจซื้อในราคาดังกล่าว แต่เต็มใจซื้อในราคา 140 บาท ต่อ 1 บรรจุภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 37.5 และต้องการที่จะซื้อในราคา 130 บาท ต่อ 1 บรรจุภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 62.5 ของจำนวนผู้ที่ไม่เต็มใจซื้อในราคา 150 บาท ต่อ 1 บรรจุภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าปลากะพงรมควันเย็นอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่สวยงาม ไม่ดึงดูดใจให้ซื้อผลิตภัณฑ์ในราคา ดังกล่าว

ตารางที่ 2.11 คะแนนการยอมรับในบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ปลากระพงรมควัน

ระดับคะแนนการยอมรับ	บรรจุภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์
	ความถี่	ความถี่
	(คน)	(คน)
1 น้อยที่สุด	-	-
2 น้อย	-	3
3 ปานกลาง	45	37
4 มาก	39	33
5 มากที่สุด	16	27
รวม	100	100
ระดับคะแนนเฉลี่ย	3.71	3.84

2.3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพทางจุลชีววิทยาของปลากระพงรมควันเย็น

แปรรูปปลากระพงรมควันเย็นจากสูตรที่คัดเลือกได้ โดยนำปลากระพงขาว น้ำหนักตัว 500 - 600 กรัม ล้างให้สะอาด ขอดเกล็ด ตัดแต่ง และแลชิ้นเนื้อ (fillet) จากนั้นนำเนื้อปลากระพงแช่ในน้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ ความเข้มข้นของเกลือ 5% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที รมควันที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลาในการรมควัน 2 ชม. นำผลิตภัณฑ์ปลากระพงรมควันที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณภาพของปลากระพงรมควันทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา แสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 คุณภาพของปลากะพงรมควันทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา

คุณภาพ	ปริมาณ	มาตรฐาน กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553)
คุณภาพทางเคมี		
ความชื้น (ร้อยละ)	71.48±1.48	
โปรตีน (ร้อยละ)	18.9±0.28	
ไขมัน (ร้อยละ)	2.31±0.48	
เถ้า (ร้อยละ)	2.78±0.55	
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	4.53±0.21	
ปริมาณเกลือ (g/100g)	2.98±0.04	
คุณภาพทางกายภาพ		
a_w	0.957±0.07	
L^*	46.87±0.12	
a^*	6.04±2.54	
b^*	13.17±3.18	
คุณภาพทางจุลชีววิทยา		
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	3.5×10^3	$< 1 \times 10^6$
<i>Listeria</i> spp. (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>S. aureus</i> (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Salmonella</i> spp. (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>E.coli</i> (MPN/กรัม)	ไม่พบ	น้อยกว่า 3
ยีสต์และรา	< 30 CFU/g	

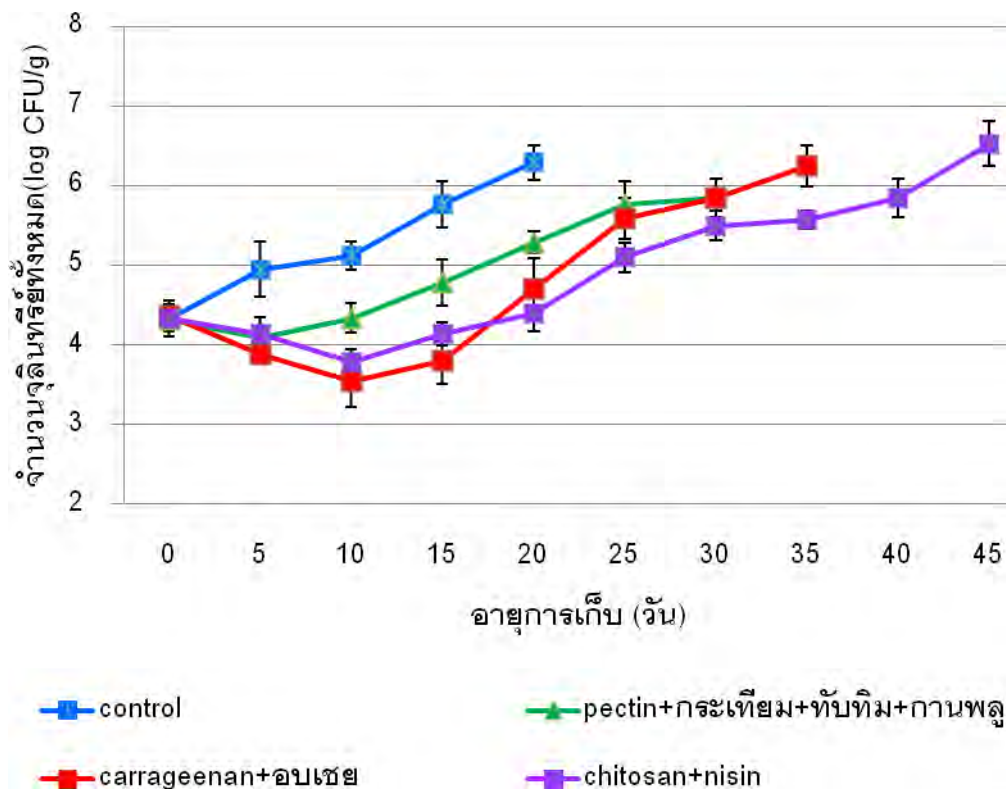
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553) ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารที่ผ่านกรรมวิธีแปรรูปไว้ ดังนี้ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1×10^6 โคโลนี/กรัม จำนวน *E.coli* น้อยกว่า 3 MPN/กรัม ไม่

พบ *S. aureus* *Salmonella* spp. และ *Listeria* spp. พบว่าคุณภาพทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างปลากะพงรมควัน เย็นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนด

2.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มบิโกลโคไต้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็น ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

เมื่อแปรรูปปลากะพงรมควันตามสูตรที่เลือกได้จากข้อ 2.3.3 โดยนำปลากะพงขาว น้ำหนักตัว 500-600 กรัม ล้างให้สะอาด ขอดเกล็ด ตัดแต่ง และแล่ชิ้นเนื้อ (fillet) จากนั้นเนื้อปลากะพงแช่ในน้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ ความเข้มข้นของเกลือ 5% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที รมควันที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลาในการรมควัน 2 ชม. แล้วนำฟิล์มผสมสารต้านจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มคาราจีแนนเติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย (ดัดแปลงจาก วิภาวีร์ ธาระเชษฐ์, 2551) ฟิล์มเพกตินที่ตรึง liposome ของสารต้านจุลินทรีย์จากสมุนไพร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียม กานพลูและสารสกัดจากทับทิมด้วยเอธานอล (ดัดแปลงจากอรชร เมฆเกิดชู, 2552) และฟิล์ม โคลโตซานผสมไนซิน (ดัดแปลงจาก Mu *et al.*, 2008b) มาห่อชิ้นปลากะพงรมควัน (น้ำหนักประมาณ 150 กรัม/ชิ้น) ทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยใช้ตัวอย่างปลากะพงรมควันที่ไม่ห่อฟิล์มบิโกลโคไต้เป็นตัวอย่างควบคุม บรรจุในถุงพลาสติก LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดาและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็นได้นานที่สุด โดยสุ่มตัวอย่างปลากะพงรมควัน ทุก 5 วัน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส จนกว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่ามาตรฐาน คือ 6 log CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์ การแพทย์, 2553) หรือผู้บริโกลโคไต้ไม่ยอมรับโดยพิจารณาจากคะแนนการยอมรับรวมต่ำกว่า 6 จะถือว่า ผลิตภัณฑ์สิ้นสุดอายุการเก็บรักษา

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลากะพงรมควันควบคุม (ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มต้านจุลินทรีย์) และปลากะพงรมควันหุ้มฟิล์มในระหว่างการเก็บรักษา แสดงในรูปที่ 2.8 พบว่า ปลากะพงรมควันควบคุม มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 4.33 log CFU/g เป็น 5.77 log CFU/g ในวันที่ 15ของการเก็บรักษา และมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินกว่ามาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553) คือ 6 log CFU/g ในวันที่ 20 โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.29 log CFU/g จึงถือว่าปลากะพงรมควันที่ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มต้านจุลินทรีย์ บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาเก็บรักษา 4°C มีอายุการเก็บได้นาน 15 วัน



รูปที่ 2.8 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total bacteria count) ในปลากะพงรมควันควบคุมและ

ปลากะพงรมควันหุ้มฟิล์มเสริมสารต้านจุลินทรีย์ บรรจุลง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการรักษาที่ 4°C

ฟิล์มไคโตซานผสมไนซินสามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานที่สุด คือ 40 วันโดยมีคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 6 ตลอดอายุการเก็บรักษา (ดังตารางที่ 2.13) โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในปลากะพงรมควันที่หุ้มด้วยฟิล์มดังกล่าว มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.84 log CFU/g ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 40) และพบว่าหลังจากเก็บรักษาตั้งแต่วันที่แรกจนถึงวันที่ 10 ฟิล์มดังกล่าวสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ประมาณ 0.62 log CFU/g และช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ หลังจากการเก็บวันที่ 10 พบว่าจุลินทรีย์มีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hudaa และคณะ (2008) ที่ศึกษาผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ฟิล์มไคโตซานผสมไนซินในผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอนรมควัน พบว่า ฟิล์ม ไคโตซานผสมไนซิน 2,000 IU/cm² สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีและสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ประมาณ 2.4 log CFU/g เมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา 60 วัน โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่หุ้มฟิล์ม เก็บรักษาที่ 4°C ในถุง LDPE ปิดผนึกแบบสุญญากาศ

ตารางที่ 2.13 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลากระพงรมควันห่อด้วยฟิล์มโคโตนานผสมไนซิน
บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษา 4°C

อายุการเก็บ (วัน)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
0	7.30±0.52 ^a	7.25±0.26 ^a	7.34±0.45 ^a	7.34±0.28 ^a	7.29±0.59 ^a	7.22±0.24 ^a
5	7.29±0.48 ^a	7.26±0.32 ^a	7.35±0.26 ^a	7.31±0.31 ^a	7.28±0.28 ^a	7.21±0.35 ^a
10	7.19±0.48 ^b	7.25±0.38 ^a	7.22±0.20 ^{ab}	7.25±0.26 ^{ab}	7.24±0.34 ^a	7.18±0.42 ^a
15	7.18±0.15 ^b	7.18±0.39 ^b	7.18±0.32 ^b	7.24±0.51 ^{ab}	7.18±0.25 ^{ab}	7.15±0.19 ^{ab}
20	7.16±0.65 ^{bc}	7.17±0.29 ^b	7.17±0.45 ^b	7.22±0.28 ^{ab}	7.15±0.21 ^{ab}	7.11±0.35 ^{ab}
25	7.10±0.50 ^c	7.14±0.52 ^b	7.16±0.26 ^b	7.19±0.43 ^{ab}	7.10±0.19 ^{bc}	7.01±0.25 ^b
30	7.15±0.49 ^{bc}	7.15±0.26 ^b	7.18±0.33 ^b	7.20±0.41 ^{ab}	7.14±0.43 ^{ab}	7.08±0.28 ^{ab}
35	7.09±0.52 ^c	7.14±0.26 ^b	7.14±0.13 ^b	7.18±0.45 ^{ab}	7.00±0.11 ^c	6.95±0.29 ^b
40	7.05±0.42 ^c	7.10±0.34 ^c	7.15±0.25 ^b	7.12±0.33 ^b	6.97±0.20 ^c	6.88±0.30 ^c

a,....,c ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2.14 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลากะพงรมควันห่อด้วยฟิล์มคาราจีแนนเติมสารสกัดจากอบเชย บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษา 4°C

อายุการเก็บ (วัน)	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ รวม
0	7.24±0.52 ^a	7.25±0.25 ^a	7.16±0.19 ^a	7.33±0.35 ^a	7.25±0.44 ^a	7.21±0.24 ^a
5	7.21±0.64 ^a	7.24±0.26 ^a	7.16±0.25 ^a	7.31±0.19 ^a	7.24±0.28 ^a	7.20±0.43 ^a
10	7.19±0.50 ^a	7.22±0.35 ^a	7.15±0.31 ^a	7.30±0.24 ^a	7.22±0.35 ^a	7.18±0.35 ^a
15	7.15±0.51 ^{ab}	7.13±0.45 ^b	7.13±0.29 ^a	7.31±0.29 ^a	7.23±0.34 ^a	7.16±0.26 ^{ab}
20	7.12±0.56 ^{ab}	7.20±0.32 ^{ab}	7.11±0.27 ^{ab}	7.28±0.35 ^{ab}	7.18±0.50 ^b	7.14±0.29 ^b
25	7.11±0.42 ^{ab}	7.18±0.15 ^{ab}	7.10±0.41 ^{ab}	7.27±0.29 ^{ab}	7.17±0.42 ^b	7.13±0.37 ^b
30	7.08±0.61 ^b	7.15±0.22 ^{ab}	7.08±0.26 ^b	7.20±0.46 ^c	7.17±0.38 ^b	7.13±0.33 ^b

a,...,c ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

สำหรับฟิล์มคาราจีแนนเติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยนั้น สามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้นาน 30 วัน โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/g และมีคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 6 ตลอดอายุการเก็บรักษา (ดังตารางที่ 2.14) โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในปลากะพงรมควันที่ห่อด้วยฟิล์มดังกล่าว มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.84 log CFU/g ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 30) และสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ประมาณ 0.83 log CFU/g เช่นเดียวกับงานวิจัยของวิภาวีร์ ธาระเขตร์ (2551) ที่ศึกษาผลการนำสารเคลือบบริโภาคผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร พบว่า คาราจีแนนร้อยละ 2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ผสมสารสกัดจากอบเชยนำมาเคลือบตัวอย่างปลาสดเค็มสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 28 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4°C) ในถุงโพลีโพรพิลีนที่พับปากถุง

ในขณะที่ปลากะพงรมควันที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มเพกตินเติมน้ำมันหอมระเหยจากกระเทียม กานพลูและสารสกัดจากทับทิมด้วยเอธานอล ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.76 log CFU/g ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ซึ่งไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดก็ตาม แต่เนื่องจากตัวอย่างที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มดังกล่าว มีคะแนนความชอบรวม 5.79 (ตารางที่ 2.15) ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์คะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ที่กำหนด โดยผู้บริโภคนิยมรับประทานของน้ำมันกระเทียมที่ใช้ผสมลงในฟิล์มเพกติน เนื่องจากน้ำมันกระเทียมนั้นมีกลิ่นแรงและทำให้ตัวอย่างปลาไม่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ และบดบังกลิ่นรมควันของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2.15 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลากะพงรมควันห่อด้วยฟิล์มเพกตินเติมสารต้านจุลินทรีย์จากสมุนไพรได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียม กานพลูและสารสกัดจากทับทิมด้วยเอธานอลบรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษา 4°C

อายุการเก็บ (วัน)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
0	7.15±0.20 ^a	7.30±0.45 ^a	6.84±0.28 ^a	6.80±0.25 ^a	7.10±0.48 ^a	6.94±0.26 ^a
5	7.16±0.35 ^a	7.28±0.15 ^a	6.75±0.26 ^a	6.78±0.26 ^a	6.95±0.28 ^a	6.85±0.59 ^{ab}
10	7.01±0.35 ^{ab}	7.20±0.16 ^{ab}	6.41±0.24 ^b	6.61±0.32 ^{ab}	6.94±0.28 ^a	6.45±0.52 ^b
15	6.78±0.41 ^b	7.16±0.45 ^{ab}	6.28±0.11 ^{bc}	6.35±0.23 ^b	6.91±0.40 ^a	6.29±0.58 ^b
20	6.74±0.32 ^b	7.00±0.42 ^c	5.75±0.36 ^c	5.90±0.33 ^{bc}	6.83±0.22 ^{ab}	6.11±0.51 ^{bc}
25	6.75±0.29 ^b	7.00±0.19 ^c	5.65±0.34 ^c	5.78±0.29 ^c	6.74±0.19 ^{ab}	5.79±0.31 ^c

a,...,c ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

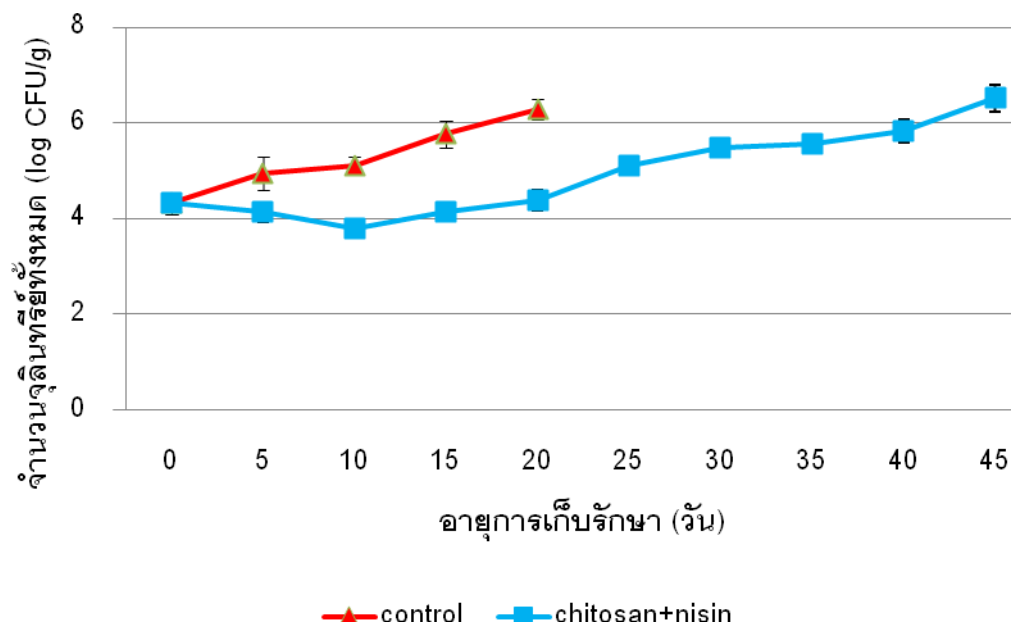
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ฟิล์มโคโตซานผสมโนซินสามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานที่สุด รองลงมาคือ ฟิล์มคาราจีแนนเติมสารสกัดจากอบเชยและฟิล์มเพกตินเติม น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียม กานพลู และสารสกัดจากทับทิมด้วยเอธานอล ตามลำดับ เนื่องจากโคโตซานนอกจากจะเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้แล้ว ตัวโคโตซานเองยังมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและราได้ เนื่องจากโคโตซานเป็นพอลิแคทไอออนิก (polycationic) บนโมเลกุลของโคโตซาน ซึ่งประจุบวกจะเข้าทำปฏิกิริยากับ phosphoryl group (ที่มีประจุลบ) ของ phospholipid components ในเซลล์เมมเบรนของเชื้อจุลินทรีย์ แล้วทำให้เกิดการรั่วของสารสำคัญภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Li *et al.*, 2006) และในเชื้อรา โคโตซานจะเข้าทำปฏิกิริยากับ capsular polysaccharide ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงจากการทำปฏิกิริยากับประจุลบที่ผิวเซลล์จึงมีผลต่อการผ่านเข้าออกของสาร รบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมจึงมีผลทำให้เซลล์ตาย (Davidson and Zivanovic, 2003; Durango *et al.*, 2005) ในขณะที่โนซินจัดเป็นแบคทีริโอซินที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และได้รับการรับรอง GRAS (general recognized as safe) จากสหรัฐอเมริกาในการนำไปใช้ในอาหาร ปัจจุบันสามารถผลิตโนซินโดยวิธีสังเคราะห์ได้ โนซินทำหน้าที่ต่อต้านแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ *Bacillus*, *Mycobacterium*, *Clostridium*, *Lactococcus*, *Listeria*, *Staphylococcus* และ *Streptococcus* เป็นต้น กลไกการทำงานของโนซินจะเข้าทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์หรือเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้ความสามารถในการยอมให้สารต่างๆแทรกซึมผ่านผนังเซลล์เปลี่ยนแปลง เป็นผลให้การเจริญของจุลินทรีย์หยุดชะงัก นอกจากนี้โนซินยังซึมผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์และจะทำให้ไซโทพลาซึมแตกตะกอน และยังทำลายไขมันที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์ฉีกขาด ทำให้ส่วนประกอบต่างๆ เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียมรั่วไหลออกจากเซลล์ทำให้จุลินทรีย์ตายได้

(Ouattara *et al.*, 2000) เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของทั้งไนซินและโคโตซานแล้ว เมื่อนำสารทั้งสองมาผลิตเป็นฟิล์มสำหรับเคลือบหรือห่อหุ้มอาหารจึงทำให้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่ผลิตได้มีคุณสมบัติในการยับยั้งหรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากฟิล์มโคโตซานผสมไนซิน เช่น ปลาแซลมอลรมควันเย็น (Hudaa *et al.*, 2008; Mu *et al.*, 2008a) แสม สเต็ก (Mu *et al.*, 2008b) เป็นต้น

2.3.6 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของปลากระพงรมควันเย็นด้วยชานอ้อยที่มีการใช้ฟิล์มต้าน

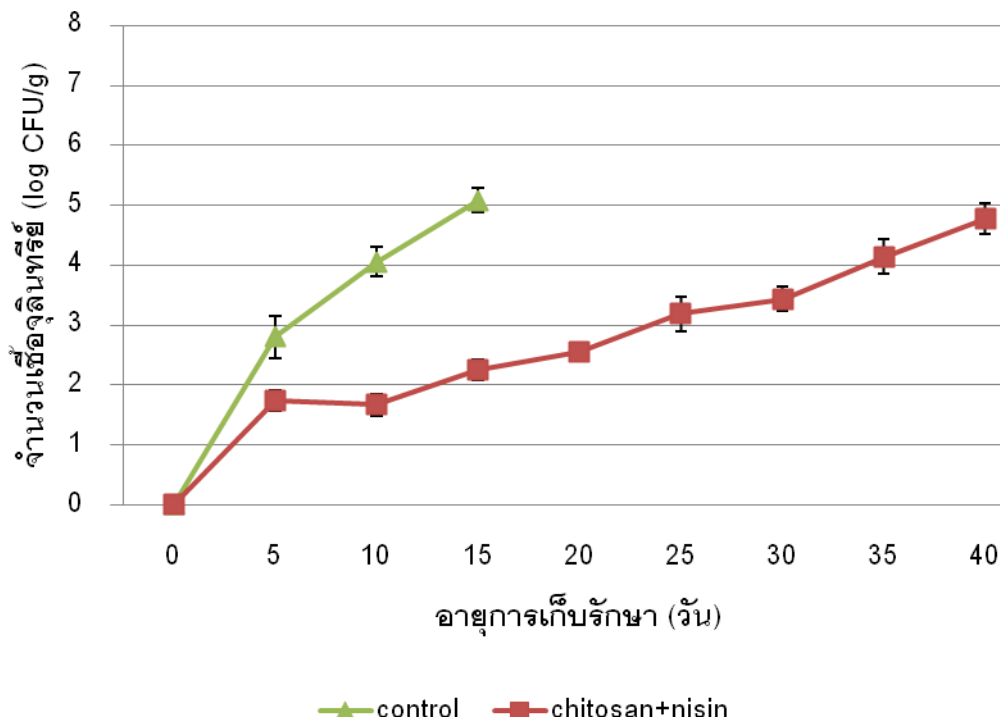
จุลินทรีย์

นำฟิล์มโคโตซานผสมไนซิน (จากข้อ 2.2.3) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานที่สุด มาห่อชิ้นปลา (น้ำหนักประมาณ 150 กรัม/ชิ้น) ทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยใช้ตัวอย่างปลากระพงรมควันที่ไม่ห่อฟิล์มบริโภคเป็นตัวอย่างควบคุมจากนั้นนำไปบรรจุในถุงพลาสติก LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C สุ่มตัวอย่างปลากระพงรมควัน ทุก 5 วัน มาวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวน Lactic acid bacteria จำนวนจุลินทรีย์ *Listeria* spp. และ *Staphylococcus aureus* และจำนวน *Clostridium perfringens*



รูปที่ 2.9 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total bacteria count) ในปลากระพงรมควันควบคุม และปลากระพงรมควันหุ้มฟิล์มโคโตซานผสมไนซิน บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°C

จากรูปที่ 2.9 फिल्मโคโตซานผสมไนซินสามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 40 วัน โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในปลากระป๋องรมควันที่หุ้มด้วยฟิล์มดังกล่าว มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.84 log CFU/g ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 40) และพบว่าหลังจากเก็บรักษาตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 10 फिल्मดังกล่าวสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ประมาณ 0.62 log CFU/g และช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ หลังจากการเก็บวันที่ 10 พบว่า จุลินทรีย์มีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยงานวิจัยของ Hudaa *et al.* (2008b) ศึกษาผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ฟิล์มโคโตซานผสมไนซินในผลิตภัณฑ์แฮมสเต็ก พบว่า ตัวอย่างแฮมสเต็ก ที่ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มโคโตซานผสมไนซิน (ตัวอย่างควบคุม) มีจำนวนจุลินทรีย์เจริญอย่างต่อเนื่อง โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด > 7 log CFU/g หลังจากเก็บรักษานาน 28 วันในถุง LDPE แบบสุญญากาศ ที่ 4°C ในขณะที่ฟิล์มโคโตซานผสมไนซิน 500 IU/cm² และ 2,000 IU/cm² สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาแฮมสเต็ก ได้นานถึง 49 และ 56 วันตามลำดับ

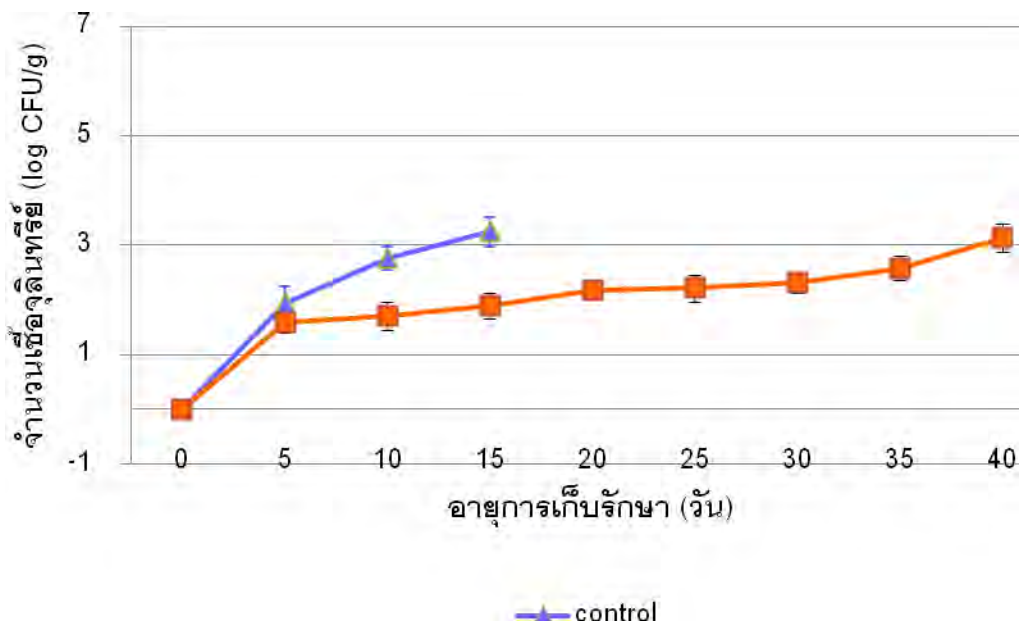


รูปที่ 2.10 จำนวนจุลินทรีย์ *Listeria* spp. ในปลากระป๋องรมควันควบคุมและปลากระป๋อง

รมควันหุ้มฟิล์มโคโตซานผสมไนซิน บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°C

จากการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ *Listeria* spp. ในตัวอย่างควบคุมและปลากระป๋องรมควันหุ้มฟิล์มโคโตซานผสมไนซิน บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°C (รูปที่ 2.10) พบว่าตัวอย่างปลากระป๋องรมควันที่แปรรูปได้ ไม่พบ *Listeria* spp. ในตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา โดยตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้หุ้มฟิล์มนั้น *Listeria* spp. มีการเจริญอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งสิ้นอายุการเก็บรักษาในวันที่ 15 และมีจำนวน *Listeria* spp.

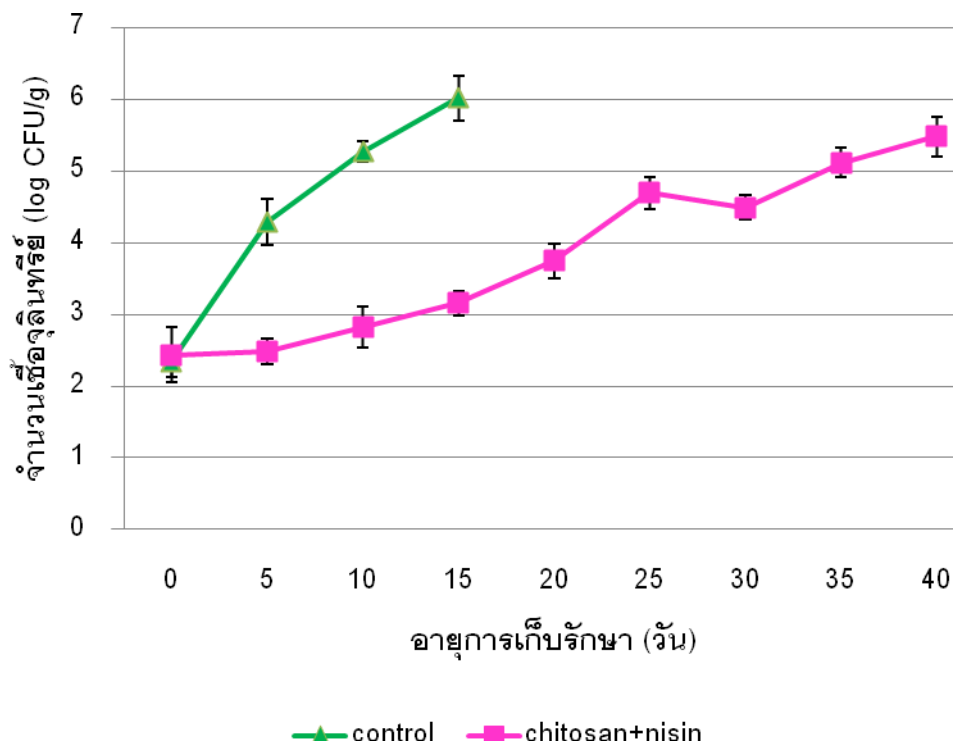
สูงถึง 5.09 log CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างที่หุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน พบว่า *Listeria* spp. มีการเจริญอย่างช้าๆ จนกระทั่งสิ้นอายุการเก็บรักษาในวันที่ 40 และมีจำนวน *Listeria* spp. 4.77 log CFU/g จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าฟิล์มไคโตซานผสมไนซินมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Listeria* spp. ได้ดี เช่นเดียวกับการทดลองของ Huda et al. (2008a) ศึกษาผลการยับยั้งการเจริญของ *L. monocytogenes* โดยใช้ฟิล์มไคโตซานผสมไนซินในผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอนรมควันที่มีการเติม *L. monocytogenes* (inoculation) ที่ 5×10^5 CFU/cm² เก็บรักษาที่ 4°C พบว่า ฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน 2,000 IU/cm² สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อดังกล่าวได้ดี สามารถลดจำนวน *L. monocytogenes* ลงได้ถึง 2.4 log CFU/g และยืดอายุการเก็บตัวอย่างได้นานถึง 60 วัน ส่วนตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มไคโตซานผสมไนซินที่มีการเติม *L. monocytogenes* (inoculation) ที่ 5×10^5 CFU/cm² นั้นพบว่าเชื้อจุลินทรีย์เจริญอย่างรวดเร็ว โดยมีจำนวน > 7 log CFU/g หลังจากเก็บรักษานานเพียง 6 วัน



รูปที่ 2.11 จำนวนจุลินทรีย์ *S. aureus* ในปลากะพงรมควันควบคุมและปลากะพงรมควันหุ้มฟิล์มไค

โตซานผสมไนซิน บรรจุลง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บที่ 4°C

เมื่อนำตัวอย่างควบคุมและปลากะพงรมควันหุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน มาวิเคราะห์จำนวน *S. aureus* (รูปที่ 2.11) พบว่า ตัวอย่างที่หุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซินนั้น มีการเจริญของ *S. aureus* อย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้หุ้มฟิล์ม จึงแสดงให้เห็นว่าฟิล์มไคโตซานผสมไนซินสามารถชะลอการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ได้ อีกประการหนึ่ง คือ *S. aureus* จะเติบโตได้น้อยลง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2.12 จำนวนจุลินทรีย์ lactic acid bacteria ในปลากระพงรมควันควบคุมและปลากระพงรมควัน

หุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°C

รูปที่ 2.12 แสดงจำนวน lactic acid bacteria ในตัวอย่างควบคุมและปลากระพงรมควันหุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน บรรจุถุง LDPE แบบธรรมดาในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°C พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 2.34 เป็น 6.02 CFU/g ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ในขณะที่ปลากระพงรมควันหุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซินมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 2.44 เป็น 5.48 CFU/g ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (40 วัน) จากผลการทดลองข้างต้นจึงเห็นได้ว่าฟิล์มไคโตซานผสมไนซินมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของ lactic acid bacteria ได้ดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Huda et al. (2008a) ที่ศึกษาผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ฟิล์มไคโตซานผสมไนซินในผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอนรมควัน พบว่า ตัวอย่างปลาแซลมอนรมควันเย็นที่ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน (ตัวอย่างควบคุม) มีจำนวนจุลินทรีย์ $> 7 \log \text{CFU/cm}^2$ หลังจากเก็บรักษานาน 28 วัน ในขณะที่ฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน 500 IU/cm² และ 2,000 IU/cm² สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาปลาแซลมอนรมควันได้นานถึง 56 วัน

สำหรับ lactic acid bacteria เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบโดยทั่วไปในสิ่งมีชีวิต (normal flora) เช่น มนุษย์และสัตว์ จึงเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มต้นการเก็บรักษาได้ตรวจพบ lactic acid bacteria เริ่มต้นประมาณ $2 \log \text{CFU/g}$

เมื่อนำตัวอย่างควบคุมและปลากะพงรมควันหุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซิน มาวิเคราะห์จำนวน *Clostridium perfringens* พบว่า ตัวอย่างปลากะพงรมควันที่แปรรูปได้ ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวในตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา และยังพบว่าทั้งในตัวอย่างที่หุ้มและไม่หุ้มฟิล์มไคโตซานผสมไนซินนั้น ไม่มี *Clostridium perfringens* ตลอดอายุการเก็บรักษาของตัวอย่างอีกด้วย เนื่องจาก *Clostridium perfringens* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก เติบโตได้ดีในที่ไม่มีอากาศ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างนั้น เป็นการบรรจุแบบปิดผนึกในสภาวะบรรยากาศปกติ จึงมีอากาศอยู่ภายใน ไม่เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ดังกล่าว นอกจากนี้ ตัวอย่างปลากะพงรมควันเย็นนั้น ยังนำไปแช่น้ำเกลือ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ซึ่งที่ความเข้มข้นเกลือดังกล่าว ไม่เหมาะกับการเจริญของ *Clostridium perfringens*

จากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มไคโตซานผสมไนซินสามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 40 วันและมีคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 6 ตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตฟิล์มแต่ละชนิดแล้ว พบว่า ฟิล์มไคโตซานมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด เนื่องจากในปัจจุบัน โรงงานหลายแห่งในประเทศไทย สามารถผลิตไคโตซานจากสัตว์จำพวก ปู กุ้งได้เอง ราคาขายต่อกิโลกรัมจึงค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 400-500 บาท/กก.) นอกจากนี้ไคโตซานที่ผลิตได้ในรูปผงจึงสะดวกในการใช้งานและมีคุณภาพที่ดีสามารถนำมาขึ้นรูปฟิล์มได้ง่าย ในขณะที่การาจี้แนนและเพกติน มีการผลิตใช้เองในประเทศค่อนข้างน้อย ทำให้ราคาขายสูง คือ ประมาณ 800-1000 บาท/กก. ส่วนราคาน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ นั้นก็มีราคาสูงเช่นกัน กล่าวคือ น้ำมันกระเทียม ราคาประมาณ 5,000 บาท/กก. น้ำมันกานพลู 5,000-8,000 บาท/กก. และสารสกัดจากทับทิมและผงอบเชยด้วยเอธานอลนั้น มีวิธีการสกัดที่ซับซ้อนและต้องใช้เครื่องกลั่นในการสกัด จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนหรือขนาดย่อม อย่างไรก็ตาม แม้ว่าไนซินมีราคาสูง (1,800 บาท/100 กรัม) แต่เนื่องจากอยู่ในรูปผงจึงมีวิธีการใช้ที่ไม่ยุ่งยาก ประกอบกับปริมาณการใช้ที่น้อยและมีความคงตัวค่อนข้างมาก ดังนั้น การนำฟิล์มไคโตซานผสมไนซินไปใช้กับผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็นจึงเป็นแนวทางที่ดีที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไปและนำไปประยุกต์ใช้กับอาหารได้หลากหลายชนิดมากยิ่งขึ้น

2.4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสภาวะในการรมควันเย็นปลากะพง โดยแปรความเข้มข้นของเกลือ (5, 10, 15% w/v) อุณหภูมิในการรมควัน (35, 40, 45 °C) และเวลาในการรมควัน (2, 2.5, 3 ชม.) นำเนื้อปลากะพงแช่ในน้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ โดยแปรความเข้มข้นของเกลือ ที่ 5, 10 และ 15% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที วิเคราะห์คุณภาพของปลากะพง ได้แก่ a_w , ความชื้น ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) พบว่าอุณหภูมิและเวลาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความชื้น ค่า a_w เนื้อสัมผัส และค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการรมควันและเวลาในการรมควันนานขึ้น ตัวอย่างปลาที่ได้มีความชื้นลดลง เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น ค่า L^* และ a^* ของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า b^* ของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างปลา

รมควันมีสีเข้มขึ้น จากนั้นนำตัวอย่างสูตรปลากะพงรมควันทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ปริมาณความชื้นประมาณ 75% (w.b.) เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็นที่ผลิตจากเนื้อปลากะพงขาวแช่ในน้ำตะไคร้ที่เติมเกลือ ความเข้มข้นของเกลือ 5% (w/v) ใช้เวลาในการแช่ปลา 30 นาที รมควันที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลารมควัน 2 ชม. มากที่สุด จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเพื่อแปรรูปปลากะพงรมควันและเมื่อนำฟิล์มต้านจุลินทรีย์ 3 ชนิด ไปใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์โดยนำฟิล์มหุ้มขึ้นปลากะพง บรรจุในถุง LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่า ฟิล์มไคโตซานผสมไนซินมีประสิทธิภาพในการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ได้นานที่สุด 40 วัน ในขณะที่ฟิล์มคาราจีแนนที่ใส่สารสกัดจากอบเชยและฟิล์มเพกตินผสมไลโปโซมของน้ำมันกานพลู น้ำมันกระเทียมและสารสกัดจากเปลือกทับทิมด้วยเอธานอล สามารถยืดอายุของผลิตภัณฑ์ได้นาน 30 และ 25 วันตามลำดับ ในขั้นตอนต่อไปจึงเลือกฟิล์มไคโตซานผสมไนซินมาใช้กับปลากะพงรมควันเย็นมาศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยนำฟิล์มหุ้มขึ้นปลากะพง บรรจุในถุง LDPE ปิดผนึกแบบธรรมดา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าฟิล์มสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ total plate count, Lactic acid bacteria, *Listeria* spp. and *Staphylococcus aureus* ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา 40 วัน

ข้อเสนอแนะ

- จากการการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรมควันเย็นของปลากะพงด้วยชานอ้อย พบว่า ผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็นที่ผลิตได้ ได้รับคะแนนการยอมรับในระดับ ปานกลางถึงดีมาก จึงควรพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้รับการยอมรับมากขึ้น เช่น การพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์ให้สวยงามเป็นที่ดึงดูดใจผู้บริโภคมากขึ้น
- จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความสนใจในผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็น จึงควรส่งเสริมให้ผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป
- การศึกษาประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาของปลากะพงรมควันเย็นด้วยชานอ้อยที่มีการใช้ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าฟิล์มไคโตซานผสมไนซินสามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้ 40 วัน ซึ่งอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นยังไม่ยาวนานเท่าที่ควร ในขณะที่ปลาแซลมอนรมควันที่จำหน่ายในท้องตลาดซึ่งส่วนใหญ่มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 30 วัน เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ ดังนั้นหากใช้การบรรจุแบบสุญญากาศรวมกับการใช้ฟิล์มห่อหุ้มปลากะพงรมควันเย็นน่าจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ได้นานยิ่งขึ้น

2.5 เอกสารอ้างอิง

- ชยันต์ พิเชียรสุนทร และ วิเชียร จีรวงส์. 2545. **คู่มือเภสัชกรรมแผนไทย เล่ม 2 เครื่องยา และ พืชสมุนไพร**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อมรินทร์.
- ณรงค์วิทย์ นิยมวิทย์. 2538. **องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร**. กรุงเทพฯ : พอร์แมทพริ้นติ้ง.

- นนุช รักสกุลไทย. 2538. **กรรมวิธีการแปรรูปสัตว์น้ำ**. ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2539. **จุลชีววิทยาทั่วไป**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นเรศ กิจจาพัฒน์พันธ์. **สินค้าปลากะพงและผลิตภัณฑ์**. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา:http://www.fishco.fisheries.go.th/fisheconomic/fish_News79.html [2552, 23 ตุลาคม]
- นิธยา รัตนาปนนท์. 2549. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- ปรทิพย์ เกียรติกังวาลไกล. **การพัฒนากระบวนการผลิตและอายุการเก็บรักษาปลาสาวยรมควัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- ปนัดดา พวงเกษม. **การเตรียมฟิล์มไบโอโกลด์จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ประโยชน์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
- ปณิธิ ทิพย์ธรรม. **การพัฒนาฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีการเติมสารธรรมชาติเพื่อการบรรจุอาหาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- ปาริชาติ ธรรมนราทิพย์. **การพัฒนาสารเคลือบและฟิล์มยับยั้งจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ภัทราทิพย์ รอดสำราญ. **ฟิล์มไบโอโกลด์จากเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เพื่อใช้เคลือบผิวผลมะม่วงสดเพื่อตลาดส่งออกและมะม่วงตัดแต่งที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปรบรรยากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง. **การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตปลาเนื้ออ่อนรมควันโดยใช้ขานอ้อย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2537.
- มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2545. **ผลิตภัณฑ์ประมงไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณดา ตั้งเจริญชัย. 2534. **ควีน สำหรับรมอาหาร**. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- วันชัย พันธุ์ทวี. การคัดเลือกและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสร้างสารต้านจุลชีพจากสาหร่ายขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- วิทยาศาสตร์การแพทย์, กรม. **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไปที่มีไขมันอาหารควบคุมเฉพาะ.** [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: <http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BOSF/File/VARITY/cheme/confict21.htm> [2553, 23 กรกฎาคม]
- วิภาวีร์ ธาระเชษฐ์. การพัฒนาสารเคลือบบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์ร่วมกับสารสกัดพืชสมุนไพร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2546. **วัตถุดิบอาหาร เล่ม 1.** ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.
- สถานีวิจัยประมงศรีราชา. **การเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว.** [ออนไลน์]. 2546. แหล่งที่มา: http://www.ku.ac.th/e-magazine/july46/agri/fish_kapong.html [2552, 23 ตุลาคม]
- สุพันธ์ แสนกล้า. **ผลของเครื่องเทศบางชนิดต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาปลาอุกอุยเทศรมควัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- สุมาลี เหลืองสกุล. 2541. **จุลชีววิทยาทางอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 4. ชัยเจริญ. กรุงเทพฯ. **สูตรศักดิ์ วงศ์กิตติเวช.** 2542. **สารานุกรมปลาไทย.** เอ็ม ซับพลาย, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2549. **มาตรฐานสินค้าปลากะพงขาว** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.acfs.go.th/datakm/standard/.html> [2552, 1 ตุลาคม]
- อรรถพร สัมปชัญญสถิตย์. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยแครงรมควัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- อรรช เมฆเกิดชู. **ไลโปโซมเอนแคปซูเลชันของสารต้านจุลินทรีย์ในฟิล์มเพกตินเพื่อยืดอายุการเก็บของเนื้อสัตว์ตากแห้ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- Adams, M. 2003. Nisin in multifactorial food preservation. In S. Roller, ed. **Natural antimicrobials for the minimal processing of foods.** Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cambridge. pp. 11-26
- AOAC. 1995. **Official Methods of Analysis.** 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

- AOCS. 1997. **Sampling and Analysis of Commercial Fats and Oils**. Official Methods Cd19-90 Reapproved.
- Arora, D. S. and Kaur, J. 1999. Antimicrobial activity of spices. **International Journal of Antimicrobial Agents** 12: 257–262
- Baldwin, E.A., Burns, J. K., Kazokas, W., Brecht, J. K., Hagenmaier, R. D., Bender, R. J. and Pesis, E. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. **International Journal of Postharvest** 17: 215-226.
- Banks, H., Nickelson, R. and Finne, G. 1980. Shelf-life studies on carbon dioxide packaged fish from the Gulf of Mexico. **Journal of Food Science** 45: 157-162
- Budavari, S., ÒNeil, M. J., A. Smith, Heckelman, P. E. and Kinneary, J.F. 1996. **The Merck Index**. 12 ed. Merck & Co., Inc., USA.
- Burt, J. R. 1988. **Fish smoking and drying : the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish**. London: Elsevier Applied Science.
- Butler, B. L., Vergano, P. J., Testin, R. F., Bunn, J. M. and Wiles, J. L. 1996. Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. **Journal of Food Science** 61: 952-955.
- Caner, C., Vergano, P. J. and Wiles, J. L. 1998. Chitosan film mechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer and storage. **Journal of Food Science** 63: 1049-1053.
- Cha, D. S., Choi, J. H., Chinnan, M. S. and Park, H. J. 2002. Antimicrobial films based on Na-alginate and K-carrageenan. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie** 35: 715–719.
- Cha, D. S., Cooksey, K. , Chinnan, M. S. and Park, H. J. 2003. Release of nisin from various heatpress and cast films. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie** 36: 209–213.
- Chien, P.J., Sheu, F. and Yang, F.H. 2007. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. **Journal of Food Engineering** 78: 225–229.

- Davidson, P. M. and Zivanovic, S. 2003. The use of natural antimicrobials. In P.Zeuthen and L. Bøgh-Sørensen, eds. **Food preservation techniques**. WoodheadPublishing Limited, Cambridge. pp. 5-22
- Devlieghere, F., Vermeulen, A. and Debevere, J. 2004. Chitosan : Antimicrobial activity interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetable. **Journal of Food Microbiology** 21:703-714.
- Durango, A.M., Soares, N. F. F. and Andrade, N. J. 2005. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. **Food Control** 17: 336-341.
- Enderson, K. 1980. **Home smoking and curing : How you can smokecure, salt and preserve fish, meat and game**. London: Barrie and Jenkins.
- Gallart-Jornet L., Rustad T., Barat J.M., Fito P. & Escriche I. 2006. Effect of superchilled storage on the freshness and salting behavior of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. **Food Chemistry**. 103, 1268–1281.
- Gennadios, A. and Weller, C. L. 1990. Edible films and coatings from wheat and corn proteins. **Journal of Food Technology** 44: 63-69
- Ghaouth, A. E., Arul, J. and Ponnampalam, R. 1991. Use of chitosan coating to reduce water loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. **Journal of Food Processing** 15: 359-368.
- Giese, J. 1992. Developing low-fat meat product. **Journal of Food Technology** 50: 100-108.
- Hall, G. M. 1992. **Fish Processing Technology**. Blackie Academic & Professional, New York.
- Han, J.H. 2000. Antimicrobial food packaging. **Journal of Food Technology** 54: 56–65.
- Hudaa, N., Mu, Y., Haiqiang, C., Rolf, D. J., Doris, T. H. and Dallas, G. H. 2008. Use of nisin-coated plastic films to control *Listeria monocytogenes* on vacuum-packaged cold- smoked salmon. **Journal of Food Microbiology International**_122: 8-15.
- Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1986. Edible films and coatings: A review. **Journal of Food Technology** 40: 47-59.

- Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1989. An edible film of lipids and cellulose ethers: Barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. **Journal of Food Science** 54: 1383–1389.
- Kilcast, D. and Subramaniam, P. 2000. Introduction. In D. Kilcast and P. Subramaniam, eds. **The stability and shelf-life of food**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. pp. 1-19.
- Lazridou, A. and Billiaderis, C.G. 2002. Thermophysical properties of chitosan-starch and chitosan-pullulan films near the glass transition. **Carbohydrate Polymers** 48: 179-190.
- Li, B., Kennedy, J. F., Peng, J. L., Yie, X. and Xie, B. J. 2006. Preparation and performance evaluation of glucomannan-chitosan-nisin ternary antimicrobial blend film. **Carbohydrate Polymer** 65: 488-494.
- Luck, E. and Jager M., 1997. **Antimicrobial food additives: characteristics, uses, effect**. Springer, Berlin.
- Marcos, B., Aymerich, T., Monfort, J. M. and Garriga, M. 2007. Use of antimicrobial biodegradable packaging to control *Listeria monocytogenes* during storage of cooked ham. **Journal of Food Microbial** 120: 152–158.
- Mate, J. I. and Krochta, J. M. 1996. Whey protein coating effect on the oxygen uptake of dry roasted peanuts. **Journal of Food Science** 61: 1202-1210.
- Min, S., Linda, J. H., Han, J. H. and Krochta, J. M. 2005. *Listeria monocytogenes* inhibition by whey protein films and coatings incorporating lysozyme. **Journal of Food Protein** 68: 2317-2325.
- Mu, Y., Hudaa, N. and Haiqiang, C. 2008a. Effectiveness of chitosan-coated plastic films incorporating antimicrobials in inhibition of *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon. **International Journal of Food Microbiology** 127: 235–240.
- Mu, Y., Hudaa, N., Haiqiang, C. 2008b. Control of *Listeria monocytogenes* on ham steaks by antimicrobials incorporated into chitosan-coated plastic films. **Food Microbiology** 25: 260-268.
- No, H.K. and Meyers, S. P. 2004. Preparation of tofu using as a coagulant for improve shelf-life. **Journal of Food Science and Technology** 39: 133-141.

- Ouattara, B., Simard, R. E., Piette, G., Begin, A. and Holley, R. A. 2000. Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. **International Journal of Food Microbiology** 62: 139-148.
- Paula, S., Nilda, F. F. S., Juliana, E. N., Marcus, A. W. J, Kiriague, B. F. B., Ana, C. P. V., Evelyn, R. M. A. Z. and Nédio, J. W. 2009. Antimicrobial efficiency of film incorporated with pediocin (ALTA[®] 2351) on preservation of sliced ham. **Food Control** 20: 85-89.
- Peter, E. D. 1998. **Fish drying & smoking: Production and quality**. Technomic Publishing, Lancaster.
- Piggott, G. M. and Tucker, B. W. 1990. **Seafood: Effect of technology on nutrition**. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Richelle, L. B., Marlene, E. J., Witoon, P. and Hong, K. N. 2008. Edible chitosan films on ready-to-eat roast beef for the control of *Listeria monocytogenes*. **Food Microbiology** 25 : 534-537.
- Rørå, A., Kvåle, A., Mørkøre, T., Rørvik, K.-A., Hallbjørn, S., Thomassen, S. and Steien, S. 1998. Process yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to raw material characteristics. **Food Research International**. 31, 601-609.
- Sanla-Ead, Dejsuk, N., Jangchud, A., Chonhenchob, V. and Suppakul, P. 2007. Growth of microorganisms in Vietnamese bologna wrapped with eugenol-incorporated cellulose ether coated LDPE film. S12 03 P. 87. **Proceedings of the 10th ASEAN Food Conference**. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Seydim, A. C. and Sarikus, G. 2006. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. **Food Research International** 39: 639-644.
- Shahidi, F. and Botta, J. R. 1994. Seafoods : Chemistry, processing technology and quality. London: Blackie Academic & Professional.
- Shearon, D. 1970. **Sportsman's guide to handling, smoking, and preserving Great Lakes coho salmon**. Washington : Bureau of Commercial Fisheries.
- Singh, R. P. and Anderson, B. A. 2004. The major types of food spoilage: An overview. In R. Steele, ed. **Understanding and measuring the shelf-life of food**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. pp. 3-23

- Soultos, N., Tzikas, Z., Abrahima, A., Georgantelis, D. and Ambrosiadis, I. 2008. Chitosan effects on quality properties of Greek style fresh pork sausages. **Meat Science** 80: 1150-1156.
- Tharanathan, R. N. 2003. Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. **Trends in Food Science & Technology** 14: 71-78.
- Torres, J. A., Bouzas, J. O. and Karel, M. 1985. Microbial stabilization of intermediate moisture food surface II. Control of surface pH. **Journal of Food Processing and Preservation** 9: 93-106.
- U. S. Food and Drug Administration. **Bacteriological Analytical Manual (BAM)**. [Online]. 2011. Available from : <http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/default.htm> [2011, 30 April]

บทที่ 3

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างปรุงรสบรรจุแบบสุญญากาศ

3.1 บทนำและวารสารปริทัศน์

การย่างและการอบเป็นวิธีทำให้อาหารสุกด้วยความร้อนที่แห้ง (dry heat) ในการย่างแห้งให้ความร้อนอาจอยู่ด้านล่างหรือด้านบนของอาหารก็ได้ สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาใช้คำว่า broiling เมื่อแห้งให้ความร้อนอยู่ทางด้านบนของอาหาร การถ่ายโอนความร้อนหลักในการย่างบนตะแกรงคือการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation) ส่วนการย่างบนแผ่นที่บหรือที่เรียกกันว่า pan grilling นั้น การถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบการนำความร้อน ในขณะที่การอบคือการพาความร้อน (thermal convection) กล่าวคือความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนแผ่รังสีความร้อนไปให้อากาศ แล้วอากาศพาความร้อนไปยังอาหาร โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้ย่างอาหารสูงกว่า 260 °C ทำให้ผิวของอาหารสุกอย่างรวดเร็ว เอนไซม์และจุลินทรีย์ที่ผิวของอาหารถูกทำลาย และค่า a_w ที่ผิวลดลง ผิวนอกของอาหารจึงแห้ง ขณะที่ภายในชิ้นอาหารยังนุ่มและชื้นเนื่องจากน้ำหวานในเนื้อสัตว์ยังคงอยู่ภายใน แต่การใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง คือ heterocyclic amines และ acrylamide โดยสารดังกล่าวสามารถทำลายสารพันธุกรรม DNA ที่อยู่ในร่างกาย มีผลต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่และกระเพาะอาหาร มีพิษต่อระบบประสาทและระบบสืบพันธุ์ (ชญาพร นุชจิ่งหรีด, 2551 และ Mottram, 2002) นอกจากนี้ ความร้อนที่ใช้ขณะย่าง ยังทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สำคัญคือปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิ 155 °C เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ในอาหาร ทำให้เกิดสีน้ำตาลและสารให้กลิ่นที่เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค แต่สำหรับเนื้อสัตว์ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำนั้น สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นมาจากการแตกตัวของ tetrapyrrole ring ของ myoglobin ในกล้ามเนื้อ มากกว่าจากปฏิกิริยา Maillard (Chichester, 1986) ดังนั้น การทำอาหารประเภทเนื้อสัตว์แบบตะวันตกนั้น มักนำเนื้อสัตว์ไปย่างให้ผิวทั้ง 2 ด้านสุกก่อน เพื่อเปลี่ยนสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของอาหารให้มีสีและกลิ่นหอมน่าบริโภค (palatability) มากขึ้น และคงน้ำหวานของเนื้อให้อยู่ภายใน แล้วจึงนำเนื้อเข้าไปอบต่อจนภายในสุกตามต้องการ การอบก็เช่นเดียวกับการย่างคือความร้อนทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ ลดค่า a_w ทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และกลิ่นที่ผู้บริโภคต้องการ ความร้อนจากการอบทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลง เกิดปฏิกิริยา Maillard และ Strecker degradation ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้

สำหรับอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ความร้อนหลอมไขมันที่แทรกอยู่ระหว่างกล้ามเนื้อให้เป็นของเหลวแยกตัวหดยออกมา คอลลาเจนเสียสภาพธรรมชาติและกลายเป็นเจลาติน ทำให้โปรตีนกล้ามเนื้อเสียสภาพ ไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ เป็นผลทำให้เกิดการหดตัวของเนื้อ การที่เนื้อหดตัวมากทำให้เนื้อเหนียว นอกจากนั้นยังทำให้สูญเสียรสชาติเนื่องจากน้ำและน้ำมันในเนื้อไหลออกไป ดังนั้น การย่างเนื้อสัตว์ก่อนนำไปอบ เพื่อให้ความร้อนที่ผิวนอกอย่างรวดเร็ว ทำให้ผิวนอกแห้งและแข็งเร็ว ช่วยลดการสูญเสียและน้ำมันภายในชิ้นอาหารไม่ให้ไหลออก ทำให้ภายในชิ้นเนื้อยังคงความนุ่มและชุ่มอยู่ การให้ความร้อนแก่อาหารมักทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การย่างปลาตุ๋นแอฟริกันทำให้ความชื้นลดลง แต่ปริมาณวิตามิน

A B2 niacin และ E พร้อมแร่ธาตุ ได้แก่ K Ca Mg และ Fe สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Ersoy and Özeren, 2009) ส่วนการอบปลากะพงก็ทำให้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนและกรดไขมันชนิด n – 6 สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Türkkan et al., 2008)

ผลิตภัณฑ์ปลากะพงอย่างซีอิ๊วที่พัฒนาขึ้นนั้นมีค่า water activity 0.98 จึงต้องบรรจุในบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันการปนเปื้อน และต้องเก็บแช่เย็นหรือแช่แข็ง ถึงแม้ว่าการเก็บแช่แข็งปกติทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้ยาวนานถึง 8 เดือน แต่ต้นทุนของกระบวนการแช่แข็งและการเก็บแช่เยือกแข็งสูงและต้องมีเครื่องมือสำหรับการแช่แข็งซึ่งมีราคาสูงด้วย ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการผลิตโดยกลุ่มเกษตรกร ขณะที่การเก็บแช่เย็นทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำ และปัจจุบันผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์สดและแปรรูปที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ในสภาวะแบบปรับสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging หรือ MAP) ที่เป็นแบบสุญญากาศ (vacuum packaging หรือ V) และแบบเติมก๊าซแทนที่อากาศในบรรจุภัณฑ์ (gas flushing packaging หรือ GP) แล้วนำมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ $\leq 8^{\circ}\text{C}$ แต่ส่วนใหญ่แนะนำให้เก็บที่ $\leq 5^{\circ}\text{C}$ เป็นที่นิยมทั่วโลก เนื่องจากให้รสและเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า สำหรับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบ V และ GP แล้วนำไปแช่เย็นนั้น เพื่อให้ผู้บริโภคปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่ง *C. botulinum* และอันตรายที่เกี่ยวข้องกับ botulinum นั้น Advisory Committee on the Microbiological Safety of Food หรือ ACMSF (1995) จึงมีข้อกำหนดโดยทั่วไปเกี่ยวกับอายุการเก็บเรียกว่า “the 10 day rule” อายุการเก็บ ≤ 10 วัน สำหรับการเก็บที่ $\leq 5^{\circ}\text{C}$ และอายุการเก็บ ≤ 5 วัน สำหรับการเก็บที่ $5-10^{\circ}\text{C}$ สำหรับผู้ผลิตรายใหญ่ใน สหราชอาณาจักรและ Benelux ใช้ Industry Code of Practice ของ Campden & Chorleywood Food Research Association หรือ CCFRA (1996) ซึ่งแนะนำว่าอายุการเก็บ ≤ 10 วัน สำหรับการเก็บที่ $\leq 8^{\circ}\text{C}$ ส่วน Food Standard Agency หรือ FSA (2003) กำหนดอายุการเก็บ ≤ 10 วัน สำหรับการเก็บที่ $\leq 5^{\circ}\text{C}$ และอายุการเก็บ ≤ 5 วัน สำหรับการเก็บที่ $5-8^{\circ}\text{C}$ จากรายงานของ Peck และคณะ (2006) เกี่ยวกับอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็นที่บรรจุแบบ V และ GP ที่พิจารณาจากความปลอดภัยจาก *C. botulinum* นั้นพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่มีเกลือร้อยละ 1 และผ่านการให้ความร้อนที่ 90°C นาน 10 นาที บรรจุแบบ V เก็บที่ 8°C (ซึ่งเป็นอุณหภูมิการเก็บอาหารแช่เย็นที่ถูกต้องตามกฎหมายอาหารของสหราชอาณาจักร) มีอายุการเก็บ 21-28 วัน ในสหราชอาณาจักรปลาเทราท์แช่เย็นนั้นถูกบรรจุโดยมีออกซิเจนอยู่ด้วยเพื่อควบคุมการเจริญและการสร้างสปอร์ของ *C. botulinum* ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ สภาวะการบรรจุและเวลาที่เก็บต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count หรือ TPC) และค่า thiobarbituric acid (TBA) ชนิดบรรจุภัณฑ์ที่เลือกศึกษาคือ ethylene vinyl alcohol (EVOH) ซึ่งป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี และ polyvinylidene chloride/oriented polypropylene/polyethylene (PVDC/OPP/PE) ซึ่งป้องกันการซึมผ่านของทั้งออกซิเจนและไอน้ำได้ดี

ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากปลา เช่น ทำแห้ง หมักเกลือ ปูรุกรส ดองและรมควัน ถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์หลายชนิด เช่น กล่องไม้ กล่องกระดาษ พลาสติก ถุงโพลีเอทิลีน หน้าที่หลักของบรรจุภัณฑ์ คือป้องกันการผลิตภัณ์จากความเสียหายทางกายภาพและการปนเปื้อน ทำให้การเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ช้าลง ขนส่งสะดวกขึ้น และเพิ่ม

ความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ ในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์อาหารอาจพิจารณาสมบัติอื่นเพิ่มเติม เช่น การป้องกันก๊าซ การป้องกันความชื้น ความแข็งแรง ความสามารถในการทนความร้อนและปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ราคา และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (Ghazala, 1994) นอกจากการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติต่างๆแล้ว สภาวะการบรรจุก็แตกต่างกันคือแบบบรรยากาศ (atmosphere packaging; A) และแบบปรับสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging หรือ GP) ซึ่ง MAP ส่วนใหญ่ที่นิยมคือแบบสุญญากาศ (vacuum packaging หรือ V) และแบบเติมก๊าซแทนที่อากาศในบรรจุภัณฑ์ (gas flushing packaging หรือ GP) ทั้งนี้เพื่อลดการเสื่อมเสียของอาหารจากจุลินทรีย์ นอกจากนี้ MAP ยังอาจเป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์พร้อมของที่มีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหรือสารดูดความชื้นในบรรจุภัณฑ์ด้วย เพื่อให้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหรือสารดูดความชื้นช่วยเพิ่มอายุการเก็บของอาหาร (Fujita, 1990) ข้อสรุปเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์มีดังนี้

- การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ

สมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซมีความสำคัญเมื่อใช้กับการบรรจุแบบ GP และ sous-vide ซึ่งการแพร่ของก๊าซเข้าหรือออกมีผลต่อการประหม่นและการยืดอายุการเก็บ (Brown, 1992) สมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซแปรผันกับความหนาของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ฟิล์มที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซดี ได้แก่ polyvinylidene chloride (PVDC) และ ethylene vinyl alcohol (EVOH)

- การป้องกันการซึมผ่านของความชื้น

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ดีควรรักษาระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการเก็บโดย PVDC มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นดี ในขณะที่ EVOH มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นไม่ดี (Brown, 1992)

- ความแข็งแรง

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ควรมีความแข็งแรงเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิต การกระจายสินค้า และการขนส่ง (Ghazala, 1994)

- ความสามารถในการทนความร้อนและปิดผนึกได้ด้วยความร้อน

การเลือกวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ขึ้นอยู่กับความร้อนที่บรรจุภัณฑ์ได้รับระหว่างการผลิต การบรรจุ การเก็บและการเตรียมอาหาร ฟิล์มแต่ละชนิดมีสมบัติในการปิดผนึกด้วยความร้อนแตกต่างกัน ควรระมัดระวังในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับเตาไมโครเวฟและเตาอบ เนื่องจากอาจเกิดปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุอยู่ (Piergiovanni, 1991)

- ราคา

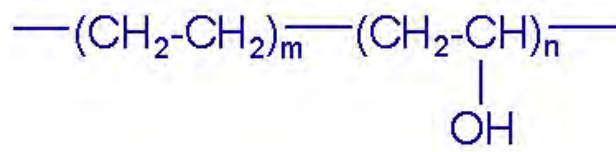
การผลิตวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ควรมีราคาถูกและเหลือส่วนที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้จำนวนน้อย เพื่อลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Ghazala, 1994)

- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากผลกระทบจากบรรจุภัณฑ์อาหารต่อสิ่งแวดล้อมกำลังเป็นที่สนใจทำให้ผู้ผลิตมีแนวโน้มที่จะหลีกเลี่ยงวัสดุที่ย่อยสลายยากได้แก่ PVC และ PVDC แต่ยังมีผู้ใช้ PVDC อยู่

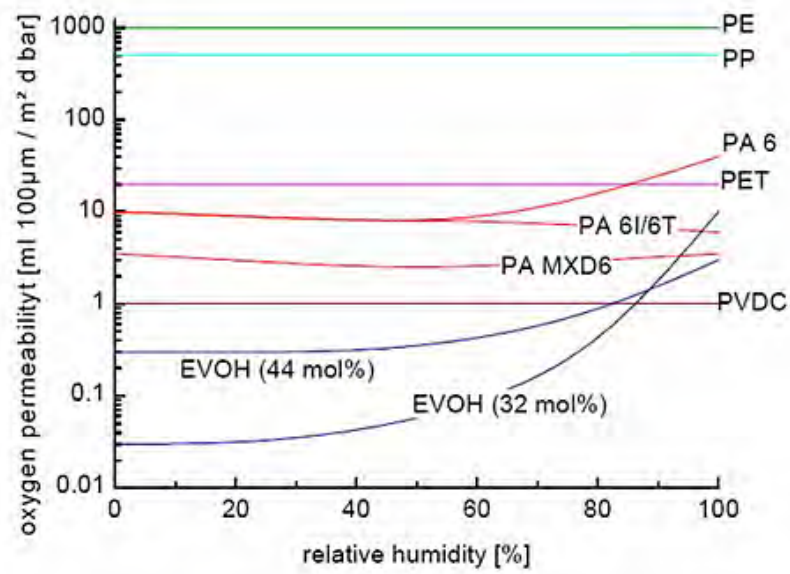
เพราะไม่มีวัสดุใดที่มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและความชื้นได้ดีเท่า
(Piergiovanni, 1991)

บรรจุภัณฑ์ที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้คือ EVOH และ PVDC/OPP/PE EVOH เป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง เอทิลีนกับไวนิลแอลกอฮอล์ ผลิตได้จากการไฮโดรไลซ์เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์เป็นไวนิลแอลกอฮอล์ภายใต้สภาวะควบคุมโครงสร้างโมเลกุลของ EVOH แสดงในรูปที่ 3.1 EVOH มีสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ กลิ่น ไอของสารอินทรีย์ รวมทั้งไขมันได้ดีมากในสภาพแห้ง แต่สมบัตินี้จะลดลงเมื่อมีความชื้น เช่น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้น จะทำให้ออกซิเจนสามารถซึมผ่าน EVOH ได้ในอัตราที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จึงนิยมใช้ EVOH ร่วมกับฟิล์มชนิดอื่นโดยการเคลือบโดยมี EVOH อยู่ชั้นด้านใน เช่น PP/EVOH/PP เป็นต้น EVOH นิยมใช้กับอาหารที่เสื่อมเสียง่ายด้วยออกซิเจน หรืออาหารที่ต้องป้องกันการสูญเสียกลิ่นและป้องกันการปนเปื้อนของกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ EVOH สามารถขึ้นรูปได้หลายวิธี ใช้ทั้งในฟิล์มหลายชั้นและภาชนะคงรูป ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ส่วน PVDC/OPP/PE เป็นฟิล์ม OPP ที่ถูกเคลือบด้วย PVDC ด้านหนึ่งและ PE อีกด้านหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและความชื้นได้ดี



รูปที่ 3.1 โครงสร้างโมเลกุลของ EVOH

ที่มา: Skypack India Pvt Ltd., 2008: online



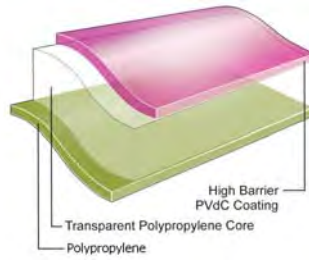
รูปที่ 3.2 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่ออัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสำหรับฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ

ที่มา: Skypack India Pvt Ltd., 2008: online



รูปที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PP/EVOH/PP

ที่มา: บริษัท เฮ้าส์ ออฟ แพค คอร์ปอเรชั่น จำกัด, 2552: ออนไลน์



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงชั้นของฟิล์ม polyvinylidene chloride/oriented polypropylene/polyethylene (PVDC/OPP/PE)

ดัดแปลงจาก: <http://exxonmobilchemical.ides.com>, 2012

สภาวะการบรรจุแบบต่างๆสามารถสรุปได้ดังนี้

- แบบบรรยากาศ (atmosphere packaging) หมายถึงภายในบรรจุภัณฑ์ยังคงมีอากาศอยู่ ซึ่งมีออกซิเจนประมาณร้อยละ 21 โดยปริมาตร จึงทำให้ปลาซึ่งเป็นสัตว์ที่เสื่อมเสียได้ง่าย มีอายุการเก็บสั้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของผลิตภัณฑ์กับออกซิเจนในอากาศ เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา การเกิดปฏิกิริยาเนื่องมาจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อปลา และการเจริญของแบคทีเรียชนิดที่ใช้อากาศ (Statham and Bremner, 1989) ดังนั้นจึงต้องเก็บแบบแช่เย็นเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ (Parry, 1993)
- แบบปรับสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging หรือ MAP) หมายถึงภายในบรรจุภัณฑ์ไม่มีอากาศอยู่หรือมีองค์ประกอบของก๊าซแตกต่างจากอากาศ ซึ่งแยกออกเป็น
 - แบบสุญญากาศ (vacuum packaging หรือ V) หมายถึงการบรรจุมีการดึงเอาอากาศภายในภาชนะบรรจุหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และไม่มีการเติมก๊าซใดๆเข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ ทำให้มีการหดตัวของบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวหรือการยุบตัวของภาชนะประเภทกึ่งคงรูป เนื่องจากไม่มีออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ จึงสามารถชะลอหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหาร การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รักษาสีของเนื้อ (Parry, 1993; งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) จากการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บผลิตภัณฑ์ปลาในสภาวะสุญญากาศ พบว่าการเก็บของปลาตาบวมควั่นแบบ liquid smoke ที่ -20°C พบว่าการบรรจุแบบ V ทำให้อายุการเก็บสูงกว่าการบรรจุแบบ GP ซึ่งใช้

อัตราส่วนก๊าซ $O_2:N_2:CO_2 = 5:50:45$ ประมาณ 30 วัน (Muratore and Licciardello, 2005) นอกจากนี้มีการศึกษาอายุการเก็บของปลาชาร์ดินและปลาเฮอรัริงแอตแลนติก เมื่อบรรจุแบบ V และ GP ต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทางประสาทสัมผัสและจุลชีววิทยา พบว่าการเก็บปลาสดที่บรรจุแบบ V มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บปลาชาร์ดิน (Özogul *et al.*, 2004) และปลาเฮอรัริง (Özogul *et al.*, 2000) อีกทั้งมีการศึกษาอายุการเก็บของปลาตาบสดแช่เย็นที่อุณหภูมิ $4\text{ }^{\circ}C$ เมื่อบรรจุแบบ V และ GP พบว่าการบรรจุแบบ V ให้อายุการเก็บนานกว่าการบรรจุแบบ GP 2 วัน (Pantazi *et al.*, 2008)

- แบบเติมก๊าซ (gas flushing packaging หรือ GP) หมายถึงการบรรจุที่ภายในบรรจุภัณฑ์มีก๊าซอยู่แต่ส่วนประกอบของก๊าซที่ใช้แตกต่างจากอากาศ และระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของก๊าซเนื่องจากการซึมผ่านเข้า – ออกของก๊าซผ่านฟิล์มของภาชนะบรรจุที่ใช้ การบรรจุแบบ GP สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางทั้งกับอาหารสดและอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว เช่น ผักและผลไม้สด แชนดรัช เนยแข็ง เนื้อสัตว์ทั้งสดและที่ผ่านการปรุงสุก เป็นต้น (Henyon, 1989) ก๊าซที่นำมาใช้มากที่สุด คือ CO_2 N_2 และ O_2 อาจมีการใช้ก๊าซอื่นๆ เช่น เอทิลีน ออกไซด์ (C_2H_4O) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย และใช้เฉพาะกับอาหารบางชนิดเท่านั้น แต่บางประเทศไม่อนุญาตให้ใช้ก๊าซอื่นใด นอกเหนือไปจากก๊าซ CO_2 N_2 และ O_2 (European Parliament and Council Directive, 1995) สมบัติและความสำคัญของก๊าซหลักที่ใช้ในการบรรจุแบบ GP สรุปได้ดังนี้ (Robertson, 1993)

ก๊าซออกซิเจน

- สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบต่างๆ ในอาหาร เช่น ไขมัน วิตามิน เป็นต้น อาหารที่มีไขมันสูงหรืออาหารที่สูญเสียวิตามินได้ง่าย ควรบรรจุให้อยู่ภายใต้บรรยากาศ ที่ปราศจากก๊าซออกซิเจนเพื่อป้องกันปฏิกิริยาเหล่านี้
- จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่สำคัญคือ แบคทีเรียที่ใช้อากาศ เช่น *Pseudomonas*, *Micrococcus* เป็นต้น และเชื้อราเกือบทุกชนิด การบรรจุอาหารในสภาพไร้ก๊าซออกซิเจนหรือมีก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 0.1 จะสามารถชะลอการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารจากจุลินทรีย์ดังกล่าวได้

- จำเป็นสำหรับการหายใจของพืช ผักและผลไม้สด
- จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการฟักไข่ของหนอนและแมลงต่างๆ ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร
- จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาออกซิเจนชั้นของไมโอโกลบิน เพื่อให้เนื้อไม้สีแดงของออกซิไมโอโกลบิน
- สามารถทำปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ในอาหาร ทำให้คุณภาพด้านสีของอาหารลดลง

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

- ชะลออัตราการหายใจของพืช
- ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปใช้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างน้อยร้อยละ 20 ที่สมดุลในบรรยากาศ แบคทีเรียที่ชอบอากาศและเชื้อราทั่วไปไม่สามารถเจริญเติบโตในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากๆ ได้
- สามารถละลายได้ดีในน้ำและไขมัน หากการละลายสูงมากจะทำให้เกิดกลิ่นรสของกรดในผลิตภัณฑ์ จึงต้องจำกัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมกับประเภทของอาหารที่บรรจุ

ก๊าซไนโตรเจน

- เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงมักใช้แทนที่ก๊าซออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร
- รักษาระดับความดันภายในภาชนะบรรจุ ป้องกันการยุบตัวและการแตกหักเสียรูปทรงของผลิตภัณฑ์
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส จึงสามารถใช้ได้กับอาหารทุกชนิด
- ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก
- แบบใส่สารที่ทำหน้าที่ยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ เช่นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหรือสารดูดความชื้น ซึ่งจะดูดซับออกซิเจนหรือสารดูดความชื้นที่มีอยู่เดิมในบรรจุภัณฑ์และ/หรือที่ผ่านเข้ามาในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยชะลอการหืนของผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูงอีกด้วย

สำหรับการบรรจุแบบ GP ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพแก๊สของ CO₂ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อปลาตาบที่เก็บในอุณหภูมิ 2 °C เป็นเวลา 22 วัน พบว่า Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) และ Trimethylamine (TMA-N) เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปลาตาบสดในบรรจุภัณฑ์ที่มีอากาศ (Oberlender *et al.*, 1983) รวมถึงการศึกษาค่า Total Viable Counts (TVCs) พบว่า มีค่าต่ำ

ที่สูงสุดในเนื้อปลาตาบที่เก็บที่อุณหภูมิ 3.5 °C โดยใช้ 100% CO₂ (Oberlender *et al.*, 1983) การศึกษาเกี่ยวกับการบรรจุแบบ GP กับปลาทะเลในเขตร้อน อบอุ่นและเมดิเตอร์เรเนียนปรากฏอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ปลาคอด (Dalgaard *et al.*, 1993) เสดด็อก (Dhananjaya and Stroud, 1994) เฮอร์ริง (Özogul *et al.*, 2000) ชาร์ดีน (Özogul *et al.*, 2004) แซลมอน (Hoz *et al.*, 2000) เฮค (Ordonez *et al.*, 2000; Ruiz-Capillas and Moral, 2001) กะพงขาว (Masniyom *et al.*, 2002) และกระบอก (Pournis *et al.*, 2005) นอกจากนี้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บปลาสดและผลิตภัณฑ์จากปลาควรใช้ GP ร่วมกับการแช่เย็น (Stammen *et al.*, 1990; Sivertsvik *et al.*, 2002) การศึกษาผลของสารเจือปนธรรมชาติ การแช่เย็นแบบยิ่งยวดและการบรรจุแบบ GP ต่ออายุการเก็บของปลาแซลมอนแอตแลนติก (*Salmo Salar*) พบว่าการใช้ GP โดยใช้ CO₂ ร้อยละ 90 ร่วมกับการแช่เย็นแบบยิ่งยวดสามารถยืดอายุการเก็บปลาแซลมอนแอตแลนติกได้นานที่สุด (Fernández *et al.*, 2009) รวมถึงมีการศึกษาผลของ GP ที่ใช้ CO₂ ร้อยละ 80 O₂ ร้อยละ 10 และ N₂ ร้อยละ 10 ร่วมกับ pyrophosphate ต่อการอยู่รอดของ *Listeria monocytogenes* และ *Escherichia coli* O157 ในเนื้อปลากะพงขาวที่เก็บที่ 4 °C พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจุลินทรีย์ก่อโรคได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บในสภาวะที่มีอากาศ (Masniyom *et al.*, 2005) รวมถึง การศึกษาค่า TVCs พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในเนื้อปลาตาบที่เก็บที่อุณหภูมิ 2°C โดยใช้ CO₂:N₂ ในอัตราส่วน 70:30 อีกทั้ง TMA-N ลดลงเมื่อบรรจุแบบ GP (Lanelongue *et al.*, 1982) การศึกษาอายุการเก็บของปลาตาบสดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C โดยการบรรจุแบบ V และ GP ต่อการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา ชีวเคมีและประสาทสัมผัสพบว่าการเก็บปลาตาบสดแบบ GP โดยใช้อัตราส่วนของก๊าซ CO₂:N₂:O₂ = 40:30:30 พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บของปลาตาบสดได้ 4 วันเมื่อเปรียบเทียบกับเก็บในสภาวะที่มีอากาศ (Pantazi *et al.*, 2008) มีการศึกษาผลของบรรจุแบบ GP โดยใช้สัดส่วนต่างๆ ของก๊าซ CO₂ N₂ และ O₂ ต่อคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาและชีวเคมีของปลา Pearlspace (*Etroplus suratensis*) เก็บที่อุณหภูมิ 0–2 °C พบว่าการบรรจุแบบ GP โดยใช้สัดส่วนของก๊าซ CO₂:O₂ = 60:40 สามารถยืดอายุการเก็บ 9–10 วันเมื่อเปรียบเทียบกับเก็บตัวอย่างในสภาวะที่มีอากาศ (Ravi-Sankar *et al.*, 2008)

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.2.1 การเตรียมปลากะพงขาวและซอสซีอิ๊วแบบญี่ปุ่น

การเตรียมปลากะพงขาว

ขอดเกล็ดปลาและล้างปลากะพงขาว (ได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา) ซึ่งมีขนาด 500 - 900 g ต่อตัว แล้วแล่เนื้อปลาให้มีความกว้าง 7.87±0.63 cm และความยาว 13.80±1.34 cm ได้ชิ้นปลาหนัก 137.96±42.84 g แล้วล้างชิ้นปลาที่แล่แล้ว ห่อชิ้นปลาด้วยฟิล์มห่ออาหาร ชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (เฟรชแรป เห็นบริษัท คิวค แพ็ค แปซิฟิก จำกัด อ. ลำลูกกา จ.ปทุมธานี) และบรรจุใส่ในถุง laminate (บริษัททอปแพคเอ็นจิเนียริง จำกัด บางปะกอก ราษฎร์บูรณะ กทม) เก็บในตู้แช่แข็ง (Biomedical Freezer, SANYO Electric Co., Ltd., Osaka, Japan) ที่ -18 °C

การเตรียมซอสราดปลาอย่างแบบญี่ปุ่น ปริมาตรสุทธิ 1000 มิลลิลิตร

ส่วนผสมสำหรับซอสราดปลาอย่างแบบญี่ปุ่น ปริมาตรสุทธิ 1000 มิลลิลิตร มีดังนี้

- ซอสภูเขาทองถั่วเหลือง ฝาแดง โปรตีน 16% (บริษัทไทยเทพรสผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด(มหาชน) อ. เมือง จ.สมุทรปราการ) ปริมาณ 330 กรัม
- ซีอิ้วดำ สูตร 2 (บริษัท ง่วนเชียงอุตสาหกรรมอาหาร จำกัด อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ) ปริมาณ 330 กรัม
- สาเกไทย ตราสุรากระทิงแดง (บริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด อ.เมือง จ.สมุทรสาคร) ปริมาตร 495 มิลลิลิตร
- ขิงแว่น (ตลาดบางแค เขตบางแค กทม.) 180 กรัม
- กระเทียมกลีบใหญ่ (ตลาดบางแค เขตบางแค กทม.) 270 กรัม
- หอมหัวใหญ่หั่นแว่น (ตลาดบางแค เขตบางแค กทม.) 170 กรัม
- ต้นหอมหั่นท่อน(ตลาดบางแค เขตบางแค กทม.) 105 กรัม
- แครอทหั่นแว่น (ตลาดบางแค เขตบางแค กทม.) 120 กรัม
- น้ำตาลทรายขาว (บริษัทน้ำตาล มิตรผล จำกัด อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี) 540 กรัม
- เกลือป่น (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด อ.พิมาย จ.นครราชสีมา) 65 กรัม
- น้ำเปล่า 1000 มิลลิลิตร

วิธีการทำดังนี้

- ใส่สาเกไทยทั้งหมดลงในหม้อสแตนเลส
- ต้มสาเกด้วยไฟอ่อน
- จุดไฟเผาสาเกที่อยู่ภายในหม้อ รอจนไฟดับ เพื่อไล่กลิ่นแอลกอฮอล์บางส่วนออกไป
- เติมส่วนผสมที่เหลือทั้งหมดลงในหม้อ
- เคี่ยวด้วยไฟอ่อน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- กรองซอสด้วยผ้าขาวบาง แยกกากไปทิ้ง และได้ซอสที่ต้องการ

(สูตรและวิธีการผลิตซอสได้รับความอนุเคราะห์จากคุณศรายุทธ อดิโพธิ)

3.2.2 การผลิตปลากระพงขาวย่างซีอิ้ว

เอาชิ้นปลาออกจากตู้แช่แข็งแล้วทิ้งให้ชิ้นปลามีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง (30 °C) หมักด้วยเกลือเม็ด (ซื้อที่ตลาดสามย่าน ปทุมวัน กทม) หรือเกลือป่น (ปทุมทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด อ. พิมาย จ. นครราชสีมา)ในตู้เย็น (SHARP 8903 model SJ-D51 บริษัท ชาร์ป คอร์ปอเรชั่น เมืองโอซากา ประเทศญี่ปุ่น) ที่

4 °C รายละเอียดระยะเวลาที่ใช้หมักและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือต่อปลาบ่งในหัวข้อผลของปัจจัยต่างๆที่ศึกษา บั้งเนื้อปลาหลังการหมักเกลือ (ในกรณีที่หมักด้วยเกลือเม็ดให้อาเม็ดเกลือบนชั้นปลาออกก่อนบั้ง) จากนั้นชุบผงแป้งสาไล (บัวแดง บริษัท ยูโนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ) ทั้ง 2 ด้าน ให้แป้งติดทั่วชั้นปลาแล้วนำไปย่างบนกระทะเทป็นยากิ (HW-2379, House Worth สาทร กทม) ซึ่งทำด้วยน้ำมันถั่วเหลือง (ตราคุก บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ) 0.5 ซ่อนซาต่อชั้นปลา อย่างที่อุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลาที่ใช้ในการย่างบ่งในหัวข้อผลของปัจจัยต่างๆที่ศึกษา ต่อจากนั้นราดซอสบนชั้นปลา 1 ซ่อนซาต่อชั้น แล้วนำไปอบในเตาอบอาหาร (Teba, Avanti Products, Miami, USA) ที่ 150°C ระยะเวลาที่ใช้ในการอบบ่งในหัวข้อผลของปัจจัยต่างๆที่ศึกษา แล้วบรรจุในถุง EVOH (บริษัททอปแพคเกจจิ้งเจียริง จำกัด บางปะกอก ราษฎร์บูรณะ กทม)

3.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อเนื้อปลาต่อค่า a_w และรสเค็ม

เตรียมชั้นปลาและผลิตปลาอย่างซีอิ๊ว แต่ไม่มีการอบปลาหลังการย่างในการศึกษาหัวข้อนี้ ขนาดของชั้นปลาที่ใช้ 95.95 ± 17.52 g หมักชั้นปลาด้วยเกลือเม็ด นาน 30 นาที และแปรอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือต่อปลา 0.4:4, 0.5:4, และ 0.6:4 แล้วย่างปลาเป็นเวลาข้างละ 7 นาที หลังย่างแบ่งชั้นปลาที่ย่างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวัดค่า a_w ส่วนที่ 2 นำไปราดซอสบนชั้นปลา แล้วนำไปทดสอบรสเค็มทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี JAR scales 5 ระดับ

3.2.4 ผลของเวลาหมักชั้นปลาด้วยเกลือเม็ดต่อค่า a_w และรสเค็ม

เตรียมชั้นปลาและผลิตปลาอย่างซีอิ๊ว ตามลำดับ แต่ไม่มีการอบปลาหลังการย่างในการศึกษาหัวข้อนี้ ขนาดของชั้นปลาที่ใช้ 95.95 ± 17.52 g อัตราส่วนเกลือเม็ดต่อเนื้อปลาที่ใช้เท่ากับ 0.5:4 แปรเวลาในการหมักเกลือ 15 30 45 และ 60 นาที ย่างปลาเป็นเวลาข้างละ 7 นาที หลังการย่างแบ่งชั้นปลาเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวัดค่า a_w ส่วนที่ 2 นำไปราดซอสบนชั้นปลา แล้วนำไปทดสอบรสเค็มทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี JAR scales 5 ระดับ

3.2.5 ผลของการอบต่อค่า a_w และสมบัติทางประสาทสัมผัส

เตรียมชั้นปลาและผลิตปลาอย่างซีอิ๊ว ตามลำดับ แต่ราดซอสบนชั้นปลาหลังการอบ ขนาดของชั้นปลาที่ใช้ 95.95 ± 17.52 g อัตราส่วนเกลือเม็ดต่อเนื้อปลาที่ใช้เท่ากับ 0.5:4 และหมักเกลือเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำปลาไปย่างเป็นเวลาข้างละ 7 นาที แล้วอบโดยแปรเวลาอบเป็น 0 และ 20 นาที แล้วแบ่งชั้นปลาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวัดค่า a_w ส่วนที่ 2 นำไปราดซอสบนชั้นปลา แล้วนำไปทดสอบความแห้งและกลิ่น ด้วยวิธี JAR scales 5 ระดับ

3.2.6 ผลของเวลาอย่างและอบชั้นปลาต่อค่า a_w และสมบัติทางประสาทสัมผัส

เตรียมชั้นปลาและผลิตปลาอย่างซีอิ๊วตามลำดับ แต่ราดซอสบนชั้นปลาหลังการอบ ขนาดของชั้นปลาที่ใช้ 95.95 ± 17.52 g อัตราส่วนเกลือเม็ดต่อเนื้อปลาที่ใช้เท่ากับ 0.5:4 และหมักเกลือเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำปลาไปย่างโดยแปรเวลาข้างละ 7 และ 8 นาที จากนั้นนำไปอบโดยแปรเวลาอบ 18 และ 20 นาที โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ Factorial 2×2 แล้วแบ่งชั้นปลาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวัดค่า a_w ส่วนที่ 2 นำไปราด

ขอสอบนึ่งปลา แล้วนำไปทดสอบความพึงพอใจโดยรวม สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี JAR scales และ hedonic scale 5 ระดับ

3.2.7 ผลของศึกษาหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักเกลือป่นต่อเนื้อปลาต่อค่า a_w และรสเค็ม

เตรียมนึ่งปลาและผลิตปลาอย่างซีอิ๊ว ตามลำดับ แต่รอดขอสอบนึ่งปลาหลังการอบ ขนาดของนึ่งปลาที่ใช้ 175.31 ± 12.37 g หมักปลาด้วยเกลือป่น แปรอัตราส่วนเกลือป่นต่อเนื้อปลา 0.12:4 0.10:4 0.08:4 0.05:4 0.03:4 และ 0.01:4 โดยหมักเกลือป่นเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำปลาไปย่างเป็นเวลาข้างละ 8 นาที แล้วอบเป็นเวลา 20 นาที แล้วแบ่งนึ่งปลาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวัดค่า a_w ส่วนที่ 2 นำไปรอดขอสอบนึ่งปลา แล้วนำไปทดสอบรสเค็มทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี JAR scales 5 ระดับ

3.2.8 ผลของเวลาอย่างและอบนึ่งปลาของเกลือป่นต่อค่า a_w และสมบัติทางประสาทสัมผัส

เตรียมนึ่งปลาและผลิตปลาอย่างซีอิ๊ว ตามลำดับ แต่รอดขอสอบนึ่งปลาหลังการอบ ขนาดของนึ่งปลาที่ใช้ 175.31 ± 12.37 g หมักปลาด้วยเกลือป่นที่อัตราส่วนเกลือป่นต่อเนื้อปลา 0.1:4 เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำปลาไปย่าง โดยแปรเวลาอย่างข้างละ 8 และ 9 นาที แล้วอบโดยแปรเวลาอบ 20 22 และ 24 นาที โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ Factorial 2×3 แล้วแบ่งนึ่งปลาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวัดค่า a_w ส่วนที่ 2 นำไปรอดขอสอบนึ่งปลา แล้วนำไปทดสอบความพึงพอใจโดยรวม สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี JAR scales และ hedonic scale 5 ระดับ

3.2.9 ผลของการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

เตรียมนึ่งปลาและผลิตปลาอย่างซีอิ๊วตามรายละเอียดในข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 ตามลำดับ นำไปบรรจุใน

- ถุง EVOH (บริษัททอปแพคเอ็นจิเนียริง จำกัด บางปะกอก ราษฎร์บูรณะ กทม) โดยแปรสภาวะการบรรจุ 3 แบบ ดังนี้ คือ
 - แบบบรรยากาศ (A)
 - แบบสุญญากาศ (V) และ
 - แบบเติมก๊าซ (GP) ที่สัดส่วน $N_2:CO_2:O_2 = 40:59:1$
- ถุง PVDC/OPP/PE (บริษัทเจนจรัสเคมีพลาย จำกัด บางพลัด กทม) ความหนา 60 ไมครอน มีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน $10.05 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ day bar}$ และ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ $4.12 \text{ g}/\text{m}^2 \text{ day}$ โดยแปรสภาวะการบรรจุ 3 แบบ ดังนี้ คือ
 - แบบบรรยากาศ (A)
 - แบบบรรจุพร้อมซองดูดซับออกซิเจน (OA) และ
 - แบบสุญญากาศ (V)

แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ $4 \text{ }^\circ\text{C}$ แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าดัชนีความหืนด้วยวิธี Thiobarbituric acid หรือ TBA ตามวิธีของ Pearson (1976) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด Total Plate Count ตามวิธีของ USFDA-BAM (2001) สำหรับตัวอย่างที่บรรจุในถุง EVOH นั้นได้นำตัวอย่างมาประเมินผลทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความพึง

พอใจโดยรวม สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี Hedonic scale 5 ระดับ ในวันที่ 1 3 7 9 14 และ 16 วัน ของเวลาที่เก็บ ส่วนตัวอย่างที่บรรจุใน PVDC/OPP/PE ได้ทำการวิเคราะห์การ water activity และ *E. coli* ที่วันที่เก็บต่างๆ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์หาไฮสเตรนและราในวันสุดท้ายของการเก็บ (20 วัน หลังการผลิต) ด้วย ซองดูดซับออกซิเจนที่ใช้คือ Wonderkeep oxygen absorber (Powertech Co., Ltd., Japan)

3.3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.3.1 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาที่ใช้ในการหมักต่อค่า a_w และรสเค็ม

จากตารางที่ 3.1 พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลา 0.4:4 มีผู้ทดสอบประเมินว่าให้รสเค็มพอดีที่สุด คือ 17 คน จากผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน โดยให้ค่า $a_w = 0.953 \pm 0.002$ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับค่า a_w ที่ได้เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลา 0.6:4 ขณะที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลา 0.5:4 ซึ่งมีผู้ทดสอบประเมินว่าให้รสเค็มพอดี 16 คน แต่ให้ค่า a_w ต่ำที่สุด คือ 0.878 ± 0.004 ซึ่งโดยทั่วไปการเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาทำให้ a_w ลดลง แต่เนื่องจากลักษณะของชิ้นปลาที่ใช้ศึกษาไม่สามารถควบคุมได้ กล่าวคือที่น้ำหนักปลาคงที่ ชิ้นปลาที่มีความหนาน้อยกว่า ก็มีความกว้างและ/หรือความยาวมากกว่า ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับเกลือมากกว่า เป็นผลทำให้ค่า a_w ลดลง ได้มากกว่า การหมักเกลือทำให้ปริมาณน้ำในอาหารลดลง เพราะเกิดการออสโมซิสทำให้น้ำไหลออกจากอาหาร ผลคือทำให้ค่า a_w ลดลง จึงเป็นการควบคุมการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์อย่างหนึ่ง (Hahn-Hägerdal, 1986) อย่างไรก็ตามปริมาณของเกลือที่เข้าไปในอาหารก็ทำให้อาหารมีรสเค็ม เนื่องจากจุดประสงค์ของการวิจัยคือเพื่อลดค่า a_w ให้มากที่สุดเพื่อลดการเสียหายเนื่องจากจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าการย่างปลาที่ 200°C สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ระดับหนึ่งก็ตาม โดยผู้บริโภคยังยอมรับในรสชาติ ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาเท่ากับ 0.5:4 มาศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการหมักปลาด้วยเกลือเม็ดที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาคงที่ต่อค่า a_w และรสเค็มในขั้นต่อไป

ตารางที่ 3.1 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาต่อค่า a_w และผลการประเมินรสเค็ม

น้ำหนักเกลือ:น้ำหนักปลา	a_w	ผลการประเมินรสเค็ม	
		ความเห็น	จำนวนผู้ให้ความเห็น* (คน)
0.4:4	$0.953^a \pm 0.002$	เค็มพอดี	17
0.5:4	$0.878^b \pm 0.004$	เค็มพอดี	16
0.6:4	$0.943^a \pm 0.008$	เค็มมาก	10

* จำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน

3.3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการหมักปลาด้วยเกลือเม็ดต่อค่า a_w และรสเค็ม

จากตารางที่ 3.2 การหมักปลาด้วยเกลือเม็ดในช่วงระยะเวลา 15-60 นาที ที่ 4°C โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาที่ 0.5:4 แล้วนำปลาอย่างเป็นเวลาข้างละ 7 นาที ที่ 200°C พบว่า ค่า a_w ของปลาที่ใช้เวลาในการหมัก 30 นาที แตกต่างจากผลการทดลองที่สภาวะเดียวกันในหัวข้อ 3.3.1 อยู่ 0.069 เพราะเนื่องจากขนาดของปลาที่ใช้ในครั้งนี้มีขนาดและความหนาของชั้นปลาที่มากกว่า โดยมีน้ำหนักมากกว่าถึง 16.82 กรัม (ขนาดของปลา แสดงในภาคผนวก) จากผลการทดลองที่เวลาการหมัก 60 นาทีมีค่า a_w ต่ำที่สุด คือ $a_w = 0.895 \pm 0.002$ แต่ผลการประเมินรสเค็มด้วย JAR scale 5 ระดับ พบว่าผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าเวลาการหมัก ≥ 60 นาที ให้รสเค็มมากเกินไป ที่เวลาในการหมักเกลือ ≥ 45 นาที ให้รสเค็มมาก และที่เวลาในการหมักในช่วง 15-30 นาที ให้รสเค็มพอดี โดยผลการประเมินรสเค็ม ที่มีจำนวนผู้ทดสอบประเมินว่าให้รสเค็มพอดีสูงสุดถึง 16 คน อยู่ที่เวลาในการหมักเกลือเท่ากับ 15 นาที ให้ค่า $a_w = 0.908 \pm 0.001$ ซึ่งโดยทั่วไปการเพิ่มเวลาในการหมักเกลือควรทำให้ค่า a_w ลดลง แต่การที่ขนาดของปลาที่ใช้มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สัมผัสกับเกลือลดลงตามไปด้วย ทำให้ปริมาณเกลือที่เข้ามาภายในชั้นเนื้อได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับปลาที่ขนาดเล็กกว่า น้ำที่สูญเสียออกไปจึงน้อยกว่า เป็นผลทำให้ค่า a_w ลดลงได้น้อยกว่า จากผลการทดลองค่า a_w ของปลาที่ได้มีสูงกว่า 0.900 ทำให้ไม่สามารถยับยั้งการเสื่อมเสียจากการเจริญของแบคทีเรียได้ในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ (Brown, 1976) แต่ได้เลือกเวลาในการหมัก 15 นาที มาใช้ในกระบวนการผลิต เพราะให้ค่า a_w ที่ต่ำที่สุด ขณะที่จำนวนผู้ประเมินผลว่ารสเค็มพอดีมากที่สุด โดยกระบวนการผลิตปลาที่ยังมีวิธีที่สามารถช่วยลดค่า a_w ได้ คือ การอบ ซึ่งนอกจากลด a_w แล้วยังสามารถให้กลิ่นและเนื้อสัมผัสด้วย ดังนั้น ในขั้นต่อไปจึงทำการทดลองหาผลของเวลาที่ใช้ในการอบที่อุณหภูมิคงที่ในการผลิตปลาต่อค่า a_w กลิ่นและเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการหมักปลาด้วยเกลือเม็ดต่อค่า a_w และผลประเมินรสเค็ม

เวลาหมักเกลือ (นาที)	a_w	ผลการประเมินรสเค็ม	
		ความเห็น	จำนวนผู้ให้ความเห็น*(คน)
15	$0.908^c \pm 0.001$	เค็มพอดี	16
30	$0.947^a \pm 0.002$	เค็มพอดี	12
45	$0.935^b \pm 0.002$	เค็มมาก	9
60	$0.895^d \pm 0.002$	เค็มมากเกินไป	10

* จำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน

3.3.3 ผลของเวลาอบปลาที่อุณหภูมิ 150°C ต่อค่า a_w ความแห้งและกลิ่น

จากตารางที่ 3.3 การหมักปลาด้วยเกลือเม็ดเป็นเวลา 15 นาที ที่ 4°C โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาที่ 0.5:4 แล้วนำปลาอย่างเป็นเวลาข้างละ 7 นาที ที่ 200°C แล้วนำไปอบ ที่ 150°C โดยแปรเวลาอบเป็น 0 และ 20 นาที พบว่าปลาที่ได้ไม่แตกต่างจากการอบ (เวลาอบ 0 นาที) ค่า a_w ของปลาที่ได้แตกต่างจากผลการ

ทดลองที่สภาวะเดียวกันในหัวข้อ 3.3.2 อยู่ 0.03 เนื่องจากขนาดของปลาที่ใช้ในครั้งนี้แตกต่างจากเดิม ถึงแม้ว่าน้ำหนักมากกว่าเดิมเพียง 1.67 กรัม แต่ความกว้างของชิ้นปลาน้อยกว่าถึง 4 เซนติเมตร พื้นที่ผิวสัมผัสกับเกลือจึงน้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของปลาอย่างที่ทำน้ำโปบเป็นเวลา 20 นาที โดยปลาที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักและขนาดของปลาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งค่า a_w ได้ลดลงจากเดิมถึง 0.035 และผลการประเมินความแห้งและกลิ่นด้วย JAR scale 5 ระดับ พบว่าจำนวนผู้ทดสอบที่ลงความเห็นว่าย่างที่ผ่านการอบเป็นเวลา 20 นาที มีความแห้งพอดีสูงกว่าปลาที่ย่างที่ไม่ทำการอบอยู่ 4 คน และกลิ่นพอดีสูงกว่า 2 คน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้การย่างและการอบเป็นกระบวนการใช้ความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ ที่ทำให้ปริมาณน้ำหรือความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงเหมือนกัน แต่มีกรรมวิธีแตกต่างกัน กล่าวคือ การย่างเป็นการให้ความร้อนที่ผิวทันทีทำให้เกิดสีน้ำตาล และทำให้ผิวสัมผัสแห้งแต่ยังสามารถกักความชุ่มชื้นของเนื้อไว้ได้ ในขณะที่การอบเป็นการทำให้อาหารสุกโดยใช้ความร้อนจากการอบทุกทิศทางภายในตู้อบ นอกจากนี้ เช่นเดียวกับการย่างความร้อนจากการอบยังทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลง เกิดปฏิกิริยา Maillard และ Strecker degradation สามารถช่วยเพิ่มกลิ่นและเนื้อสัมผัสที่เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค จากการแตกตัวของไขมันที่ดีขึ้น โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิที่ใช้ย่างอาหารที่สูงกว่า 260°C และยังเป็นเวลานาน สามารถทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง คือ heterocyclic amines และ acrylamide โดยสารดังกล่าวสามารถทำลายสารพันธุกรรม DNA ที่อยู่ในร่างกาย มีผลต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่และกระเพาะอาหาร มีพิษต่อระบบประสาทและระบบสืบพันธุ์ (ชฎาพร นุชจันทรื, 2551; Mottram, 2002) ในขณะที่การย่างที่อุณหภูมิ 155°C ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สำคัญคือปฏิกิริยา Maillard เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ในอาหาร ทำให้เกิดสีน้ำตาลและสารให้กลิ่นที่เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค ดังนั้น จึงเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการย่างปลาที่ 200°C เพราะส่งผลให้ผิวของอาหารสุกอย่างรวดเร็ว เอนไซม์และจุลินทรีย์ที่ผิวของอาหารถูกทำลาย และค่า a_w ที่ผิวลดลง ผิวสัมผัสจึงแห้งแต่ยังสามารถกักเก็บความชุ่มชื้นของเนื้อไว้ได้ ดังนั้นจึงต้องศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการย่างและการอบที่เหมาะสมในการผลิตที่ให้ค่า a_w ต่ำที่สุด โดยผู้ทดสอบยังยอมรับในรสชาติ กลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัส โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการทดลอง อย่างน้อยต้องให้บริเวณตรงกลางของชิ้นเนื้อสุก แล้วจึงนำไปแปรเวลาอบ

ตารางที่ 3.3 ผลของการอบต่อค่า a_w และผลประเมินด้านความแห้งและกลิ่น

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	เวลาอบ (นาที)	a_w	ผลการประเมินความแห้ง		ผลการประเมินกลิ่น	
			ความเห็น	จำนวนผู้ให้ความเห็น*(คน)	ความเห็น	จำนวนผู้ให้ความเห็น*(คน)
0	0	$0.938^a \pm 0.014$	พอดี	12	พอดี	16
150	20	$0.903^b \pm 0.012$	พอดี	16	พอดี	18

* จำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน

3.3.4 ผลของเวลาอย่างและอบปลาของเกลือเม็ดต่อค่า a_w และสมบัติทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 3.4 การหมักปลาด้วยเกลือเม็ดเป็นเวลา 15 นาที ที่ 4°C โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือเม็ดต่อปลาที่ 0.5:4 แล้วนำปลาไปย่างที่ 200°C โดยแปรเวลาอย่างข้างละ 7 และ 8 นาที จากนั้นนำไปอบที่ 150°C โดยแปรเวลาอบ 18 และ 20 นาที พบว่า ค่า a_w ของปลาอย่างส่วนใหญ่อยู่ที่ 0.97 โดยประมาณ ซึ่งผลจากการควบคุมเวลาอบให้คงที่ และแปรเวลาในการย่างเป็น 7 และ 8 นาที ค่า a_w เปลี่ยนแปลงดังนี้ ที่เวลาอบคงที่ 18 นาที ค่า a_w เพิ่มขึ้น 0.007 และที่เวลาอบคงที่ 20 นาที ค่า a_w เพิ่มขึ้น 0.001 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อทำการควบคุมเวลาอย่างให้คงที่ และเปรียบเทียบค่า a_w ปลาอย่างที่ได้ทำการเพิ่มเวลาในการอบเป็น 18 และ 20 นาที มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ที่เวลาอย่างคงที่ 7 นาที ค่า a_w ไม่มีความแตกต่างกัน และที่เวลาอย่างคงที่ 8 นาที ค่า a_w ลดลง 0.006 โดยค่า a_w ที่ต่ำที่สุดในการทดลอง คือ สภาวะที่ใช้เวลาอย่างข้างละ 7 นาที และเวลาอบ 18 หรือ 20 นาที มีค่า a_w เท่ากับ 0.968 จึงมาพิจารณาผลประเมินด้านความชอบโดยรวม พบว่า ความพึงพอใจโดยรวม สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ในส่วนผลประเมินความชอบของรสชาติ พบว่า การใช้เวลาในการย่างข้างละ 7 นาที อบ 18 นาที มีผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยสูงกว่าคะแนนของการใช้เวลาในการย่างข้างละ 7 นาที อบ 20 นาที อยู่เท่ากับ 0.45 คะแนน กล่าวได้ว่า การแปรเวลาในการย่างและการอบไม่มีผลต่อค่า a_w แต่ส่งผลถึงความชอบด้านรสชาติ เนื่องจากการย่างหรืออบปลาที่นานขึ้น ทำให้น้ำภายในชิ้นเนื้อปลาสูญเสียมากขึ้น รสชาติจึงเป็นที่ยอมรับน้อยลง จึงได้เลือกเวลาในการย่างข้างละ 7 นาที และอบ 18 นาที เพราะให้ค่า a_w ต่ำที่สุดและผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมสูงที่สุด อีกทั้งเป็นการประหยัดเวลาและพลังงานที่ใช้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย แต่เนื่องจากผู้ทดสอบส่วนใหญ่ได้แสดงความเห็นว่า ความเค็มในชิ้นเนื้อปลาแต่ละส่วนไม่เท่ากัน เป็นผลมาจากการใช้เกลือเม็ด ที่ไม่สามารถทำให้การหมักเกลือในแต่ละส่วนของเนื้อปลาสม่ำเสมอ ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไปจึงเปลี่ยนมาใช้เกลือป่น เนื่องจากเกลือป่นมีขนาดที่เล็กและละเอียดกว่าทำให้เกิดการกระจายตัวของเกลือและรสเค็มได้ทั่วถึงกว่า

ตารางที่ 3.4 ผลของเวลาอย่างและอบปลาต่อค่า a_w และผลประเมินด้านความชอบ

เวลาอย่าง ข้างละ (นาที)	เวลาอบ (นาที)	a_w	ผลการประเมินความชอบ 5 ระดับ				
			ความพึง พอใจโดยรวม	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
7	18	0.968 ^a ±0.006	3.65 ^a ±0.67	3.90 ^a ±0.79	3.40 ^a ±0.94	3.80 ^a ±0.62	3.95 ^a ±0.61
8	18	0.975 ^b ±0.009	3.60 ^a ±0.68	3.80 ^a ±0.62	3.40 ^a ±0.75	3.70 ^{ac} ±0.66	3.50 ^a ±0.83
7	20	0.968 ^a ±0.004	3.50 ^a ±0.83	3.65 ^a ±0.67	3.40 ^a ±1.00	3.35 ^{bcd} ±0.81	3.60 ^a ±1.00
8	20	0.969 ^a ±0.007	3.75 ^a ±0.55	3.70 ^a ±0.47	3.75 ^a ±0.72	3.75 ^{ad} ±0.44	3.55 ^a ±0.89

3.3.5 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาที่ใช้ในการหมักต่อค่า a_w และรสเค็ม

ปลาส่วนใหญ่ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา แต่ทางผู้ผลิตไม่สามารถส่งปลาหรือปลาที่มีขนาดปลาที่ต้องการให้ทันกำหนดการวิจัยได้ทุกครั้ง และในบางกรณีผู้วิจัยจึงต้องใช้ปลาจากแหล่งอื่น ซึ่งก็ไม่ได้ขนาดใกล้เคียงกับที่ใช้ในการศึกษาข้างต้นได้ ปลาที่ใช้ในการทดลองผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาที่ใช้ในการหมักต่อค่า a_w และรสเค็มนี้มีมีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้ในการทดลองข้างต้น คือมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 175.31 ± 12.37 กรัม เพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 79.36 กรัม หมักปลาด้วยเกลือป่น เป็นเวลา 15 นาที ที่ 4°C ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาในช่วง 0.01:4–0.12:4 (การที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นที่ใช้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเกลือเม็ดเป็นเพราะกระบวนการหมักปลาด้วยเกลือเม็ด เนื่องด้วยก่อนนำปลาไปย่างได้ปิดเกลือเม็ดออก แต่เกลือป่นมีความละเอียดจึงไม่สามารถปิดออกได้ โดยอัตราส่วนน้ำหนักของเกลือป่นที่ได้จากค่าประมาณของผลต่างของน้ำหนักเกลือเม็ดก่อนหมักและหลังหมัก โดยเกลือเม็ดหลังหมักคือเกลือเม็ดที่ปิดออกจากชิ้นปลาหลังการหมัก ซึ่งต้องทำการตากให้แห้งก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อระเหยน้ำที่เกลือดูดซับจากปลาออกไป) แล้วนำปลาอย่างที 200°C เป็นเวลาข้างละ 8 นาที (เนื่องจากปลาที่ใช้ศึกษาในขั้นตอนนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น จึงต้องเพิ่มเวลาในการย่างจากข้างละ 7 นาที เป็น 8 นาที เพราะได้กำหนดให้เวลาอย่างที่ใช้ในการทดลองที่ต้องให้บริเวณตรงกลางของชิ้นปลาสุก) แล้วนำไปอบที่ 150°C เป็นเวลา 20 นาที ผลการทดลองในตารางที่ 3.5 แสดงว่าอัตราส่วนของเกลือที่ใช้แปรผกผันกับค่า a_w ของปลาอย่าง โดยเมื่อค่าของอัตราส่วนน้ำหนักเกลือมากขึ้นทำให้ค่า a_w ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่า a_w ปลาอย่างต่ำที่สุด คือการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาที่ 0.12:4 ให้ค่า $a_w = 0.937 \pm 0.001$ และผลประเมินรสเค็มด้วย JAR scale 5 ระดับ พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ลงความเห็นว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลา $\geq 0.12:4$ ให้รสเค็มมาก อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาในช่วง 0.03:4–0.10:4 ให้รสเค็มพอดี และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลา $\leq 0.01:4$ ให้รสเค็มน้อย โดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลา 0.10:4 มีจำนวนผู้ทดสอบประเมินว่าให้รสเค็มพอดีสูงสุดคือ 19 คน ให้ค่า $a_w = 0.952 \pm 0.001$ ซึ่งเป็นค่า a_w ที่ต่ำที่สุดในช่วงของผลประเมินรสเค็มพอดี และจากผลการทดลองค่า a_w ของปลาอย่างที่ได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ไม่ผันผวนเหมือนตอนใช้เกลือเม็ด แสดงว่าเกลือป่นมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในทุกส่วนของปลา ดังนั้น จึงเลือกหมักปลาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาเท่ากับ 0.10:4 มาใช้ในกระบวนการผลิต เพราะให้ค่า a_w ที่ต่ำที่สุด ขณะที่จำนวนผู้ประเมินผลว่ารสเค็มพอดีมากที่สุด และเนื่องจากขนาดของปลาและชนิดของเกลือที่ใช้ในการทดลองเปลี่ยนแปลงไป การทดลองต่อไปจึงต้องศึกษาถึงระยะเวลาอย่างและอบปลาที่เหมาะสมในการผลิตที่ให้ค่า a_w ต่ำที่สุด โดยผู้ทดสอบยังยอมรับในรสชาติ กลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 3.5 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาต่อค่า a_w และผลประเมินรสเค็ม

น้ำหนักเกลือ : น้ำหนักปลา	a_w	ผลการประเมินรสเค็ม	
		ความเห็น	จำนวนผู้ให้ความเห็น*(คน)
0.01:4	0.982 ^a ±0.002	เค็มน้อย	10
0.03:4	0.978 ^b ±0.001	เค็มพอดี	12
0.05:4	0.969 ^c ±0.003	เค็มพอดี	14
0.08:4	0.956 ^d ±0.001	เค็มพอดี	17
0.10:4	0.952 ^e ±0.001	เค็มพอดี	19
0.12:4	0.937 ^f ±0.001	เค็มมาก	11

* จำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน

3.3.6 ผลของเวลาย่างและอบปลาของเกลือป่นต่อค่า a_w และความชอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัส

การหมักปลาด้วยเกลือป่นเป็นเวลา 15 นาที ที่ 4 °C โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาที่ 0.10:4 แล้วนำปลาไปย่างที่ 200 °C โดยแปรเวลาย่างข้างละ 8 และ 9 นาที แล้วอบที่ 150 °C โดยแปรเวลาอบ 20 22 และ 24 นาที ให้ผลการทดลองในตารางที่ 3.6 ซึ่งแสดงว่าที่เวลาย่างให้คงที่ การเปลี่ยนแปลงเวลาอบจาก 20 นาที เป็น 22 และ 24 นาที ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ที่ชัดเจน แต่ที่เวลาอบที่ การเพิ่มเวลาย่างจาก 8 เป็น 9 นาที ทำให้ค่า a_w มีแนวโน้มลดลง โดยเปลี่ยนแปลงดังนี้ ที่เวลาอบคงที่ 20 นาที ค่า a_w ลดลง 0.006 ที่เวลาอบคงที่ 22 นาที ค่า a_w ลดลง 0.01 และที่เวลาอบคงที่ 24 นาที ค่า a_w ลดลง 0.016 คิดเป็นค่าเฉลี่ย a_w ที่ลดลงจากการแปรเวลาย่างเท่ากับ 0.011 โดยค่า a_w ที่ต่ำที่สุดในการทดลองคือตัวอย่างที่ได้จากการย่างข้างละ 9 นาที และการอบ 22 นาที ซึ่งมีค่า $a_w = 0.963 \pm 0.011$ คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของตัวอย่างนี้ = 3.50 ± 1.15 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับตัวอย่างที่ได้จากการย่างข้างละ 8 นาที และการอบ 24 นาที ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมสูงที่สุดคือ 3.85 ± 0.93 แต่มีค่า $a_w = 0.980 \pm 0.004$ ขณะที่ผลคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่ได้จากการย่างข้างละ 9 นาที และการอบ 22 นาทีไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ได้จากการย่างข้างละ 8 นาที และการอบ 24 นาที ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยเหล่านี้สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจากผลการทดลองทุกสภาวะในการย่างและอบ มีค่า a_w ของปลาอย่างไม่ต่ำกว่า 0.900 ถือได้ว่าไม่มีผลในการยับยั้งการเสื่อมเสียและป้องกันการเจริญของแบคทีเรีย (Brown, 1976) ดังนั้น ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมของเวลาย่างและอบ จึงพิจารณาจากผลประเมินด้านความพึงพอใจโดยรวมที่ได้คะแนนสูงสุด คือ เวลาย่างข้างละ 8 นาที และอบ 24 นาที แล้วต้องทำการทดลองหาผลการป้องกันการเจริญของแบคทีเรียด้วยปัจจัยอื่น คือ การแปรสภาวะการบรรจุของบรรจุภัณฑ์ปลา

ตารางที่ 3.6 ผลของเวลาย่างและอบปลาต่อค่า a_w และผลประเมินด้านความชอบ

เวลา ย่าง ข้างละ (นาที)	เวลา อบ (นาที)	a_w	ผลการประเมินความชอบ 5 ระดับ				
			ความพึง พอใจ โดยรวม	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
8	20	0.975 ^{ab} ± 0.010	3.35 ^{bc} ± 0.88	3.65 ^a ± 0.67	3.75 ^{abc} ± 0.64	3.45 ^a ± 1.00	3.50 ^a ± 0.69
8	22	0.973 ^{ab} ± 0.007	3.75 ^a ± 0.85	3.70 ^a ± 0.57	3.50 ^c ± 0.89	3.50 ^a ± 0.89	3.55 ^a ± 0.76
8	24	0.980 ^a ± 0.004	3.85 ^a ± 0.93	3.70 ^a ± 1.08	3.90 ^a ± 0.79	3.65 ^a ± 1.04	3.80 ^a ± 0.83
9	20	0.969 ^{ab} ± 0.003	3.15 ^c ± 0.88	3.50 ^a ± 0.83	3.50 ^c ± 0.69	3.30 ^a ± 0.80	3.25 ^a ± 0.97
9	22	0.963 ^{bc} ± 0.011	3.50 ^{bc} ± 1.15	3.65 ^a ± 0.81	3.65 ^{abc} ± 0.67	3.45 ^a ± 0.89	3.65 ^a ± 0.81
9	24	0.964 ^b ± 0.040	3.50 ^{bc} ± 0.89	3.65 ^a ± 0.93	3.75 ^{abc} ± 0.64	3.15 ^a ± 0.93	3.35 ^a ± 1.04

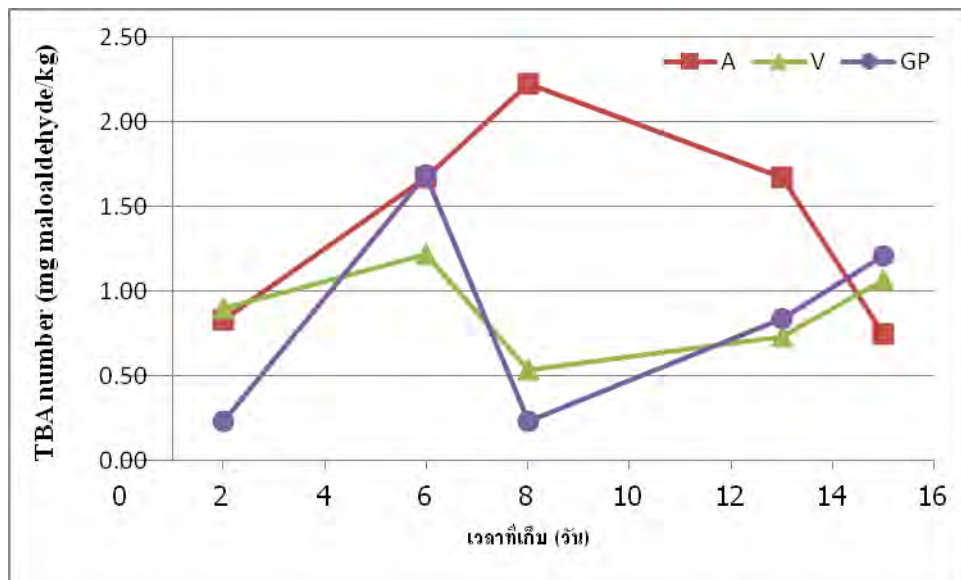
3.3.7 การบรรจุในถุง EVOH

ผลิตภัณฑ์ผลิตปลากระพงย่างที่บรรจุในถุง EVOH โดยศึกษาสภาวะการบรรจุ 3 แบบ คือแบบบรรยากาศ (A) แบบสุญญากาศ (V) แสดงในรูปที่ 3.5 และแบบเติมก๊าซ (GP) ที่สัดส่วน $N_2:CO_2:O_2 = 40:59:1$ และ เก็บที่ อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 3.5 ปลากระพงขาวย่างซีอิ้วที่บรรจุในถุง EVOH สภาวะสุญญากาศ

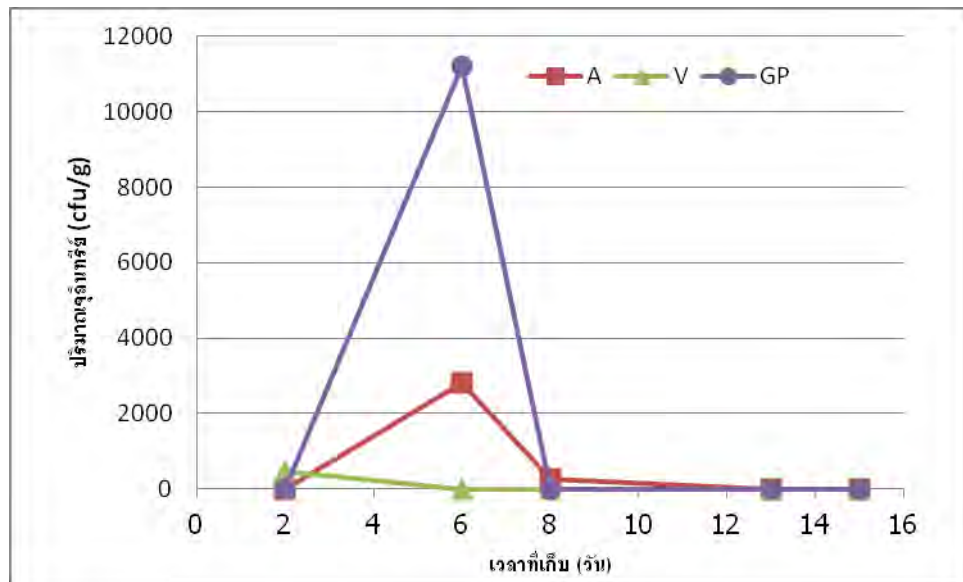
จากรูปที่ 3.6 แสดงค่าดัชนีความหืน (TBA) จากการวิเคราะห์ในวันที่ 2, 6, 8, 13 และ 15 วัน ของอายุการเก็บ แบบ A แบบ V และแบบ GP พบว่า ค่า TBA ที่ได้จากการศึกษามีค่าไม่คงที่ บ่งบอกว่าไม่มีแนวโน้มของตัวอย่างไปในทางใดทางหนึ่งทุกสภาวะการเก็บ และทุกสภาวะการบรรจุมีค่า TBA ต่ำกว่าระดับวิกฤต คือ 3 mg MDA ต่อเนื้อปลา 1 kg (Connell, 1990) โดยค่าเฉลี่ย ของค่า TBA แบบ A มีค่าสูงที่สุด และแบบ GP มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากค่า TBA เป็นตัวชี้วัดในการประเมินระดับการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Nishimoto *et al.*, 1985) และการที่เติม CO₂ ลงในบรรยากาศนั้น สามารถทำให้ไขมันในเนื้อเยื่อปลาที่เก็บในน้ำแข็งหรือภายใต้การแช่เย็นสามารถยับยั้งแนวโน้มการเกิดกลิ่นหืนโดยออกซิเดชันได้เล็กน้อย (Stansby, 1963) ซึ่งสอดคล้องกับผลประเมินความชอบกลิ่นโดย Hedonic scale 5 ระดับ ที่ผู้ประเมินให้คะแนนความชอบปลาอย่างบรรจุแบบ GP สูงสุด



รูปที่ 3.6 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°C และสภาวะบรรจุต่อค่าดัชนีความหืน (TBA number) ของผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวอย่างบรรจุในถุง EVOH

จากรูปที่ 3.7 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ (cfu/g) จากการตรวจในวันที่ 2, 6, 8, 13 และ 15 วัน ของอายุการเก็บแบบ A แบบ V และแบบ GP พบว่า ปริมาณเฉลี่ยจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ เรียงจากน้อยไปมาก ดังนี้ คือ แบบ V A และแบบ GP โดยการศึกษาครั้งนี้ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) ทุกสภาวะการบรรจุมีค่าไม่เกิน 10⁵ cfu/g ซึ่งเป็นค่าพื้นฐานขีดจำกัดการยอมรับทางจุลชีววิทยา ตามมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารตามที่ระบุไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547) โดยทั่วไปในสภาวะการบรรจุแบบ V มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งจุลินทรีย์เนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ O₂ ในการเจริญ และในการบรรจุแบบ GP เป็นการเติม CO₂ ลงไปในบรรยากาศ ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน ซึ่งภาวะที่ไม่มี O₂ และมี CO₂ มีผลในการยับยั้งการเจริญของ

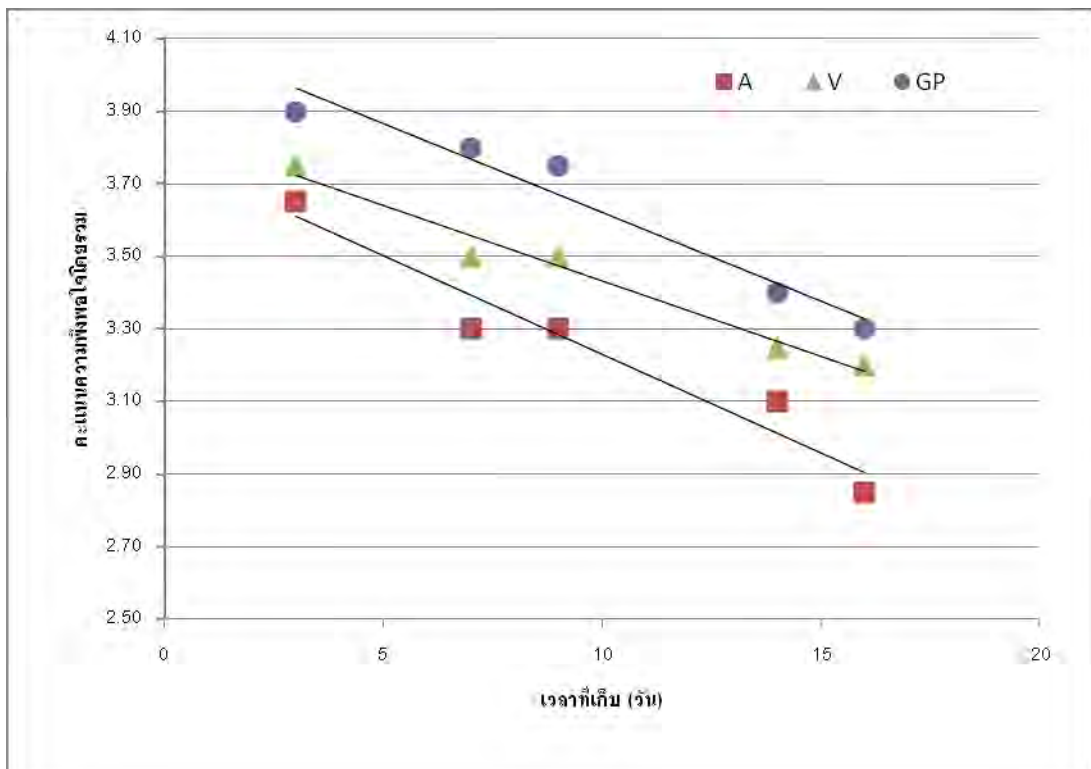
แบบที่เรียกใช้อากาศและแบบที่เรียกแกรมลบ (Lannelongue *et al.*, 1982) แต่จากผลการทดลอง การบรรจุแบบ A ตรวจพบจุลินทรีย์น้อยกว่าแบบ GP เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในแบบ GP มีการกระโดดของข้อมูลในวันที่ 2 ของการเก็บ คาดว่าอาจเกิดจากการปนเปื้อนจากภายนอกทำให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนจุลินทรีย์ที่พบมีค่าสูงกว่าแบบ A ดังนั้น จากการที่ทุกสภาวะการบรรจุมีค่า TPC ไม่เกิน 10^5 cfu/g จึงไม่มีผลในการเลือกสภาวะที่ใช้ในการบรรจุต้องพิจารณาผลจากคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแทน



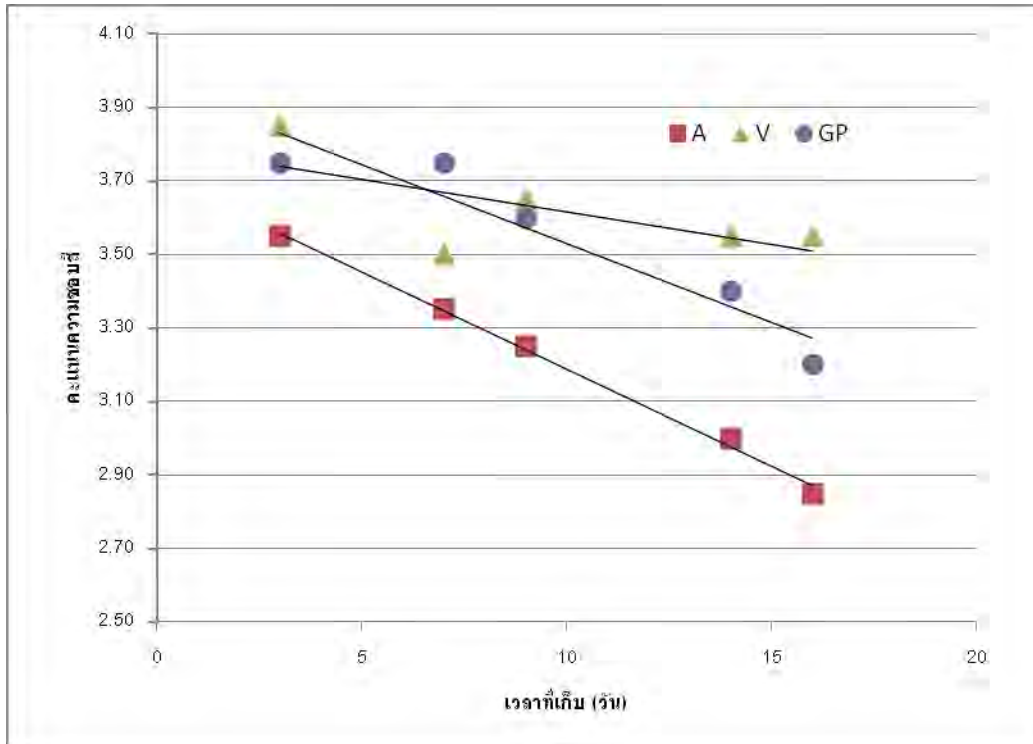
รูปที่ 3.7 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C และสภาวะบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ (cfu/g) ของ ผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวอย่างที่บรรจุในถุง EVOH

จากรูปที่ 3.8-3.10 แสดงผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความพึงพอใจโดยรวม สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของเนื้อปลากะพงขาวอย่างที่เก็บในสภาวะ A V และ GP โดยใช้ hedonic scale 5 ระดับ ผลการประเมินพบว่า ผู้ทดสอบมีการยอมรับที่ลดลงในการประเมินทุกด้านตลอดอายุการเก็บ 16 วัน สอดคล้องกับรายงานผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลาสดแช่เย็นที่ 4 °C ที่เก็บในสภาวะ A V และ GP (Pantazi *et al.*, 2008) โดย GP ได้คะแนนสูงที่สุดในบรรดาสภาวะการเก็บที่ทดลองในการประเมินความพึงพอใจโดยรวม กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสเมื่อเก็บ 16 วัน ในขณะที่ V ได้คะแนนสูงที่สุดในการประเมินด้านสี เมื่อเก็บ 16 วัน ดังรูปที่ 4.5 และ A ได้คะแนนต่ำสุดจากการประเมินในทุกด้าน นอกจากนี้การยอมรับของผู้ทดสอบค่อยๆ ลดลงในการประเมินด้านความพึงพอใจโดยรวม ดังรูปที่ 4.4 โดย GP ได้คะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือ V และ A ตามลำดับ ในขณะที่การประเมินความชอบด้านสี พบว่า ในช่วงแรก (วันที่ 3-7) GP ได้คะแนนสูงกว่า V แต่หลังจากวันที่ 7 เป็นต้นไป GP มีการลดลงของคะแนนการประเมินเร็วกว่า V ส่วน A ได้คะแนนต่ำสุดจากการประเมินความชอบสีตลอดการเก็บ 16 วัน และการประเมินความชอบกลิ่น ดังรูปที่ 3.6 พบว่า GP ได้รับคะแนนสูงที่สุดตลอดการเก็บ 16 วัน ในช่วงแรก (วันที่ 3-4) และ A มีคะแนนสูงกว่า V แต่หลังจากวันที่ 4 เป็นต้นไป A มีการลดลงของคะแนนการประเมินเร็วกว่า V ส่วนผลการประเมินความชอบรสชาติและเนื้อสัมผัส ดังรูปที่ 3.7 และ

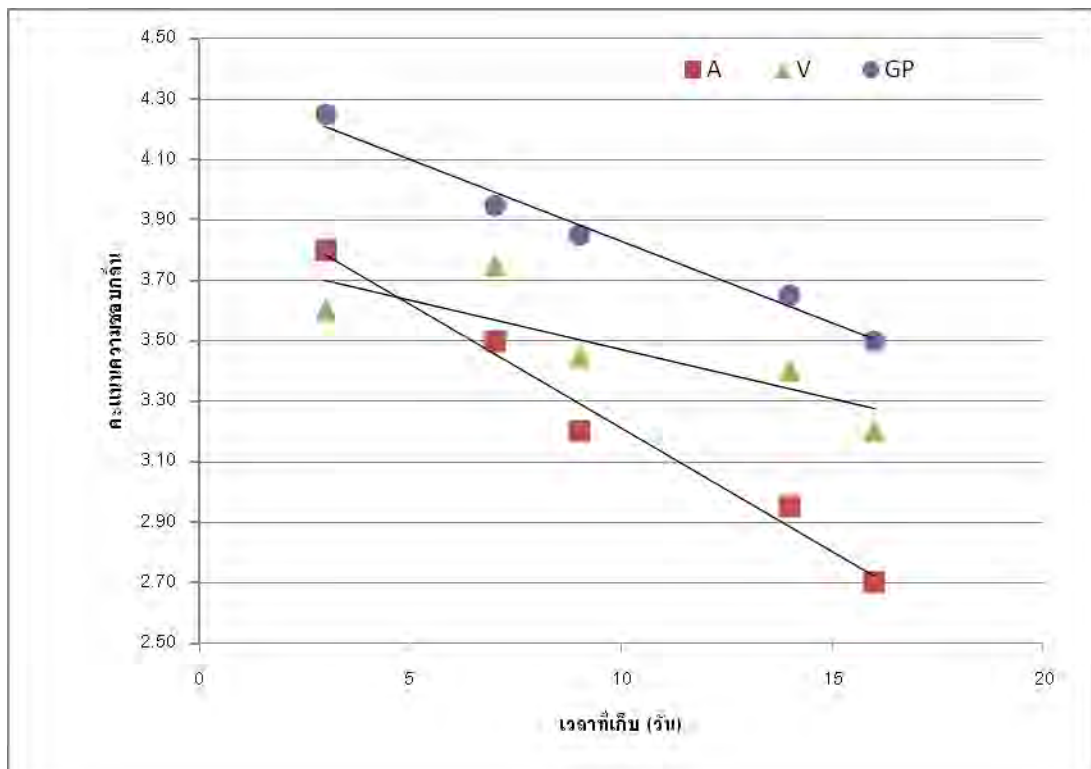
3.8 พบว่า GP ได้คะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือ V และ A ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อใช้ผลการประเมินด้านความพึงพอใจโดยรวมเป็นเกณฑ์การยอมรับของผู้ทดสอบ โดยให้ขีดจำกัดการยอมรับของผู้ทดสอบที่ต่ำกว่า 3 คะแนน หมายถึงผลิตภัณฑ์ปลากะพงอย่างไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค พบว่า A มีอายุการเก็บประมาณ 13 วัน V และ GP มีอายุการเก็บ 14 วัน หลังจากนั้นผู้บริโภคไม่ยอมรับลักษณะเนื้อสัมผัส แต่ GP ได้รับคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ ดีกว่า V การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสอาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์ จึงมีการใช้บรรจุภัณฑ์ PVDC/OPP/PE ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและความชื้นได้ดี ในการศึกษาขั้นต่อไป



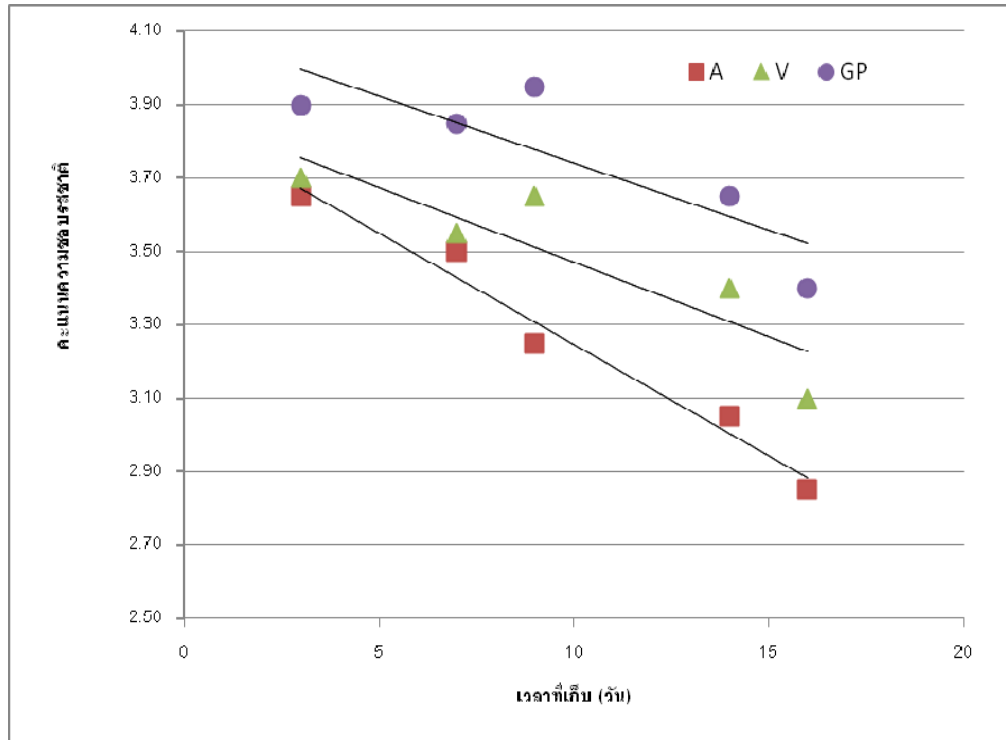
รูปที่ 3.8 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C และสถานะบรรจุต่อการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวอย่างที่บรรจุในถุง EVOH



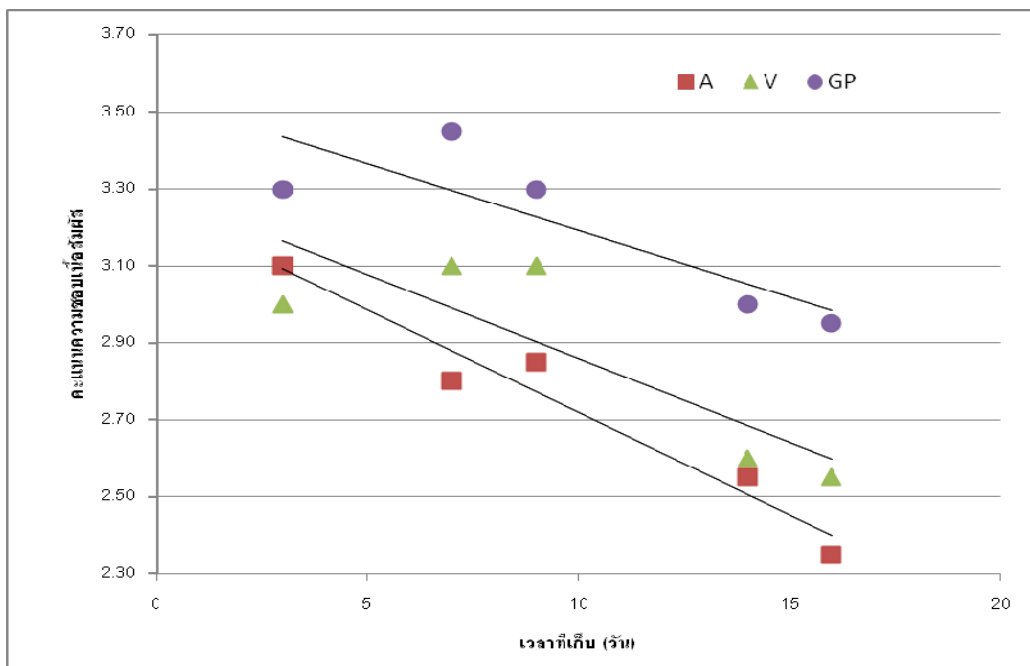
รูปที่ 3.9 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C และสถานะบรรจุต่อการประเมินความชื้นของผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างที่บรรจุในถุง EVOH



รูปที่ 3.10 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C และสถานะบรรจุต่อการประเมินความชื้นของผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างที่บรรจุในถุง EVOH



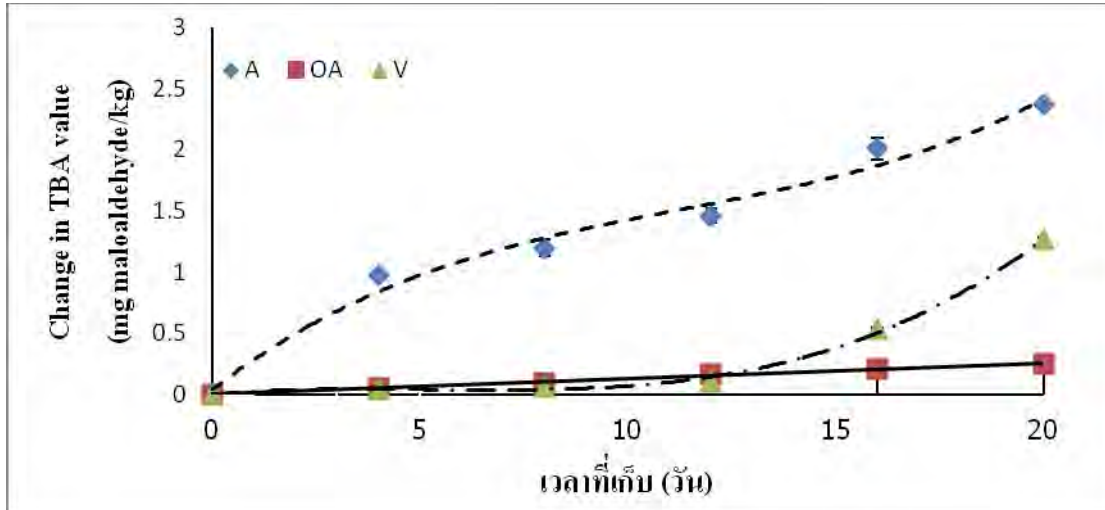
รูปที่ 3.11 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C และสถานะบรรจุต่อการประเมินความชอบปรีซชาติของผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างที่บรรจุในถุง EVOH



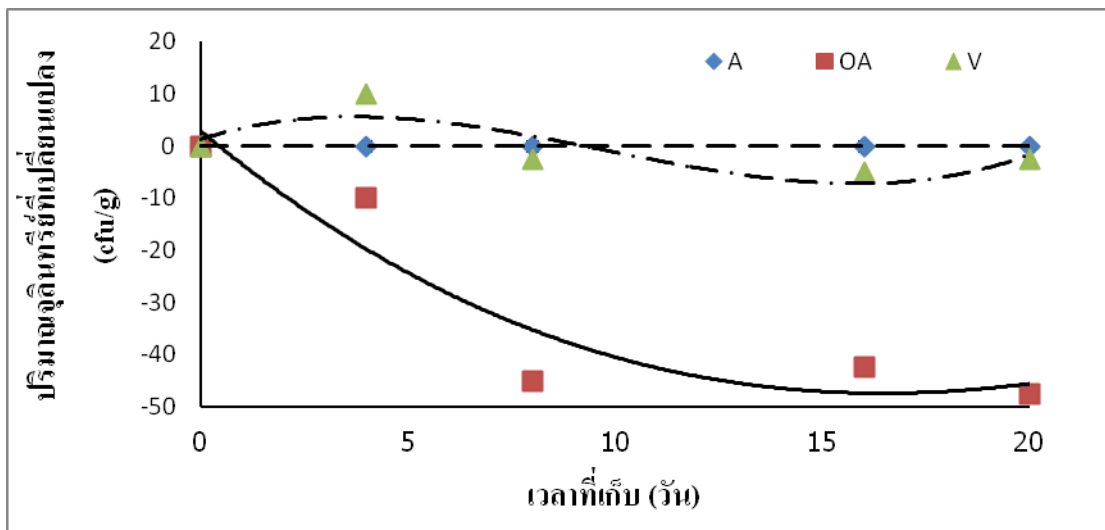
รูปที่ 3.12 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C และสถานะบรรจุต่อการประเมินความชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างที่บรรจุในถุง EVOH

3.3.8 การบรรจุในถุง PVDC/OPP/PE

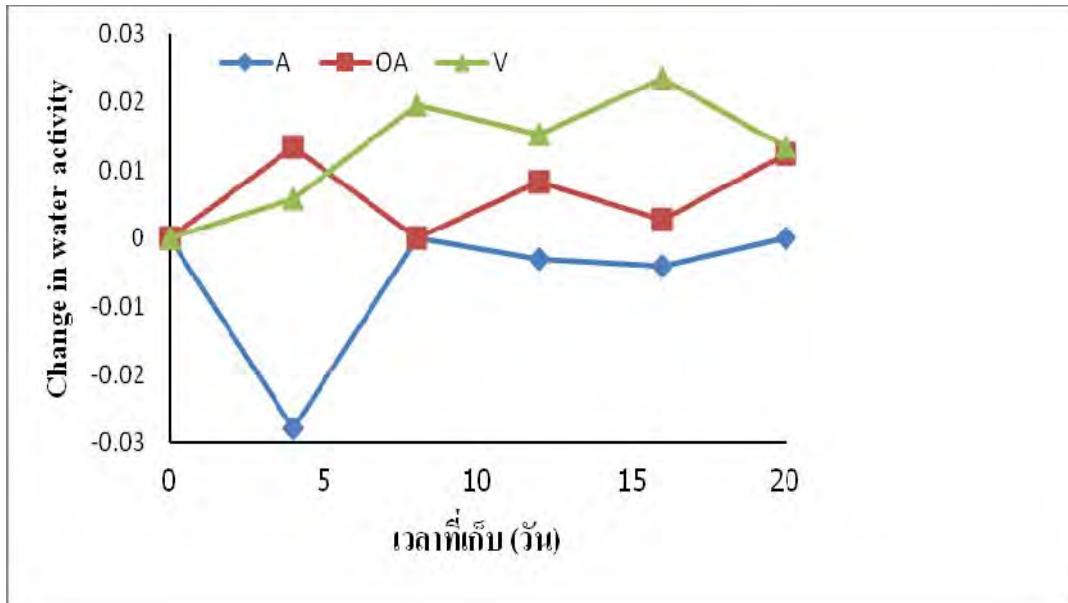
สภาวะการบรรจุที่ศึกษาคือแบบ A แบบ OA และแบบ V ผลการทดลองพบว่าค่า TBA number ปริมาณ จุลินทรีย์และ water activity ของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (เวลาที่เก็บ 0 วัน) ที่สภาวะบรรจุแบบต่างๆไม่เท่ากัน ทั้งนี้ เนื่องมาจากการผลิตเป็นการผลิตแบบกะ อย่างไรก็ตามสภาวะการบรรจุทั้งสามแบบให้ค่า TBA number และ ปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าค่าที่ระดับวิกฤต นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ก็ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบ OA และ แบบ V มีปริมาณ *E. coli* ต่ำกว่า 3 MPN ตลอดเวลาที่เก็บ และไม่พบยีสต์และราในวันสุดท้ายของการเก็บ 20 วัน แสดงว่าผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับได้ตลอดเวลาที่เก็บ 20 วัน เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA number ปริมาณจุลินทรีย์และ water activity ที่เวลาเก็บต่างๆ โดยพิจารณาจากความแตกต่าง (หรือผลลบ) ของค่าเหล่านี้ ที่เวลาเก็บต่างๆกับค่าเหล่านี้ที่วันผลิต (เวลาเก็บ 0 วัน) พบว่าการบรรจุแบบ OA ทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า TBA number ตามเวลาที่เก็บน้อยที่สุดตลอดเวลาที่เก็บ (รูปที่ 3.13) ส่วนการบรรจุแบบ V นั้นการเพิ่มของค่า TBA number ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับการบรรจุแบบ OA ในช่วง 12 วันแรกที่ เก็บ หลังจากนั้นค่านี้เพิ่มขึ้นตามเวลาดำวยอัตราที่สูงกว่าการบรรจุในสภาวะ OA มาก ส่วนการบรรจุแบบ A ให้การ เพิ่มขึ้นของค่า TBA number ตามเวลาที่เก็บสูงและเร็วที่สุด รูปที่ 3.14 แสดงว่าการบรรจุแบบ A และ V ไม่มีการ เปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ตามเวลาที่เก็บน้อยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนการบรรจุ แบบ OA ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงตามเวลาที่เก็บถึงวันที่ 8 ของการเก็บ หลังจากนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง บ่ง ว่าการบรรจุแบบ OA ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีเนื่องจากสารดูดซับออกซิเจนที่บรรจุภายในบรรจุภัณฑ์ พร้อมกับผลิตภัณฑ์สามารถลดออกซิเจนได้ต่ำกว่า 0.1 % ซึ่งการบรรจุแบบ V ทำไม่ได้ เพราะยังมีออกซิเจนที่ หลงเหลืออยู่ในรูปพรุนของอาหาร ดังนั้นหากต้องการเก็บนานๆ จึงต้องเลือกสารดูดซับออกซิเจนปริมาณที่สามารถ ดูดซับออกซิเจนได้ทั้งหมด การบรรจุแบบนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีรูปพรุนและสามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ ง่าย เช่นมีปริมาณไขมันสูงและมีPolyunsaturated fatty acid (PUFA) ที่หืนง่าย รูปที่ 3.15 แสดงว่าการบรรจุ แบบ OA ให้การเปลี่ยนแปลงของ water activity ของผลิตภัณฑ์ตามเวลาที่เก็บต่างๆต่ำสุด ผลการทดลองนี้สรุป ได้ว่าการบรรจุแบบ OA ดีที่สุด และข้อดีอีกอย่างสำหรับการบรรจุแบบ OA คือใช้เงินทุนต่ำ สามารถใช้เครื่องปิด ผนึกแบบมือกด ซึ่งมีราคา 2000-3000 บาท เท่านั้น และสารดูดซับออกซิเจนมีราคาของละประมาณ 60 สตางค์ ข้อเสียของการบรรจุแบบ OA (เช่นเดียวกันกับการบรรจุแบบ A และ GP) สำหรับผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องอย่างซีอิ๊วแบบ ญูปุ่นคือขึ้นปลาสสามารถขยับได้ในถุง เนื้อจึงอาจแตกหลุดไม่เป็นชิ้นสวยได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใส่ถาดที่มี ขนาดพอดีขึ้นปลาและมีผนังสูง



รูปที่ 3.13 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°C และสถานะบรรจุต่อค่าดัชนีความหืนที่เปลี่ยนแปลง ของผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างัที่บรรจุในถุง PVDC/OPP/PE



รูปที่ 3.14 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°C และสถานะบรรจุต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างัที่บรรจุในถุง PVDC/OPP/PE



รูปที่ 3.15 ผลของเวลาที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°C และสภาวะบรรจุต่อ water activity ที่เปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปลากระพงขาวอย่างที่บรรจุในถุง PVDC/OPP/PE

3.4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ปัจจัยในการผลิตปลากระพงอย่างที่เลือกใช้ซึ่งประเมินจากผลการทดลองข้างต้นทั้งหมด คือ หมักปลาด้วยเกลือป่นเป็นเวลา 15 นาที ที่ 4 °C โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเกลือป่นต่อปลาที่ 0.1:4 แล้วนำปลาอย่างนั้นที่ 200 °C แล้วอบที่ 150°C โดยเวลาอย่างและอบขึ้นอยู่กับขนาดของปลาครั้งนี้ ถ้าน้ำหนักปลากระพงขาวอยู่ในช่วง 175.31±12.37 กรัม ให้ใช้เวลาในการย่างข้างละ 8 นาที และอบ 24 นาที แต่หากน้ำหนักปลากระพงขาวอยู่ในช่วง 95.95±17.52 กรัม ให้ใช้เวลาในการย่างข้างละ 7 นาที และอบ 18 นาที

การบรรจุผลิตภัณฑ์ปลากระพงอย่างซีอิ๊วแบบญี่ปุ่นในถุง EVOH โดยการบรรจุแบบ A, V และ GP ที่สัดส่วน $N_2:CO_2:O_2 = 40:59:1$ หรือในถุง PVDC/OPP/PE โดยการบรรจุแบบ A, OA และ V แล้วเก็บที่ 4 °C นั้นให้ค่า TBA ต่ำกว่าระดับวิกฤต คือ 3 mg MDA ต่อเนื้อปลา 1 kg และปริมาณจุลินทรีย์มีค่าไม่เกิน 5 log cfu/g ซึ่งเป็นค่าพื้นฐานขีดจำกัดการยอมรับทางจุลชีววิทยา ตามมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ตลอดเวลาที่เก็บ 15 วัน โดยการบรรจุในถุง EVOH นั้น การบรรจุแบบ GP ให้ค่า TBA ต่ำที่สุด รองลงมาคือการบรรจุแบบ V แต่การบรรจุแบบ V ให้ปริมาณจุลินทรีย์ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นการบ่งบอกประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด ผลทางประสาทสัมผัสเป็นตัวกำหนดการยอมรับของผู้บริโภคและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ปลากระพงอย่าง ซึ่งพบว่า การบรรจุแบบ GP และ V ให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นานที่สุด ถึง 14 วัน หลังจากนั้นผู้บริโภคไม่ยอมรับลักษณะเนื้อสัมผัส แต่เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมและคะแนนเฉลี่ยความชอบของสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสพบว่าสภาวะการบรรจุแบบ GP มีคะแนนสูงกว่าการบรรจุแบบ V ส่วนการบรรจุในถุง PVDC/OPP/PE โดยการบรรจุแบบ OA เหมาะสมที่สุดสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้และการเพิ่มของค่า TBA ตามเวลาที่เก็บต่ำและช้าที่สุด

ข้อเสนอแนะ: ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตามเวลาที่เก็บสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุง PVDC/OPP/PE และสถานะการบรรจุแบบ OA

3.5 เอกสารอ้างอิง

- ชฎาพร นุชจันทรีด. **อันตรายจากอาหารปิ้งย่างทอด**. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=2185. [2551, ธันวาคม 3]
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. **การบรรจุอาหาร (Food Packaging)**. เอส.พี.เอ็ม.การพิมพ์, กทม.
- นิธิยา รัตนพานนท์. 2549. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์. 82: 1442.
- แฮร์ส ออฟ แพค คอร์ปอเรชั่น จำกัด, บริษัท. **Tecnoplast**. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา <http://tecnoplastcorp.com/materials/ppevhpp.htm>. [2552, มีนาคม 2]
- ACMSF. 1995. **Advisory Committee on the Microbiological Safety of Foods Annual Report**. Her Majesty's Stationery Office, London.
- BAM. 2001. **Bacteriological Analytical Manual Online Edition 2001 (US-FDA), Total Plate Count or Aerobic Chapter 3**.
- Brown, W.E. 1992. **Plastics in food packaging: properties, design and fabrication**. Marcel Dekker, Inc. New York.
- CCFRA. 1992. **The Microbiological Safety of Sous-Vide Processing**. Campden & Chorleywood Food Research Association. Technical Manual No. 39.
- Connell, J.J. 1990. **Control of Fish Quality**. 3rd ed. Fishing News Books, UK.
- Dalgaard, P., Gram, L. and Huss, H.H. 1993. Spoilage and shelf-life of cod fillets packed in vacuum or modified atmospheres. **International Journal of Food Microbiology**. 19: 283–294.
- Dhananjaya, S. and Stroud, G.D. 1994. Chemical and sensory changes in haddock and herring stored under modified atmospheres. **International Journal Food Science and Technology**. 29: 575–583.
- Ersoy B. and Ozeren A. 2009. The effect of cooking methods on mineral and vitamin contents of African catfish. **Food Chemistry**. 115: 419–422.
- European Parliament and Council Directive. 1995. **No 95/2/EC on food additives other than colours and sweeteners of 20 February 1995**.
- Fernández K., Aspe E. and Roeckel M. 2009. Shelf-life extension on fillets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) using natural additives, superchilling and modified atmosphere packaging. **Food Control**. 20: 1036–1042.
- FSA. 2003. **Food Standards Agency: Guidance on the safety and shelf-life of vacuum and modified atmosphere packed chilled foods (draft document)**.

- Fujita, T. 1990. Seafood products. In: **Food Packaging**, T. Kadoya (ed.). Academic Press, New York.
- Ghazala S. 1994. Packaging for seafood. In: **Fisheries Processing**, A.M. Martin (ed.). Cambridge University Press, London.
- Hahn-Hägerdal, B. 1986. Water activity: a possible external regulator in biotechnical processes. **Enzyme and Microbial Technology**. 8: 322-327.
- Henryon, D.K. 1989. **Food packaging technology**. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pennsylvania.
- Hoz, L., Lopez-Galvez, D.E., Fernandez, M., Hierro, E. and Ordonez, J.A. 2000. Use of carbon dioxide enriched atmospheres in the refrigerated storage (2 °C) of salmon (*Salmo salar*) steaks. **European Food Research and Technology**. 210: 179–188.
- Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M.O., Nickelson II, R., and Vanderzant, C. 1982. Microbiological and chemical changes during storage of swordfish (*Xiphias gladius*) steaks in retail packages containing CO₂-enriched atmospheres. **Journal of Food Protection**. 45: 1197–1203, 1207.
- Masniyom, P., Benjakul, S. and Visessanguan, W. 2002. Shelf-life extension of refrigerated seabass slices under modified atmosphere packaging. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 8: 873–880.
- Masniyom P., Benjakul S. and Visessanguan W. 2005. Synergistic antimicrobial effect of pyrophosphate on *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157 in modified atmosphere packaged and refrigerated seabass slices. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**. 39: 302–307.
- Mottram, D.S., Wedzicha, B.L. and Dodson, A.T. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. **Nature**. 419 (6906): 448–449.
- Muratore, G. and Licciardello, F. 2005. Effect of vacuum and modified atmosphere packaging on the shelf-life of liquid-smoked swordfish (*Xiphias gladius*) slices. **Journal of Food Science**. 70: 359–363.
- Nishimoto, J., Suwetja, I.K. and Miki, H. 1985. **Estimation of keeping freshness period and practical storage life of mackerel muscle during storage at low temperatures**. Japan: Kagoshima University.

- Oberlender, V., Hanna, M.O., Miget, R., Vanderzant, C. and Finne, G. 1983. Storage characteristics of fresh swordfish steaks stored in CO₂-enriched controlled (flow-through) atmospheres. **Journal of Food Protection**. 46: 434–440.
- Ordóñez, J.A., López-Galvez, D.E., Fernández, M., Hierro, E. and de la Hoz, L. 2000. Microbial and physicochemical modifications of hake (*Merluccius merluccius*) steaks stored under carbon dioxide enriched atmospheres. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 80: 1831–1840.
- Özogul, F., Polat, A. and Özogul, Y. 2004. The effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on chemical, sensory and microbiological changes of sardines (*Sardina pilchardus*). **Food Chemistry**. 85: 49–57.
- Özogul, F., Taylor, K.D.A., Quantic, P. and Özogul, Y. 2000. Chemical, microbiological and sensory evaluation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored in ice, modified atmosphere and vacuum pack. **Food Chemistry**. 71: 267–273.
- Pantazi, D., Papavergou, A., Pournis, N., and Kontominas, M.G. 2008. Shelf-life of chilled fresh Mediterranean swordfish (*Xiphias gladius*) stored under various packaging conditions: Microbiological, biochemical and sensory attributes. **Food Microbiology**. 25: 136-143.
- Parry, R. T. 1993. **Principles and application of modified atmosphere packaging of food**. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Peck, M.W., Goodburn, K.E., Betts, R.P. and Stringer, S.C. 2006. *Clostridium botulinum* in vacuum packed (VP) and modified atmosphere packed (MAP) chilled foods. **Final Project Report (B13006)** July 2006. IFR. http://www.ifr.ac.uk/info/science/foodborne pathogens/docs/Final_project_report0707.pdf [2012, 6 January].
- Piergiovanni, L. 1991. Food preservation and packaging, in **Eurofood trends and technology**, (ed. Lake C.). IBC Business Publishing, London.
- Pearson, D. 1976. **The Chemical Analysis of Foods**. 7th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Pournis, N., Papavergou, A., Badeka, A., Kontominas, M.G. and Savvaidis, I.N. 2005. Shelf-life extension of refrigerated Mediterranean mullet (*Mullus surmuletus*) using modified atmosphere packaging. **Journal of Food Protection**. 68: 2201–2207.
- Ravi-Sankar, C.N., Lalitha K.V., Jose L., Manju S. and Gopal T.K.S. 2008. Effect of packaging atmosphere on the microbial attributes of pearlspot (*Etroplus suratensis* Bloch) stored at 0–2 °C. **Food Microbiology**. 25:518 – 528.
- Robertson, G. L. 1993. **Food Packaging: Principles and Practice**. 6th ed. Marcel Dekker, New York.

- Ruiz-Capillas, C. and Moral, A. 2001. Residual effect of CO₂ on hake (*Merluccius merluccius* L.) stored in modified and controlled atmospheres. **European Food Research and Technology**. 212: 413–420.
- Sivertsvik, M., Jeksrud, W.K. and Rosnes, J.T. 2002. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products-significance of microbial growth activities and safety. **International Journal of Food Science and Technology**. 37: 107–127.
- Skypack India Pvt Ltd. 2008. **How Packaging has changed**. <http://www.5layer.com>. [2008, December 22].
- Stammen, K., Gerdes, D. and Caporaso, F. 1990. Modified atmosphere packaging of seafood. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 29: 301–331.
- Stansby, M.E. 1963. **Industrial Fishery Technology**. New York: R.E. KriegerPublishing.
- Statham, J.A. and Bremner, H.A. 1989. Shelf-life extension of packaged seafoods—a summary of a research approach. **Food Australia**. 41 (2): 614– 620. Online <http://exxonmobilchemical.ides.com>
- Türkkan, A.U., Cakli, S. and Kilinc, B. 2008. Effects of cooking methods on the proximate composition and fatty acid composition of seabass (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758). **Food and Bioproducts Processing**. 86: 163-166.

บทที่ 4

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลากระพงแบบญี่ปุ่น (คามาโบโกะ)

4.1 บทนำ

ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาแบบญี่ปุ่น (คามาโบโกะ) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากซูริมิ นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารญี่ปุ่นและนำมารับประทานเล่นได้ โดยอาจไม่ต้องนำมาปรุงก่อน ในปัจจุบันประสบปัญหาขาดแคลนวัตถุดิบปลาทะเลสำหรับผลิตซูริมิ เนื่องจากต้นทุนการทำประมงสูงขึ้น ทำให้ราคาปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบสูงขึ้นด้วย ปลาที่ใช้ผลิตซูริมิควรมีกล้ามเนื้อสีขาว โปรตีนสูงและไขมันต่ำ

ปลากระพงขาวซึ่งเลี้ยงในบ่อดิน มักจะประสบปัญหากลิ่นโคลนในเนื้อปลา ราคาปลาไม่มีเสถียรภาพ และมีแหล่งจำหน่ายผลผลิตน้อย ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำปลากระพงขาวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับปลากระพงขาวที่มีปัญหาดังกล่าว โดยศึกษาสูตรและสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต แล้วเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาด รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ ปลากระพงขาวที่เลี้ยงในบ่อดินจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนปลาที่ใช้ผลิตซูริมิในปัจจุบัน

4.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

4.2.1 วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์

วัตถุดิบ

ปลากระพงขาว จากมูลนิธิชัยพัฒนา เก็บที่อุณหภูมิ -18°C และปลากระพงขาวสดจากตลาดสามย่าน

สารเคมีและส่วนผสมอื่นๆ

สำหรับผลิตซูริมิและคามาโบโกะ

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| - D-sorbitol powder | Lab grade |
| - Tetra sodium pyrophosphate (TSPP) | Food grade |
| - น้ำตาลทราย | จากบริษัทมิตรผล จำกัด |
| - เกลือบริโภค เสริมไอโอดีน | ตรา ประทีป |
| - แป้งมันสำปะหลัง | ตรา ปลาไทย 5 ดาว |
| - น้ำแข็ง | |

สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- Peptone water
- Plate count agar (PCA)

เครื่องมือและอุปกรณ์

สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- Texture analyzer model TA-XT2, Stable Micro System, Surrey, UK
- เครื่องวัดสี, แหล่งแสง D65 Minolta CR-300 Series, Japan

สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- เครื่องวัด a_w Aqua lab, series 3
- ตู้อบลมร้อน Binder รุ่น ED
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง model A 200s, Sartorius, Germany

สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- เครื่อง stomacher
- ถัง stomacher
- ตู้บ่มเชื้อ
- จานเพาะเชื้อ
- หลอดทดลอง
- ปีเปต

สำหรับผลิตซูริมิและคามาโบโกะ

- เครื่องบดเนื้อ ที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm. A-9070, Kenwood, USA
- เครื่องผสมอาหาร และหัว K A-9070, Kenwood, USA
- เครื่องสับผสม Moulinex
- เครื่องชั่ง
- Cryogenic freezer
- ตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ -18°C model MDF-U5411, SANYO, Japan
- ตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C model SJ-D51H-GY
- Water bath model MS/2, MGW Lauda, France
- เทอร์โมมิเตอร์
- มีด
- เขียง
- กะละมัง

- ผ้าขาวบาง
- ถุงพลาสติก PE
- ถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ขนาด 15x20 เซนติเมตร² หนา 80 ไมโครเมตร

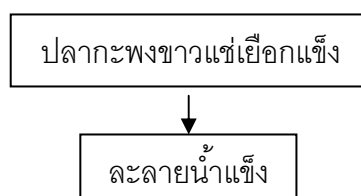
4.2.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

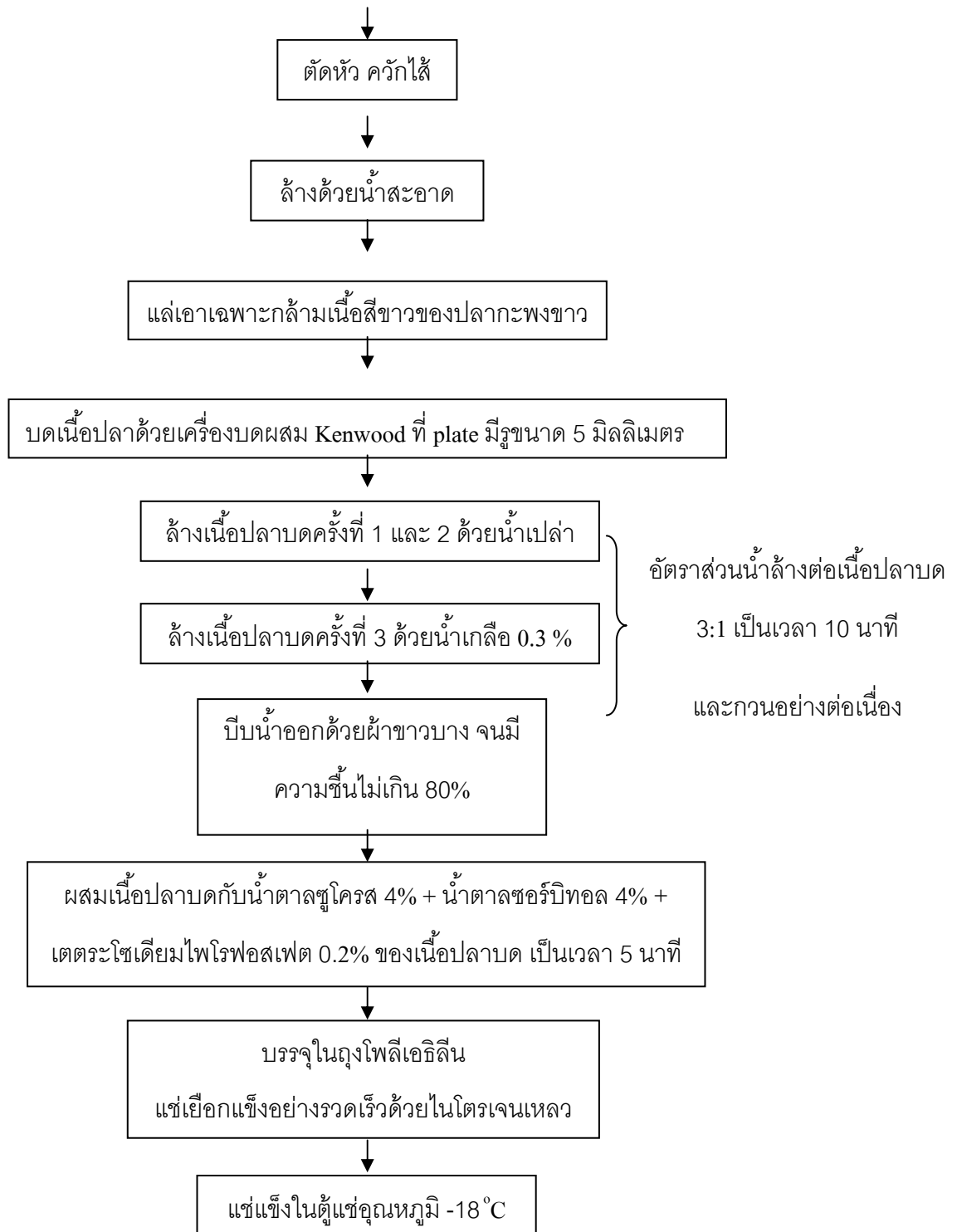
4.2.2.1 การเตรียมซูริมิ

เตรียมซูริมิโดยดัดแปลงวิธีจาก Lee (1984) โดยละลายปลากระพงขาวที่เก็บที่อุณหภูมิ -18°C จนน้ำแข็งละลายหมด ล้างให้สะอาด ตัดหัว ควักไส้ ล้างด้วยน้ำสะอาด แล้เอาเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อขาว บดด้วยเครื่องบดผสมให้ละเอียด ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 10°C (แช่เครื่องบดผสมและเนื้อปลาขณะที่ไม่ได้บดในตู้เย็น) ล้างเนื้อปลาบด (minced fish) ด้วยน้ำเย็น 2 ครั้ง ตามด้วยน้ำเกลือ 0.3% โดยผสมน้ำแข็งในน้ำล้างเพื่อให้อุณหภูมิระหว่างล้างไม่เกิน 10°C อัตราส่วนน้ำล้างต่อเนื้อปลาบดเป็น 3:1 โดยน้ำหนัก แต่ครั้งใช้เวลา 10 นาที และกวนอย่างต่อเนื่อง แยกเนื้อปลาบดที่ล้างแต่ละครั้งโดยบีบด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น ผสมเนื้อปลาบดกับสารป้องกันการสูญเสียธรรมชาติของโปรตีน (cryoprotectant) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส (sucrose) 4% ซอร์บิทอล (sorbitol) 4% และเตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต (Tetra sodium pyrophosphate) 0.2% (w/w) เป็นเวลา 5 นาที ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 10°C บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (PE) ถุงละ 1 กิโลกรัม แช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วด้วยไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บในตู้แช่ที่อุณหภูมิ -18°C (รูปที่ 4.1)

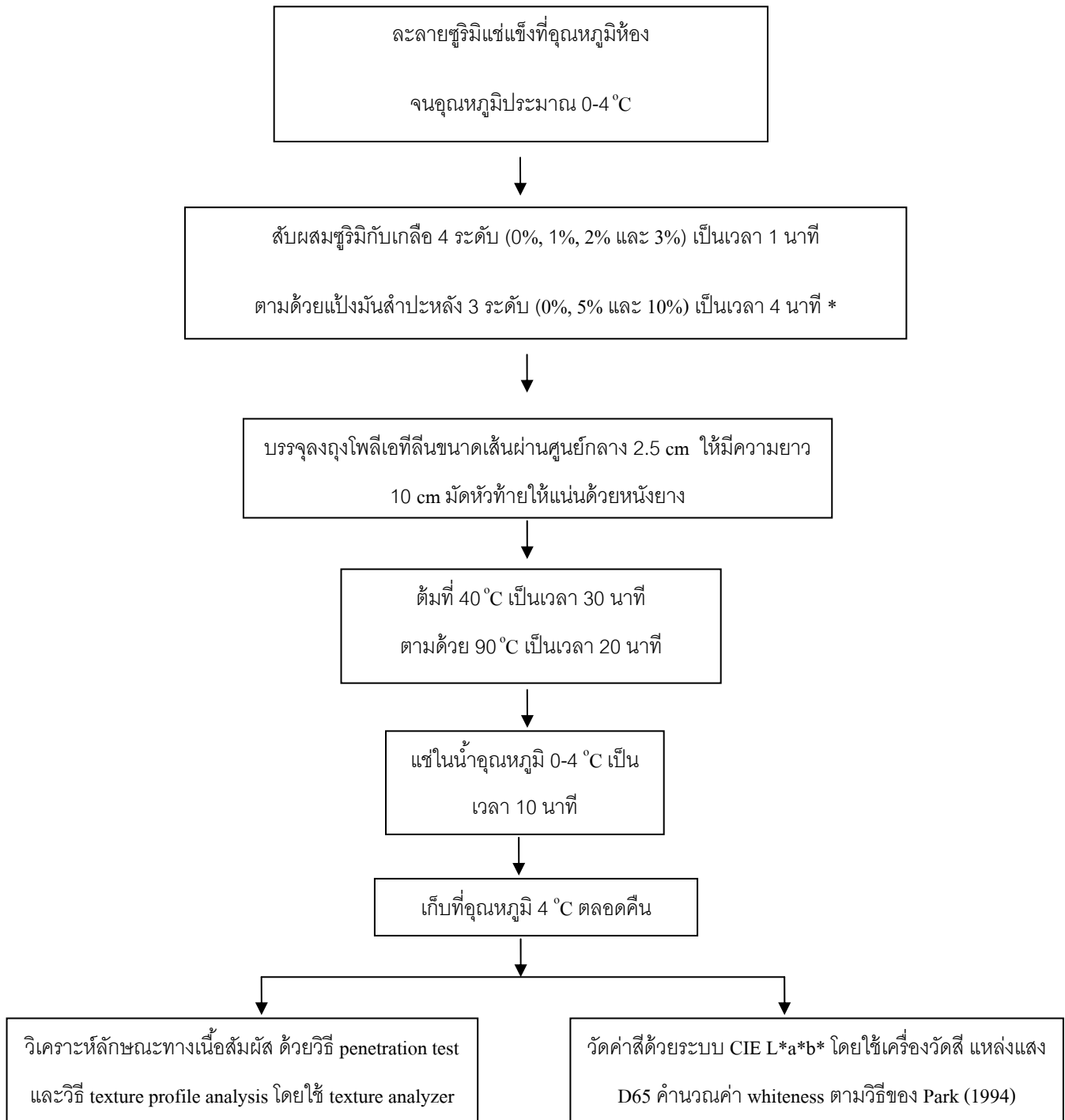
4.2.2.2 การศึกษาอิทธิพลของเกลือและแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพทางกายภาพของคามาโบโกะจากปลากระพงขาว

ละลายซูริมิแช่แข็งที่อุณหภูมิห้อง จนอุณหภูมิประมาณ $0-4^{\circ}\text{C}$ สับผสมซูริมิกับเกลือนาน 1 นาที ตามด้วยแป้งมันสำปะหลังนาน 4 นาที ด้วยเครื่องสับผสม โดยแปรปริมาณเกลือเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2 และ 3% (w/w) และปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ ได้แก่ 0, 5 และ 10% (w/w) (รวมทั้งหมด 12 สูตร) ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 10°C โดยแช่เครื่องสับผสมและซูริมิขณะที่ไม่ได้บดในตู้เย็นหรือสับผสมน้ำแข็ง แล้วทิ้งก่อนการสับผสมซูริมิ วิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่างซูริมิตามวิธี AOAC (2006) ปรับความชื้นของตัวอย่างโดยเติมน้ำแข็งจนมีความชื้น 78-80 % บรรจุลงถุงโพลีเอทิลีนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm ให้มีความยาวประมาณ 10 cm มัดหัวท้ายให้แน่นด้วยหนังยาง จากนั้นให้ความร้อนแบบ 2-step heating โดยต้มที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วต้มที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 20 นาที ใน water bath และแช่ในน้ำผสมน้ำแข็งอุณหภูมิ $0-4^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 10 นาที เก็บที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดคืน (รูปที่ 4.2)





รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการเตรียมซูริมิสำหรับทดลอง



* วิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่างซูริมิตามวิธี AOAC (2006) เติมน้ำแข็งจนมีความชื้นประมาณ 78-80 %

รูปที่ 4.2 การศึกษาอิทธิพลของเกล็ดและแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพทางกายภาพของคามาโบโกะจากปลากะพงขาว

- ค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) โดยวิธี penetration test ดัดแปลงจากวิธีของ Benjakul และคณะ (2002) นำคามาโบโกะออกจากตู้เย็น วางทิ้งไว้ เพื่อปรับอุณหภูมิตัวอย่างให้เท่ากับห้องที่มีอุณหภูมิ 25 °C ก่อน วัดค่า force และ deformation ด้วย texture analyzer โดยใช้หัววัดแบบกดปลายมน (spherical plunger) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 mm. ตัวอย่างจะถูกกดด้วยหัวกดจนกระทั่งผิวหน้า

แตก น้ำหนักที่กด คือ แรง (force) หรือค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) แสดงค่าเป็นกรัม ส่วน ความลึกหรือระยะทางที่หัวกดตกลงในตัวอย่างจนแตกคือ deformation หรือค่าความยืดหยุ่นของเจล แสดงค่าเป็นเซนติเมตร ในแต่ละ treatment จะวัด 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาคำนวณค่า gel strength ดังนี้

$$\text{gel strength(g.cm)} = \text{force (g)} \times \text{deformation (cm)}$$

- ค่าความแข็ง (hardness) ความสามารถเกาะรวมกัน (cohesiveness) และความยืดหยุ่น (springiness) โดยวิธี texture profile analysis (TPA) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยเครื่องจะ กดลงบนตัวอย่าง 2 ครั้ง และแสดงผลในรูปของกราฟระหว่างค่าแรง (g) และเวลา (sec.)

ความแข็ง (hardness) ได้จากความสูงของ force peak ที่ได้จากการวัดครั้งแรกในความหมายทางประสาทสัมผัส หมายถึงแรงที่กระทำต่ออาหารทำให้อาหารแตกหรือแยกออก

- ความสามารถเกาะรวมกัน (cohesiveness) เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรกกับการกด ครั้งที่ 2 ในความหมายทางประสาทสัมผัส หมายถึงความแข็งแรงของพันธะภายในที่เกิดขึ้นในอาหารแล้ว ทำให้อาหารทนต่อการเปลี่ยนรูปได้ถึงระยะหนึ่ง ก่อนที่มันจะขาดแตกออกจากกันเป็นชั้นย่อยเมื่อมีแรง ภายนอกมากระทำ และความยืดหยุ่น (springiness) เป็นระยะทางที่อาหารคืนตัวสู่ความสูงเดิมในระหว่าง เวลาที่จบการทดสอบในครั้งที่ 1 และเริ่มการทดสอบในครั้งที่ 2 ในความหมายทางประสาทสัมผัส หมายถึงระดับความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิมเมื่อมีการถอนแรงกดออกไปจากตัวอย่าง อาหารที่ทดสอบ
- ความขาว (whiteness) วิเคราะห์โดยวัดสี ด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE L*a*b* แหล่งกำเนิดแสง D65 มุม การมอง 10° คำนวณค่า whiteness ตามวิธีของ Park (1994)

$$\text{Whiteness (\%)} = L^* - 3b^*$$

วางแผนการทดลองแบบ 4x3 factorial in Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์อิทธิพลของเกลือและแป้งมันสำปะหลังที่มีต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสและสีของคามาโบโกะ วิเคราะห์ผลด้วย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS เลือกผลิตภัณฑ์คามาโบโกะที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ วิเคราะห์คุณภาพตามที่กล่าวมาเพื่อเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวอย่างที่เหมาะสม

4.2.2.3 การศึกษาอิทธิพลของเกลือและแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของคามาโบโกะจากปลา กะพงขาว

เตรียมตัวอย่างโดยผลิตคามาโบโกะดังรูปที่ 4.2 แต่ปรับปริมาณเกลือเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1 และ 2% และ ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ ได้แก่ 3, 5 และ 7% รวมทั้งหมด 6 สูตร วิเคราะห์คุณภาพคามาโบโกะและ ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในห้องตลาด 2 ยี่ห้อ ดังนี้

- ค่า gel strength โดยวิธี penetration test ดัดแปลงตามวิธีของ Benjakul และคณะ (2002)
- ค่า hardness, cohesiveness และspringiness โดยวิธี TPA
- ความขาว (whiteness) วิเคราะห์โดยวัดสี ด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE L*a*b*

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial with 2 controls in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

-วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรสของ ปลา กลิ่นรสโดยรวม ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ด้วยมาตรา Hedonic แบบ 7 จุด (7 point Hedonic scale) และประเมินความเข้มของรสเค็ม รสหวาน ความแข็ง ความเหนียวและความยืดหยุ่นด้วย 0-10 line scale ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ที่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ ผู้ทดสอบแต่ละคนทดสอบตัวอย่าง ทั้ง 6 ตัวอย่างแบบสุ่ม ตัวอย่างมีลักษณะครึ่งวงกลมรัศมี 1.25 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น วางแผนการ ทดลองแบบ 2x3 factorial in RCBD วิเคราะห์ผลด้วย ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสม

4.2.2.4 การศึกษาอุณหภูมิในการให้ความร้อนครั้งแรกเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตคามาโบโกะ จากปลา กะพงขาว

เตรียมตัวอย่างโดยผลิตคามาโบโกะ ตามสูตรที่เลือกได้ แต่แปรอุณหภูมิในการต้มครั้งแรกเป็น 5 ระดับ (30, 35, 40, 45 และ 50 °C) ต้มเป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยอุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 20 นาที

วิเคราะห์คุณภาพคามาโบโกะและผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในห้องตลาด 2 ยี่ห้อ ดังนี้

- ค่า gel strength โดยวิธี penetration test ดัดแปลงตามวิธีของ Benjakul และคณะ (2002)
- ค่า hardness, cohesiveness และ springiness โดยวิธี TPA -
- ความขาว (whiteness) วิเคราะห์โดยวัดสี ด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE L*a*b* -

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนครั้งแรกต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและความขาวและเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากห้องตลาด เลือกวิเคราะห์คุณภาพคามา โบโกะที่แตกต่างกัน 2 สภาวะและผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในห้องตลาด 1 ยี่ห้อ ดังนี้

- วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ด้านความชอบลักษณะเนื้อสัมผัส โดยรวม ด้วยมาตรา Hedonic แบบ 7 จุด (7 point Hedonic scale) และประเมินความเข้มของความแข็ง ความเหนียวและความยืดหยุ่นด้วย 0-10 line scale ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ที่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ ผู้ทดสอบแต่ละคนทดสอบตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างแบบสุ่ม วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ผลด้วย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS

4.2.2.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ

บรรจุผลิตภัณฑ์คามาโบโกะที่ผลิตตามสูตรและสภาวะที่ดีที่สุดที่เลือกได้จากขั้นตอนข้างต้นในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ขนาด 15x20 เซนติเมตร² หนา 80 ไมโครเมตร ถุงละ 1 ชิ้น ด้วยสภาวะสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นนำมาวิเคราะห์ดังนี้

- วิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธี pour plate count ในวันที่ 0, 4, 7, 10 และ 12 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
- วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของตัวอย่างคามาโบโกะในวันที่ 0, 3, 6, 10 และ 13 ดังนี้

ค่า gel strength โดยวิธี penetration test ดัดแปลงตามวิธีของ Benjakul และคณะ (2002), ค่า hardness, cohesiveness และspringiness โดยวิธี TPA, ความขาว (whiteness) วิเคราะห์โดยวัดสีด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE L*a*b* ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลด้วย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS

4.3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของเกลือและแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพทางกายภาพของคามาโบโกะจาก

ปลากะพงขาว

ผลิตภัณฑ์คามาโบโกะในท้องตลาด อาจเติมเกลือและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของคามาโบโกะ โดยเฉพาะลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ การศึกษานี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของเกลือและแป้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตต่อไป

เตรียมตัวอย่างคามาโบโกะ 12 สูตร โดยแปรปริมาณเกลือ 4 ระดับ คือ (0%, 1%, 2% และ 3%) และแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ คือ (0%, 5% และ 10%) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้ texture analyzer โดยพิจารณาจากค่า gel strength ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี penetration test และพิจารณาค่า hardness, cohesiveness และ springiness ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) วิเคราะห์ความขาวโดยวัด

สีด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE L*a*b* แล้วคำนวณเป็นค่า whiteness ตามวิธีของ Park (1994) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1-4.5

ตารางที่ 4.1 ค่า Gel strength ของคามาโบโกะที่มีเกลือและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

เกลือ (%) \ แป้ง (%)	แป้ง (%)		
	0	5	10
0	438.42 ^a ± 72.59	540.89 ^a ± 28.67	779.44 ^b ± 22.29
1	449.10 ^a ± 78.53	677.29 ^b ± 67.81	1073.77 ^c ± 159.65
2	419.90 ^a ± 11.17	715.17 ^b ± 53.06	1079.10 ^c ± 60.15
3	477.04 ^a ± 46.03	795.98 ^b ± 50.31	1086.13 ^c ± 82.20

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เกลือและแป้งมีอิทธิพลร่วมต่อค่า gel strength หรือความแข็งแรงของเจลอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ตัวอย่างคามาโบโกะมีค่า gel strength สูงขึ้นตามลำดับ แต่สูตรที่ไม่ได้ใส่แป้ง (แป้ง 0%) การเพิ่มปริมาณเกลือไม่มีผลต่อค่า gel strength อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสูตรที่ใส่แป้ง 5% และ 10% พบว่า การใส่เกลือทำให้ค่า gel strength สูงขึ้น แต่ปริมาณที่ใส่ไม่มีผลต่อค่า gel strength

ตารางที่ 4.2 ค่า Hardness ของคามาโบโกะที่มีเกล็ดและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

เกล็ด (%) \ แป้ง (%)	แป้ง (%)		
	0	5	10
0	13768.30 ^a ± 1025.5	17054.20 ^b ± 981.4	25977.67 ^d ± 334.0
1	14557.97 ^a ± 289.4	16669.83 ^b ± 464.7	24900.70 ^d ± 3066.4
2	14430.37 ^a ± 371.7	18527.03 ^b ± 67.4	26068.80 ^d ± 2030.0
3	13504.80 ^a ± 306.1	20950.70 ^c ± 127.4	24231.63 ^d ± 913.0

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่า เกล็ดและแป้งมีอิทธิพลร่วมต่อค่า hardness อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ตัวอย่างจะมีค่า hardness เพิ่มขึ้นตามลำดับหรือคามาโบโกะมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น แต่สูตรที่ไม่ได้ใส่แป้ง(แป้ง 0%) และสูตรที่ใส่แป้ง 10% การเพิ่มปริมาณเกล็ดไม่มีผลต่อค่า hardness อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสูตรที่ใส่แป้ง 5% เมื่อเพิ่มปริมาณเกล็ดเป็น 3% จะให้ค่า hardness สูงขึ้น

ตารางที่ 4.3 ค่า Cohesiveness ของคามาโบโกะที่มีเกล็ดและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

เกล็ด (%) \ แป้ง (%)	แป้ง (%)		
	0	5	10
0	0.42 ^a ± 0.001	0.42 ^a ± 0.010	0.45 ^{cde} ± 0.008
1	0.44 ^{bc} ± 0.001	0.44 ^{bcd} ± 0.011	0.46 ^{def} ± 0.007
2	0.44 ^b ± 0.010	0.44 ^{bcd} ± 0.002	0.46 ^f ± 0.003
3	0.44 ^b ± 0.004	0.45 ^{bc} ± 0.005	0.46 ^{ef} ± 0.004

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า แป้งมีอิทธิพลต่อค่า cohesiveness อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ตัวอย่างจะมีค่า cohesiveness สูงขึ้นหรือคามาโบโกะมีเนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น และเกลือมีอิทธิพลต่อค่า cohesiveness โดยการใส่เกลือทำให้ค่า cohesiveness สูงขึ้น แต่ปริมาณที่ใส่ไม่มีผลต่อค่า cohesiveness

ตารางที่ 4.4 ค่า Springiness ของคามาโบโกะที่มีเกลือและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

เกลือ (%) \ แป้ง (%)	แป้ง (%)		
	0	5	10
0	0.76 ^b ± 0.001	0.84 ^g ± 0.020	0.83 ^{fg} ± 0.018
1	0.77 ^{bc} ± 0.004	0.82 ^{ef} ± 0.004	0.88 ^h ± 0.008
2	0.76 ^b ± 0.005	0.80 ^{de} ± 0.003	0.81 ^{ef} ± 0.002
3	0.72 ^a ± 0.019	0.78 ^{cd} ± 0.022	0.81 ^{ef} ± 0.018

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่า เกลือและแป้งมีอิทธิพลร่วมต่อค่า springiness อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใส่ปริมาณแป้ง ตัวอย่างมีค่า springiness สูงขึ้นตามลำดับหรือคามาโบโกะมีเนื้อสัมผัสยืดหยุ่นขึ้น ส่วนการใส่เกลือทำให้ค่า springiness ลดลง

ตารางที่ 4.5 ค่า Whiteness ของคามาโบโกะที่มีเกลือและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

เกลือ (%) \ แป้ง (%)	แป้ง (%)		
	0	5	10
0	69.78 ^g ± 1.07	66.78 ^{cdef} ± 1.58	64.69 ^{bcde} ± 0.67
1	66.83 ^{efg} ± 1.61	65.21 ^{cdef} ± 0.15	61.18 ^{abc} ± 1.57
2	65.75 ^{efg} ± 1.68	64.80 ^{def} ± 1.29	62.15 ^a ± 1.97
3	66.27 ^{fg} ± 1.40	61.89 ^{abcd} ± 2.03	62.25 ^{ab} ± 0.83

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่า แป้งเป็นปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อค่า whiteness หรือความขาวอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ความขาวจะลดลง จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่า แป้งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล ความแข็ง ความเหนียวและความยืดหยุ่นให้แก่ผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ อธิบายได้ว่า แป้งทำหน้าที่เป็น filler ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล ซึ่งคุณสมบัตินี้จะขึ้นกับชนิดของแป้งด้วย โดยเม็ดแป้งจะรับน้ำและพองตัวเมื่อได้รับความร้อน หรือเกิด gelatinization มีความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า gel strength, hardness, cohesiveness และ springiness เพิ่มขึ้น แป้งสามารถช่วยเพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นแก่ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น สำหรับความขาวของคามาโบโกะที่ลดลง เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น น่าจะเป็นเพราะในระบบมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบและมีน้ำตาลจากแป้ง การให้ความร้อนจึงเป็นการส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา Maillard (non-enzymatic browning reaction) ทำให้ค่าความขาวลดลง

เกลือช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล ความเหนียวและความยืดหยุ่น เนื่องจากเกลือจะทำให้ ionic strength เปลี่ยนแปลง ลดเสถียรภาพของแรงดึงดูดทางประจุ (intermolecular salt-linkage) ระหว่างโมเลกุลของ myofibrillar protein ลง myofibrillar proteins ซึ่งเป็นโปรตีนที่เกิดเจลได้ดีเมื่อได้รับความร้อนจึงละลายออกมามากขึ้น เกิดเจลตีขึ้น ทำให้ค่า gel strength, cohesiveness และ springiness ของคามาโบโกะเพิ่มขึ้น

โดยรวมแล้ว อิทธิพลของแป้งชัดเจนกว่าอิทธิพลของเกลือ อาจเป็นเพราะระดับของแป้งที่แปรผันมีช่วงกว้างคือ 0-10% ดังนั้น อิทธิพลจึงมากกว่าของเกลือซึ่งแปรที่ระดับ 0-3% ส่วนอิทธิพลร่วมกันระหว่างเกลือและแป้ง อาจจะอธิบายได้ว่า เมื่อให้ความร้อนแก่คามาโบโกะ แป้งจะพองตัวอยู่ใน protein matrix และ withdraw น้ำจาก protein matrix โดยรอบ ทำให้เกิดลักษณะ firmer and slightly more cohesive gel matrix (Lee and Kim, 1986) ซึ่งเกลือช่วยสกัด myofibrillar protein ออกมา ทำให้เกิด protein matrix ดีขึ้น เกลือและแป้งจึงมีอิทธิพลร่วมต่อค่า gel strength, hardness และ springiness

หากเปรียบเทียบกับคามาโบโกะในท้องตลาด (ตารางที่ 4.6) ซึ่งยี่ห้อ B มีเกลือ 1.52% มีแป้งมันสำปะหลัง (Modified Tapioca Starch) 8.00% ส่วนยี่ห้อ A ไม่ระบุปริมาณบนฉลาก จะเห็นว่า ปริมาณแป้ง 10% ให้ค่า gel strength สูงกว่าท้องตลาดมากเกินไป จึงควรปรับปริมาณแป้งอีกครั้ง ส่วนปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น จะช่วยให้เนื้อสัมผัสดีขึ้น แต่เกลือ 3% ทำให้คามาโบโกะเค็มเกินไป จึงเลือกใช้เกลือ 1 และ 2% เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสต่อไป

ตารางที่ 4.6 ค่าเกี่ยวกับลักษณะเนื้อสัมผัสและความขาวของผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ

สูตร	Gel strength (g.cm)	Hardness (g)	Cohesiveness	Springiness	Whiteness
A	460.90 ± 64.88	20618.50 ± 1312.47	0.45 ± 0.004	0.85 ± 0.015	54.23 ± 3.27
B	570.61 ± 44.88	19361.30 ± 2927.80	0.44 ± 0.014	0.80 ± 0.014	61.07 ± 0.67

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของเกลือและแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคามาโบโกะจากปลา กะพงขาว

เตรียมตัวอย่างคามาโบโกะ 6 สูตรโดยแปรปริมาณเกลือ 2 ระดับ คือ (1% และ 2%) และแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ ซึ่งได้จากการปรับสูตร คือ (3%, 5% และ 7%) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี penetration test และวิธี texture profile analysis โดยใช้ texture analyzer และวัดค่าสี ค่าพารามิเตอร์ gel strength, hardness, springiness cohesiveness และ whiteness เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7-4.9

จากตารางที่ 4.7 พบว่า แป้งมีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและความขาวของคามาโบโกะอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ตัวอย่างมีค่า gel strength, hardness, springiness สูงขึ้น แต่มีค่า whiteness ลดลง สำหรับเกลือไม่สามารถศึกษาอิทธิพลได้ เพราะแปรปริมาณเกลือเพียง 2 ระดับ จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย texture analyzer พบว่า ปริมาณแป้งที่มากเกินไป โดยเฉพาะแป้ง 7% ทำให้คามาโบโกะมีค่า gel strength สูงกว่าตัวอย่างในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ แต่แป้ง 3% อาจน้อยเกินไป เพราะทำให้ค่า hardness ต่ำกว่าตัวอย่างในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ คามาโบโกะที่มีเกลือ 1% มีค่า springiness ต่ำกว่าตัวอย่างในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ค่า cohesiveness ของคามาโบโกะทุกสูตรมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างในท้องตลาด ส่วนค่า whiteness ของทุกสูตรมีค่าสูงกว่าตัวอย่างในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างได้ว่า สูตรที่มีเกลือ 2% เค็มมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และมีแนวโน้มว่าสูตรที่มีปริมาณแป้งมากขึ้นจะมีความเค็มน้อยกว่า แต่ปริมาณเกลือและแป้งไม่มีผลต่อระดับรสหวาน ปริมาณแป้งมีผลต่อระดับความแข็งและความเหนียว โดยผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างได้ว่า สูตรที่มีปริมาณแป้งมากกว่า มีความแข็งและความเหนียวมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณเกลือและแป้งไม่มีผลต่อระดับความยืดหยุ่น (ตารางที่ 4.8)

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ปริมาณเกลือและแป้งไม่มีผลต่อความชอบกลิ่นรสของปลา กลิ่นรสโดยรวม เนื้อสัมผัสโดยรวมและความชอบโดยรวม โดยมีคะแนนเฉลี่ยความชอบเป็น เฉยๆถึงชอบเล็กน้อย แต่ปริมาณเกลือมีผลต่อความชอบลักษณะปรากฏ (เนื้อสัมผัส) ผู้ทดสอบชอบสูตรที่มีเกลือ 2% มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องมาจากเกลือช่วยเพิ่มค่า cohesiveness ซึ่งชี้ให้เห็นความสามารถในการเกาะรวมกันของอนุภาค ทำให้เห็นเนื้อสัมผัสของคามาโบโกะเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่า สูตรที่ 5 (เกลือ 2% และแป้ง 5%) มีคะแนนความชอบสูงที่สุด

ตารางที่ 4.7 ค่าเกี่ยวกับลักษณะเนื้อสัมผัสและความขาวของคามาโบโกะที่มีเกลือและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

สูตร	เกลือ (%)	แป้ง (%)	Gel strength (g.cm)	Hardness (g)	Cohesiveness	Springiness	Whiteness
A*	-	-	460.90 ^a ± 64.88	20618.50 ^b ± 1312.47	0.45 ^{ab} ± 0.004	0.85 ^f ± 0.015	54.23 ^a ± 3.27
B*	-	-	570.61 ^{abc} ± 44.88	19361.30 ^b ± 2927.80	0.44 ^a ± 0.014	0.80 ^{cd} ± 0.014	61.07 ^b ± 0.67
1	1	3	489.30 ^{ab} ± 67.94	16617.60 ^a ± 421.98	0.45 ^{ab} ± 0.005	0.75 ^a ± 0.002	73.52 ^d ± 1.14
2	1	5	576.06 ^{bc} ± 91.53	19258.73 ^b ± 259.91	0.45 ^{ab} ± 0.016	0.75 ^a ± 0.034	71.95 ^{cd} ± 0.88
3	1	7	715.65 ^{de} ± 29.95	21312.83 ^b ± 539.26	0.46 ^b ± 0.011	0.76 ^{ab} ± 0.001	72.08 ^{cd} ± 0.58
4	2	3	661.16 ^{cd} ± 33.20	16442.17 ^a ± 375.95	0.45 ^{ab} ± 0.005	0.78 ^{bc} ± 0.003	73.11 ^d ± 0.48
5	2	5	808.84 ^{ef} ± 122.45	20021.93 ^b ± 143.73	0.45 ^{ab} ± 0.010	0.82 ^e ± 0.003	71.75 ^{cd} ± 2.29
6	2	7	856.96 ^f ± 28.46	21624.00 ^b ± 389.78	0.46 ^b ± 0.007	0.81 ^{de} ± 0.007	69.86 ^c ± 1.69

A* และ B* เป็นตัวอย่างควบคุมได้จากผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.8 คะแนนระดับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคามาโบโกะที่มีเกลือและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

สูตร	เกลือ (%)	แป้ง (%)	ระดับ*				
			ความแข็ง	ความเหนียว	ความยืดหยุ่น	ความเค็ม	ความหวาน ^{ns}
1	1	3	4.43 ^a ± 1.70	4.73 ^{ab} ± 1.64	4.30 ^a ± 1.60	3.43 ^a ± 1.92	5.17 ± 1.88
2	1	5	4.83 ^{ab} ± 1.68	5.37 ^{bc} ± 1.83	5.30 ^b ± 1.56	3.57 ^a ± 2.01	4.63 ± 1.87
3	1	7	5.77 ^b ± 1.92	5.73 ^c ± 1.51	5.00 ^{ab} ± 2.07	3.30 ^a ± 1.84	4.60 ± 2.06
4	2	3	3.98 ^a ± 1.66	4.18 ^a ± 1.69	4.98 ^{ab} ± 1.50	5.26 ^b ± 2.07	4.33 ± 2.19
5	2	5	4.93 ^{ab} ± 1.84	5.20 ^{bc} ± 1.58	4.93 ^{ab} ± 1.70	4.80 ^b ± 1.97	4.10 ± 1.54
6	2	7	5.67 ^b ± 1.79	5.43 ^{bc} ± 1.83	5.07 ^{ab} ± 1.66	4.73 ^b ± 1.96	4.13 ± 1.89

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

*ประเมินความเข้มด้วย 0-10 line scale

ตารางที่ 4.9 คะแนนความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคามาโบโกะที่มีเกลือและแป้งเป็นส่วนผสมในปริมาณต่างกัน

สูตร	เกลือ (%)	แป้ง (%)	ความชอบ*				
			กลิ่นรสของปลา ^{ns}	กลิ่นรสโดยรวม ^{ns}	ลักษณะปรากฏ (เนื้อสัมผัส)	เนื้อสัมผัสโดยรวม ^{ns}	โดยรวม ^{ns}
1	1	3	4.27 ± 1.14	4.37 ± 1.13	4.37 ^{ab} ± 1.03	4.57 ± 1.10	4.53 ± 1.07
2	1	5	4.20 ± 1.00	4.27 ± 1.11	4.30 ^{ab} ± 1.12	4.53 ± 0.94	4.33 ± 0.96
3	1	7	4.23 ± 0.97	4.30 ± 1.06	4.27 ^a ± 1.05	4.47 ± 0.94	4.47 ± 1.07
4	2	3	4.37 ± 1.13	4.67 ± 1.06	4.80 ^{ab} ± 1.03	4.37 ± 1.03	4.40 ± 1.07
5	2	5	4.50 ± 1.22	4.57 ± 1.19	4.87 ^b ± 0.90	4.70 ± 1.02	4.77 ± 0.82
6	2	7	4.10 ± 1.06	4.30 ± 0.95	4.77 ^{ab} ± 1.01	4.57 ± 1.04	4.47 ± 0.97

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

*ทดสอบการยอมรับด้วยมาตรา Hedonic แบบ 7 จุด (7 point Hedonic scale)

ตารางที่ 4.10 ค่าเกี่ยวกับลักษณะเนื้อสัมผัสและความขาวของคามาโบโกะที่สภาวะในกระบวนการผลิตต่างกัน

สูตร	อุณหภูมิ (°C)	Gel strength ^{ns} (g.cm)	Hardness (g)	Cohesiveness ^{ns}	Springiness ^{ns}	Whiteness ^{ns}
1	30	775.25 ± 145.74	16003.97 ^a ± 906.28	0.47 ± 0.003	0.82 ± 0.049	69.48 ± 1.54
2	35	728.95 ± 114.35	16414.17 ^a ± 263.71	0.46 ± 0.008	0.82 ± 0.006	69.60 ± 0.53
3	40	743.80 ± 126.26	17080.97 ^a ± 174.40	0.46 ± 0.002	0.82 ± 0.016	69.32 ± 0.37
4	45	693.08 ± 64.41	18665.10 ^b ± 538.35	0.46 ± 0.013	0.82 ± 0.023	70.57 ± 1.56
5	50	845.58 ± 90.65	19932.83 ^b ± 1532.76	0.46 ± 0.012	0.82 ± 0.016	70.56 ± 1.49

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.3.3 การศึกษาอุณหภูมิในการให้ความร้อนครั้งแรกเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตคามาโบโกะ

เนื่องจากชนิดของปลาและอุณหภูมิของแหล่งที่อยู่ของปลา มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อปลา ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของคามาโบโกะ ดังนั้นเราจึงนำสูตรที่ได้ ไปศึกษาอุณหภูมิในการให้ความร้อนครั้งแรก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตและได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างในท้องตลาด และคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต

เตรียมซูริมิ สับผสมซูริมิกับเกลือ 2% และแป้ง 5% ให้ความร้อนครั้งแรก เป็นเวลา 30 นาที แต่แปรอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ (30, 35, 40, 45 และ 50 °C) ตามด้วยอุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 20 นาที วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี penetration test และวิธี texture profile analysis โดยใช้ texture analyzer และวัดค่าสี ค่าแรงค้ำ gel strength, hardness, springiness cohesiveness และ whiteness จากนั้นประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11

จากตารางที่ 4.11 พบว่า ค่า gel strength, cohesiveness, springiness และ whiteness ของ คามาโบโกะที่ได้จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่า hardness ที่ช่วงอุณหภูมิ 30- 40 °C และที่ช่วงอุณหภูมิ 45-50 °C มีค่าไม่ต่างกัน จึงเลือกตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่ 45 °C ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพราะใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากท้องตลาด พบว่าค่า cohesiveness ที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าสูงกว่าตัวอย่างในท้องตลาด (ตารางที่ 4.6) อย่างมีนัยสำคัญ จึงไม่นำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และค่า cohesiveness ที่อุณหภูมิ 35 และ 40 °C มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงเลือกตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่ 35 °C ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้ ยังพบว่าทุกสูตรมีค่า whiteness มากกว่าตัวอย่างในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.11 คะแนนความชอบและระดับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคามาโบโกะ

สูตร	อุณหภูมิ (°C)	ระดับ**		ความชอบ***	
		ความแข็ง ^{ns}	ความเหนียว	ความยืดหยุ่น	เนื้อสัมผัสโดยรวม
B*	-	4.50 ± 1.50	3.93 ^a ± 1.34	4.77 ^a ± 1.89	5.13 ^b ± 0.90
1	35	5.20 ± 1.77	6.07 ^c ± 1.20	6.03 ^b ± 1.63	4.23 ^a ± 1.17
2	45	4.77 ± 1.25	4.77 ^b ± 1.48	5.37 ^{ab} ± 1.61	4.73 ^{ab} ± 0.94

B* เป็นตัวอย่างควบคุมได้จากผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

**ประเมินความเข้มด้วย 0-10 line scale

***ทดสอบการยอมรับด้วยมาตรา Hedonic แบบ 7 จุด (7 point Hedonic scale)

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า คามาโบโกะที่ให้ความร้อนครั้งแรกที่ 45 °C มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่ต่างจากตัวอย่างในท้องตลาด โดยมีระดับความแข็งและความยืดหยุ่นไม่แตกต่างจากท้องตลาด แต่มีระดับความเหนียวมากกว่า แสดงว่าคามาโบโกะที่ให้ความร้อนครั้งแรกที่ 45 °C ยังเหนียวเกินไปสำหรับผู้บริโภค ทำให้คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสโดยรวมน้อยกว่าตัวอย่างจากท้องตลาดเล็กน้อย โดยมีคะแนนเฉลี่ยความชอบเป็น เฉยๆถึงชอบเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิ 45 °C ยังทำให้ได้คามาโบโกะที่มีลักษณะทางเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด

4.3.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์คามาโบโกะจากปลากระพงขาว

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ อาจมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ องค์ประกอบของคามาโบโกะ บรรจุภัณฑ์ กระบวนการผลิตและสภาวะแวดล้อม ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส

เตรียมซูริมิโดยสับผสมซูริมิกับเกลือ 2% และแป้ง 5% ให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยอุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 20 นาที บรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ขนาด 15x20 เซนติเมตร² หนา 80 ไมโครเมตรด้วยสภาวะสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C วิเคราะห์ค่า water activity เริ่มต้นของตัวอย่าง ทดสอบทางจุลชีววิทยาโดยวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี pour plate วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี penetration test และวิธี texture profile analysis โดยใช้ texture analyzer และวัดค่าสี ค่าแรงค่า gel strength, hardness, springiness cohesiveness และ whiteness ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.12- 4.14

ตารางที่ 4.12 ค่า water activity เริ่มต้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์คามาโบโกะจากปลากระพงขาว

ตัวอย่าง	water activity	เฉลี่ย
1	0.943	0.944
2	0.946	

ตารางที่ 4.13 ค่าเกี่ยวกับลักษณะเนื้อสัมผัสและความขาระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ

วันที่	Gel strength ^{ns} (g.cm)	Hardness (g)	Cohesiveness ^{ns}	Springiness	Whiteness ^{ns}
0	490.07 ± 16.79	13924.33 ^{ab} ± 955.83	0.47 ± 0.015	0.78 ^b ± 0.004	74.91 ± 2.00
3	461.72 ± 19.81	13164.57 ^a ± 1695.15	0.57 ± 0.113	0.78 ^b ± 0.031	73.76 ± 1.98
6	526.22 ± 46.00	15267.23 ^b ± 291.17	0.45 ± 0.007	0.71 ^a ± 0.018	75.19 ± 1.91
10	514.51 ± 131.17	13860.70 ^{ab} ± 840.63	0.50 ± 0.059	0.75 ^b ± 0.009	74.95 ± 1.48
13	436.20 ± 82.02	12828.07 ^a ± 428.01	0.56 ± 0.113	0.79 ^b ± 0.021	74.57 ± 2.02

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)

ตารางที่ 4.14 จำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์คามาโบโกะจากปลากระพงขาว

วันที่	จำนวนจุลินทรีย์ (CFU/g)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	1.20×10^2	1.20×10^2	1.30×10^2	1.23×10^2
	3.60×10^2	3.90×10^2	5.10×10^2	4.20×10^2
4	5.00×10^2	5.80×10^2	5.90×10^2	5.57×10^2
	9.00×10^1	7.00×10^1	1.40×10^2	1.00×10^2
7	5.50×10^2	3.90×10^2	4.50×10^2	4.63×10^2
	3.10×10^2	1.60×10^2	2.60×10^2	2.43×10^2
10	3.00×10^4	3.10×10^4	4.10×10^4	3.40×10^4
	2.80×10^4	2.80×10^4	4.10×10^4	3.23×10^4
12	2.00×10^5	2.00×10^5	3.00×10^5	2.33×10^5
	5.00×10^3	8.00×10^3	1.20×10^4	8.33×10^3

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสและความขาวระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์คามาโบโกะเป็นเวลา 13 วัน ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า ค่า gel strength, cohesiveness และ whiteness มีค่าไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ คามาโบโกะยังมีความแข็งแรงของเจล ความเหนียวและความขาวไม่แตกต่างกัน ส่วนค่า hardness และ springiness มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หรือผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและยืดหยุ่นต่างกัน โดยค่าที่ต่างกันไม่ได้มีลักษณะเป็นแนวโน้ม แสดงว่า มีความแปรปรวนในการผลิตต่อชิ้น โดยเฉพาะขั้นตอนบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยมือ ซึ่งมีความแปรปรวนมาก ทำให้ความสามารถในการเกาะกันของอนุภาคหรือเกิดเจลได้ต่างกัน นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ อาจเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยาต่างๆขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ เช่น การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหรือเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถกำจัดได้หมดในขั้นตอนการล้างปลาและเนื้อปลาสด หรือการทำงานของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนมาในผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์คามาโบโกะมีค่า water activity สูง คือ 0.944 โดยเฉลี่ยจึงเป็นอาหารที่เสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่าผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ ซึ่งบรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ด้วยสภาวะสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C สามารถบริโภคได้ภายใน 10 วัน นับจากวันผลิต เนื่องจากผลการวิเคราะห์ในวันที่ 12 พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินที่มาตรฐานกำหนด คือ 1×10^5 CFU/g ถึงแม้ผลิตภัณฑ์จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ อีกทั้งยังบรรจุด้วยสภาวะสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิต่ำ แต่อาจมีจุลินทรีย์จากบรรจุภัณฑ์พลาสติกซึ่งไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อเจริญและเพิ่มจำนวนได้หากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม แบคทีเรียบางชนิดจะสร้างสปอร์ (spore-forming bacteria) ทำให้ทนความร้อนและความเย็นได้ดี จึงทำลายได้ยากมากขึ้น การบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สะอาดปลอดจากเชื้อจุลินทรีย์ จึงสามารถช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น

4.4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ปริมาณเกลือที่ต่างกัน มีผลต่อความแข็งแรงของเจล ความเหนียวและความยืดหยุ่น ปริมาณแป้งที่ต่างกัน มีผลต่อความแข็งแรงของเจล ความแข็ง ความเหนียว ความยืดหยุ่นและความขาว และยังมีส่วนร่วมกันระหว่างเกลือกับแป้ง ต่อความแข็งแรงของเจล ความแข็งและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ ($p < 0.05$) คามาโบโกะที่ผู้บริโภคมียอมรับมากที่สุด ได้แก่ สูตรที่มีปริมาณเกลือ 2% และแป้งมันสำปะหลัง 5% ของน้ำหนักซูริมิ การให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิ 45 °C ทำให้ได้คามาโบโกะที่มีลักษณะทางเนื้อสัมผัสและความขาวใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ความแข็งแรงของเจล ความเหนียวและความขาวของผลิตภัณฑ์คามาโบโกะที่บรรจุในถุงพลาสติก Nylon/LLDPE ด้วยสภาวะสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บเป็นเวลา 13 วัน แต่ความแข็งและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จากการทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า สามารถเก็บตัวอย่างได้เพียง 10 วัน ก่อนจะเสื่อมเสีย

กระบวนการผลิตด้วยมือ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความแปรปรวนมาก จึงอาจใช้เครื่องมือแทนคน เพื่อช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เช่น ใช้เครื่องบรรจุไส้แทนใช้มือคนบรรจุ กระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ หรือแม้แต่การบรรจุในภาชนะบรรจุที่สะอาดปลอดจากเชื้อจุลินทรีย์ สามารถช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ดี โดยอาจฆ่าเชื้อทั้งผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุด้วยความร้อน นอกจากนี้ การผลิตแบบ Individually Quick Frozen (IQF) ซึ่งเป็นการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วและการเก็บผลิตภัณฑ์แบบแช่แข็ง จะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์คงคุณภาพและลดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บได้

4.5 เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2006. **Official Methods of Analysis**. 18th ed. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- Benjakul, S., Visessanguan, W., Riebroy, S., Ishizaki, S., and Tanaka, M. 2002. Gel forming properties of surimi produced by big eye snapper stored in ice, **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 82 : 1442.
- Lee, C.M. 1984. Surimi processing from lean fish. In **Seafood: Chemistry, Processing Technology and Quality**; F. Shahidi and J. R. Botta, eds. London: Bladckie Academic & Professional.
- Lee, C.M. and Kim, J.M.. 1986. The relationship of composite characteristics to rheological properties of surimi gel. In **Food Engineering and Process Application** (Le Magner, M. and Jelen, P. eds.), Elsevier Applied Science Pub., Ltd., Essex, England, vol. 1: 63-79.
- Park, J.W., 1994. Functional protein additives in surimi gels, **Journal of Food Science**, 59, 525.

บทที่ 5

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซूपปลากะพงผึ่งโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท

5.1 บทนำ

การทำซूपผง (Soup powder)

ซूपปลาเป็นอาหารของคนหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ สิงคโปร์ เป็นต้น ซूपปลาสามารถทำได้จากส่วนต่างๆของปลา เช่น เนื้อ หัว หรือโครงปลา โดยการทดลองนี้ใช้ส่วนหัวปลาและโครงปลา ซूपปลาเป็นอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูง และมีแร่ธาตุหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส ซิลิกอน แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เป็นต้น โดยในขั้นตอนการทำแห้งน้ำซूपปลาสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การทำแห้งด้วยวิธีโฟมแมท (foam-mat)

การทำแห้งแบบโฟม (foam-mat drying) เป็นวิธีการทำแห้งอาหารเหลว เริ่มมีการพัฒนานำเทคนิคของการเกิดโฟม (foaming technique) มาใช้ในการดึงน้ำออกจากอาหารเมื่อปี 1960 ที่ USDA's Western Regional Research Laboratory ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอาศัยหลักการที่ว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับอาหารที่จะสัมผัสกับความชื้น ทำให้อัตราการทำแห้ง (drying rate) เร็วขึ้น การทำให้เกิดโฟมหรือทำให้ก๊าซสามารถกระจายตัวเป็นฟองเล็กๆ แทรกอยู่ในของเหลว ทำได้โดย การตีหรือกวนด้วยความเร็วสูงๆ โดยอาหารที่ไม่สามารถเกิดโฟม หรือเกิดโฟมที่ไม่เสถียร ต้องใช้สารเคมีหรือสารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming agent) เช่น ไข่ขาว ไข่ช่วย ข้อดีของการทำแห้งด้วยวิธีนี้คือ ง่าย ประหยัด ใช้เวลาในการทำแห้งน้อย จึงเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารและสมบัติทางกายภาพของอาหารน้อย

5.2 ขั้นตอนและการดำเนินงาน

5.2.1 การเตรียมหัวและโครงปลากะพง

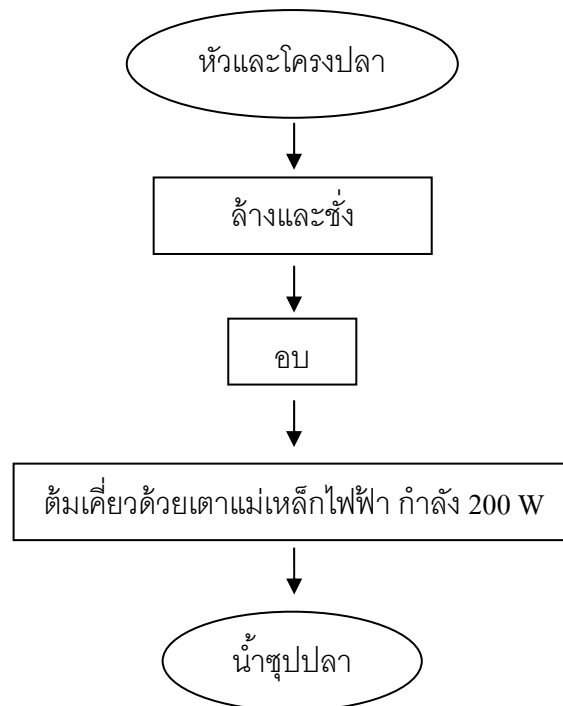
ล้างทำความสะอาดหัวและโครงปลากะพงน้ำหนัก 280-300 กรัม (ปลากะพงได้รับความอนุเคราะห์จากมูลนิธิชัยพัฒนา) ด้วยน้ำประปาที่ไหลด้วยอัตราเร็ว 55 มิลลิลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที 2 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 500 มิลลิลิตร (เกลือป่นปรุงทิพย์ บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด อ.พิมาย จ.นครราชสีมา)

การเตรียมผัก

ล้างทำความสะอาดผัก 5 ชนิด ได้แก่ แครอท หัวไชเท้า หอมหัวใหญ่ ต้นหอมญี่ปุ่น และต้นหอม (ซื้อที่ Tesco Lotus สาขาจามจุรีแอสควร์ ปทุมวัน กทม.) ปอกเปลือกแครอท หัวไชเท้า หอมหัวใหญ่ แล้วหั่นแบ่งเป็นส่วนตามขวาง จากนั้นหั่นให้มีความยาวชิ้นละ 1 นิ้ว หั่นต้นหอมญี่ปุ่นและต้นหอมให้ยาวชิ้นละ 1 นิ้ว ผสมผักที่ หั่นแล้วในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแครอท หัวไชเท้า หอมหัวใหญ่ ต้นหอมญี่ปุ่น และต้นหอม เท่ากับ 6:6:6:1:1

5.2.2 การผลิตซูปปลากะพง

ขั้นตอนการผลิตซูปปลากะพงแสดงในรูปที่ 6 เริ่มจากขั้วหัวและโครงปลาที่เตรียม วางบนถาดอลูมิเนียม (ถาดอเนกประสงค์ ขนาด 17.5x23.5 เซนติเมตร บริษัทเจริญชัยราชดำริ จำกัด กรุงเทพ มหานคร) ที่ทราบน้ำหนักอบในเตาอบ (eka 648VEMultif., Italy) จากนั้นนำหัวและโครงปลาที่อบไปต้มเคี่ยวด้วยเตาแม่เหล็กไฟฟ้า (imarflex IF-870, China) กำลัง 200 วัตต์ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 5.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตซูปปลากะพง

5.2.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบหัวและโครงปลาต่อความชอบด้านกลิ่น และรสชาติโดยรวมของซูปปลา

เตรียมหัวและโครงปลา อบในเตาอบโดยแปรอุณหภูมิ 2 ระดับที่ 200 และ 250 °C และเวลาในการอบ 3 ระดับที่ 60 90 และ 120 นาที โดยออกแบบการทดลองแบบ factorial 2x3 แล้วต้มเคี่ยวโดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 5:1 ใช้เวลาในการต้มเคี่ยว 6 ชั่วโมง แล้วนำน้ำซูปที่ได้ไปทดสอบความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมโดยผู้ทดสอบ 30 คน ใช้แบบทดสอบ Hedonic scale 9-point คัดเลือกสภาวะในการอบที่ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่น และรสชาติโดยรวมสูง สุดไปทำการศึกษาต่อ

5.2.4 ผลของสัดส่วนของผักต่อหัวและโครงปลาต่อความชอบด้านกลิ่น และรสชาติโดยรวมของซุปลลา

เพื่อปรับปรุงกลิ่นและรสของซุปลลาจึงศึกษาการอบหัวและโครงปลาพร้อมผัก 5 ชนิดที่เตรียม ต่อกลิ่นและรสชาติ โดยแปรสัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 0:1 1:1 1:2 อบที่สภาวะที่ได้ คือ อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 90 นาที แล้วนำไปต้มเคี่ยวโดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนัก ของน้ำต่อหัวและโครงปลาและผัก 5:1 ใช้เวลาในการต้มเคี่ยว 6 ชั่วโมง แล้วนำน้ำซุปลลาที่ได้ไปทดสอบความชอบ ด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมโดยผู้ทดสอบ 30 คน ใช้แบบทดสอบ Hedonic scale 9-point คัด เลือกสัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาที่ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมสูงสุด ไปทำการศึกษาต่อ

5.2.5 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ และเวลาต้มเคี่ยว ต่อผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

เตรียมปลาและผัก ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาที่ได้ คือ 1:1 อบที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 90 นาที แปรสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ 3 ระดับที่ 5:1 7:1 และ 9:1 และแปรเวลาในการต้มเคี่ยว 3 ระดับที่ 4 6 และ 8 ชั่วโมง โดยออกแบบการทดลองแบบ factorial 3x3 แล้วนำน้ำซุปลลาที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตโปรตีนโดยวิธีของ Lowry (Lowry et al., 1951) คัดเลือกสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผัก และเวลาในการต้มเคี่ยวที่ได้ ปริมาณผลผลิตโปรตีนสูงสุดไปศึกษาต่อ

5.2.6 ผลของการเติมผงชูรสและสาหร่ายอบแห้งต่อความชอบด้านกลิ่น และรสชาติโดยรวมของซุปลลา

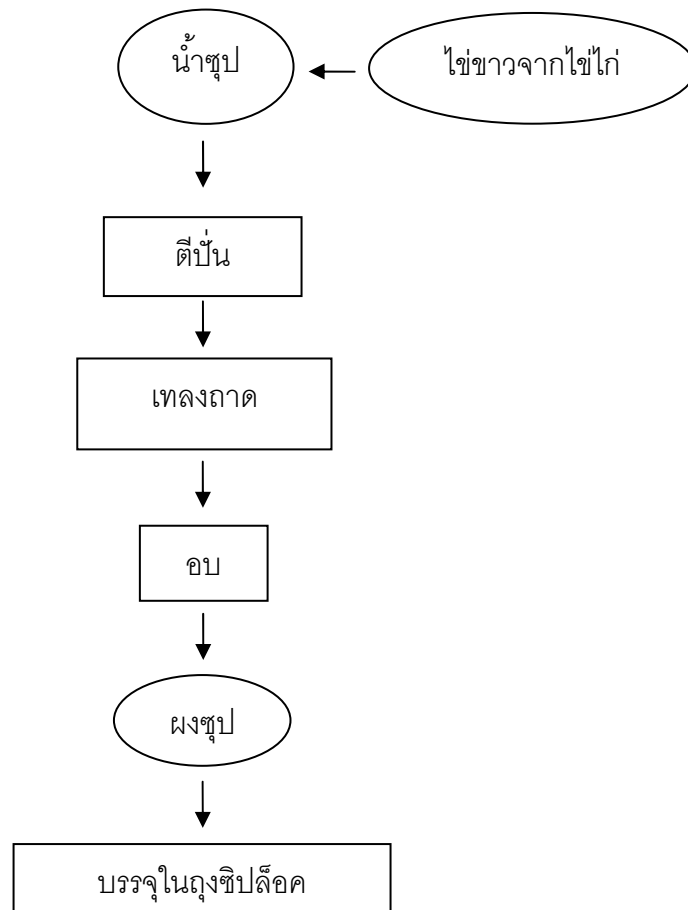
เตรียมปลาและผัก ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 1:1 อบ ที่อุณหภูมิ 200 °C นาน 90 นาที ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักที่ได้ คือ 9:1 ต้มเคี่ยวตามเวลาที่ได้ คือ 4 ชั่วโมง กรองหัวและโครงปลาและผักออก แล้วใส่ผงชูรส 1.3 กรัมและสาหร่ายอบแห้ง 0.5 กรัมลงในซุปล 300 มิลลิลิตร ต้มต่อจนซุปลเดือด ทดสอบความชอบด้าน กลิ่นและรสชาติโดยรวมของน้ำซุปลโดยผู้ทดสอบ 30 คน ใช้แบบทดสอบ Hedonic scale 9-point เปรียบเทียบกับซุปลที่ได้จากระบวนการผลิตเดียวกันแต่ไม่ได้ปรุงรสด้วยผงชูรสและสาหร่าย

5.2.7 การทำแห้งซุปลลาแบบโฟมเมท

ผลิตซุปลลาโดยมีรายละเอียดการผลิตดังต่อไปนี้

- เตรียมปลาและผัก ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 1:1 อบที่อุณหภูมิ 200 °C นาน 90 นาที
- ต้มเคี่ยวโดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักเท่ากับ 9:1 นาน 4 ชั่วโมง กรองหัวและโครงปลาและผักออก
- ปรุงรสน้ำซุปลที่กรองได้ด้วยผงชูรส 1.3 กรัมและสาหร่ายอบแห้ง 0.5 กรัม ลงในซุปล 300 มิลลิลิตร ต้มต่อจนซุปลเดือดแล้วยกลงจากเตา รอนจนกระทั่งซุปลมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนการทำแห้งซूपปลาแบบโพนแมทแสดงในรูปที่ 5.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้ นำซूपปลาที่ผลิตได้ผสมกับตัวทำฟองคือไข่ขาวจากไข่ไก่ โดยแปรอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไข่ขาวต่อน้ำซूप 3 ระดับที่ 1:2 1:3 และ 1:4 นำไปตีปั่นด้วย hand mixer (easy max power Moulinex, China) ที่ความเร็วระดับ 3 โดยแปรเวลาตีปั่น 2 ระดับที่ 30 และ 40 นาที วางแผนการทดลองแบบ factorial 3x2 จากนั้นเทโพนที่ได้ลงบนถาดอลูมิเนียม (ถาดอเนกประสงค์ ขนาด 17.5x23.5 เซนติเมตร บริษัท เจริญชัยราชดำริ จำกัด กรุงเทพมหานคร) ให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อน (science possess UM-oven 250L-10) ที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 3 ชั่วโมงด้วย ใช้ air vent ระดับ 3 ชุดและบรรจุผงซूपในถุงซิปล็อค (ถุงซิปลาสติกซีฟู้ด ทานตะวัน บริษัท ทานตะวันอุตสาหกรรม จำกัด (มหาชน) อ.สามพราน จ.นครปฐม) นำไปวิเคราะห์ค่าการละลายโดยดัดแปลงจากวิธีของ Eastman และ Moore (Eastman and Moore, 1984) คัดเลือกสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำซूपต่อตัวทำฟองและเวลาตีปั่นที่ให้ค่าการละลายสูงสุดไปศึกษาต่อ



รูปที่ 5.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตซूपปลาผงผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโพนแมท

5.2.8 ศึกษาสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำตาลต่อซูปผงที่เหมาะสมในการละลายซูป

ผลิตซูปปลากะพงตาม ข้างต้น ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำฟองต่อน้ำซูปเท่ากับ 1:4 และตีปั่นนาน 30 นาที อบโม่ที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 3 ชั่วโมงด้วยเตาอบลมร้อน (Science possess UM-oven 250L-10) ใช้ air vent ระดับ 3 ชูดและบรรจุซูปในถุงซิปล็อค จากนั้นนำซูปที่ได้ไปละลายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C โดยแปรปริมาณน้ำตาลต่อน้ำหนักซูป 3 ระดับได้แก่ น้ำ 50 100 และ 150 กรัมต่อซูป 1 กรัม นำไปทดสอบกลิ่นและรสของซูปปลาที่ละลายกลับด้วยวิธี Just-About-Right (JAR) scales 5 ระดับ โดยผู้ทดสอบ 30 คน เพื่อหาสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำตาลต่อซูปผงที่เหมาะสมในการละลายซูปกลับ

5.3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.3.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบหัวและโครงปลาต่อความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซูปปลา

อุณหภูมิและเวลาในการอบหัวและโครงปลามีผลต่อความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซูปปลาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 5.1) ที่อุณหภูมิคงที่คะแนนความชอบกลิ่นมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาในการอบนานขึ้น ที่เวลาอบที่เท่ากันอุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม่มีผลต่อคะแนนความชอบกลิ่น ส่วนสภาวะในการอบที่ให้คะแนนความชอบรสชาติมากที่สุดคืออุณหภูมิ 200 °C นาน 90 นาที การอบให้ความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในหัวและโครงปลาจึงให้กลิ่นที่ผู้บริโภคต้องการ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Maillard และ Strecker degradation ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้อบสูงขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิในการอบสูงทำให้หัวและโครงปลาไหม้ ซึ่งอาจให้กลิ่นไหม้ซึ่งผู้ทดสอบไม่ชอบ (มณฑล สุกใส, 2552; Reineccius, 2005) รสชาติของซูปได้จากสารที่ละลายหรือสกัดออกจากหัวและโครงปลาสู่น้ำที่ใช้ต้มเคี่ยว การอบที่อุณหภูมิสูงและเวลานานอาจทำให้เกิดสารประกอบที่ละลายออกสู่น้ำได้ยากจึงทำให้คะแนนความชอบต่ำ นอกจากนี้เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการอบ อาจเกิดการไหม้ ทำให้ซูปมีรสขมจึงได้คะแนนความชอบรสชาติน้อยลง อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบของกลิ่นและรสชาติยังต่ำ จึงต้องทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกลิ่นและรสชาติของซูปปลาต่อไป โดยเลือกการอบที่อุณหภูมิ 200 °C นาน 90 นาที ซึ่งได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมสูงสุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบหั่วและโครงปลาต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซูปปลา

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบ (นาที)	คะแนนความชอบ*	
		กลิ่น	รสชาติโดยรวม
200	60	3.93 ^{ab} ±1.69	4.24 ^a ±1.57
200	90	4.52 ^{ab} ±2.11	5.13 ^b ±1.98
200	120	4.80 ^b ±2.34	3.90 ^a ±1.86
250	60	3.97 ^{ab} ±2.22	3.63 ^a ±1.52
250	90	3.53 ^a ±1.81	3.70 ^a ±1.44
250	120	4.20 ^{ab} ±1.69	4.20 ^a ±1.77

หมายเหตุ: * ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากจำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน ± SD
ตัวอักษร a, b ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.3.2 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหั่วและโครงปลาต่อความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซูปปลา

ตารางที่ 5.2 แสดงว่าการผสมผักกับหั่วและโครงปลาแล้วนำไปอบและต้มเคี่ยวมีผลต่อความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซูปปลาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับซูปที่ได้จากหั่วและโครงปลาอบอย่างเดียว ซูปที่ได้จากหั่วและโครงผสมผักที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหั่วและโครงปลาเท่ากับ 1:2 ไม่มีผลต่อความชอบด้านกลิ่น แต่ให้คะแนนความชอบรสชาติโดยรวมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนซูปที่ได้จากหั่วและโครงผสมผักที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหั่วและโครงปลาเท่ากับ 1:1 ให้คะแนนความชอบกลิ่นและรสชาติโดยรวมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากผักมีกลิ่นเฉพาะ โดยเฉพาะต้นหอม ต้นกระเทียมญี่ปุ่น หัวหอมใหญ่และหัวไชเท้า จึงช่วยดับกลิ่นปลา ที่สำคัญในผักมีน้ำตาลและกลูตาเมตอิสระ เช่น หัวหอมใหญ่มีน้ำตาล 4.24 กรัมต่อ 100 กรัม (USDA National Nutrient Database, 2010) และกลูตาเมตอิสระ 51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งกลูตาเมตอิสระมีสมบัติในการเพิ่มรสชาติอาหาร โดยช่วยเพิ่มรสชาติพื้นฐาน 4 รสที่เรารู้จักกันดีคือ รสหวาน รสเค็ม รสเปรี้ยว และรสขม ให้เด่นชัดมากขึ้น ในการศึกษาทางเภสัชวิทยาเกี่ยวกับรสชาติพบว่ากลูตาเมตอิสระสามารถกระตุ้น glutamate receptor แล้วทำให้เกิดรสชาติเฉพาะตัวที่เรียกว่ารสอูมามิ (umami) ซึ่งเป็นรสที่ 5 ที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้และมีเอกลักษณ์แตกต่างจากรสชาติพื้นฐานทั้ง 4 นอกจากนี้ยังพบว่าปลากระพงมีนิวคลีโอไทด์คือ ไอโนซินเนต และกัวโนเลต ซึ่งให้รสอูมามิเช่นเดียวกัน เมื่อสารทั้งสามรวมกันจะช่วยชูรสอูมามิให้เด่นชัดขึ้น (synergistic effect) (อดิศักดิ์ อินทพิเชษฐ, 2554; International

glutamate information service, 2011) ทำให้ซूपที่ได้มีรสหวานกลมกล่อม ซूपที่ได้จากหัวและโครงผสมผักที่สกัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 1:1 มีปริมาณผักที่ผสมมากกว่าจึงทำให้ซूपปลาที่ได้มีกลิ่นและรสชาติโดยรวมดีกว่า ดังนั้นจึงเลือกสกัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 1:1 ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.2 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาต่อความชอบกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซूपปลา

สัดส่วนโดยน้ำหนักของ ผักต่อหัวและโครงปลา	คะแนนความชอบ*	
	กลิ่น	รสชาติโดยรวม
-	4.67 ^a ±1.71	3.93 ^a ±1.86
1:1	6.34 ^b ±1.32	5.55 ^b ±1.70
1:2	5.48 ^a ±1.88	4.87 ^b ±1.94

หมายเหตุ: * ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากจำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน ± SD

ตัวอักษร a,b ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.3.3 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ และเวลาต้มเคี่ยว ต่อผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

ตารางที่ 5.3 แสดงว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ เท่ากับ 9:1 และเวลาในการต้มเคี่ยว 4 ชั่วโมง ให้ผลผลิตโปรตีนสูงสุดคือ 32.54 มิลลิกรัมต่อกรัมของหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ ดังนั้นจึงได้เลือกสภาวะนี้ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากความจำกัดของการละลายของโปรตีนดังนั้นการใช้ปริมาณน้ำมากสามารถสกัดโปรตีนออกมาได้มาก และเวลาที่ใช้ในการต้มเคี่ยวนานสามารถสกัดโปรตีนให้ออกมาในน้ำได้มากแต่ก็เป็นการให้ความร้อนมากขึ้นสามารถทำให้โปรตีนที่ละลายออกมาเสียสภาพและตกตะกอน เป็นการสูญเสียพลังงาน และวิธีการวิเคราะห์โปรตีนที่ใช้ไม่สามารถวิเคราะห์โปรตีนที่ตกตะกอนได้

ตารางที่ 5.3 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ และเวลาดัมเคี้ยว ต่อผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

สัดส่วนของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ	เวลาดัม (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของโปรตีน (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำซุบ (มิลลิลิตร)	ผลผลิตโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมปลาและผัก)
5:1	4	8.84	700	19.01
	6	30.60	240	24.87
	8	83.83	100	27.67
7:1	4	7.26	1,150	27.46
	6	10.02	600	21.10
	8	28.93	250	25.36
9:1	4	5.46	1,750	32.54
	6	8.26	1,000	30.32
	8	9.90	700	23.91

5.3.4 ผลของการเติมผงชูรสและสาหร่ายอบแห้งต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซุบปลา

ตารางที่ 5.4 แสดงว่าการเติมผงชูรสและสาหร่ายอบแห้งมีผลทำให้ความชอบกลิ่นรสชาติโดยรวมของซุบปลาสูงกว่าที่ไม่ได้เติมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากเมื่อละลายผงชูรสหรือโมโนโซเดียมกลูตาเมตในน้ำ มีการแตกตัวของโมโนโซเดียมกลูตาเมตได้โซเดียมและกลูตาเมตอิสระที่มีสมบัติในการเพิ่มรสชาติอาหารดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายทะเล โดยเฉพาะสาหร่าย kombu มีกลูตาเมตอิสระสูง และกลิ่นรสเฉพาะตัวโดยเฉพาะเมื่อผ่านการให้ความร้อนเช่นการอบ (International glutamate information service, 2011) ทำให้รสชาติของซุบปลาดีขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้สาหร่าย kombu เนื่องจากราคาสูง จึงใช้สาหร่ายทะเลอบแห้งซึ่งเป็นที่นิยมของผู้บริโภคในประเทศไทย และมีราคาถูกกว่าแทน

ตารางที่ 5.4 ผลการเติมผงชูรสและสาหร่ายอบแห้งต่อความชอบด้านกลิ่นและรสชาติโดยรวมของซุบปลา

ปริมาณผงชูรสต่อน้ำซุบ 300 มิลลิลิตร (กรัม)	ปริมาณสาหร่ายอบแห้ง ต่อน้ำซุบ 300 มิลลิลิตร (กรัม)	คะแนนความชอบ*	
		กลิ่น	รสชาติโดยรวม
0	0	5.80 ^a ±1.27	5.50 ^a ±1.76
1.3	0.5	6.73 ^b ±1.31	6.47 ^b ±1.87

หมายเหตุ : * ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากจำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน ± SD

ตัวอักษร a, b ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

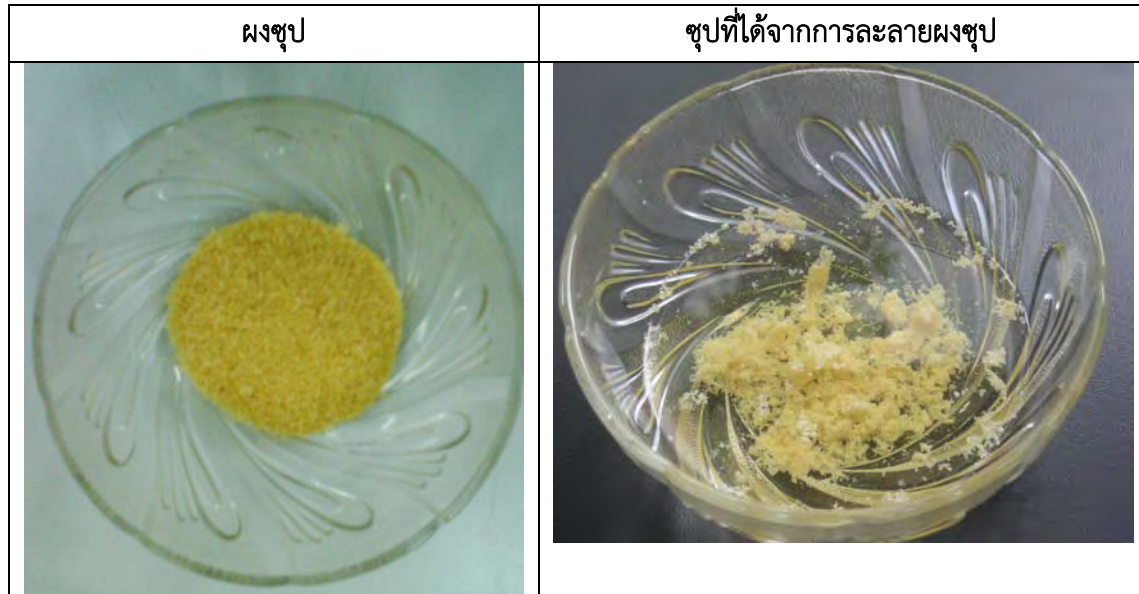
5.3.5 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำฟองต่อน้ำซูป และเวลาตีปั่น ต่อค่าร้อยละการละลายของซูป

จากตารางที่ 5.5 พบว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวทำฟองต่อน้ำซูป และเวลาตีปั่นไม่มีผลต่อค่าร้อยละการละลายของซูปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากซูปเป็นอาหารที่มีกบรีโกลในขณะร้อน จึงใช้น้ำอุณหภูมิสูงคือ 90 องศาเซลเซียส ในการละลายผงซูปกลับ ซึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำให้โปรตีนในโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดการเสียสภาพในขั้นตอนนี้ จึงทำให้ค่าร้อยละการละลายต่ำ และมีก้อนโปรตีนโซเดียมไฮดรอกไซด์ลอยอยู่ในน้ำซูปเช่นกัน โปรตีนในโซเดียมไฮดรอกไซด์และสูญเสียความสามารถในการละลาย นอกจากนี้โปรตีนที่เสียสภาพยังกักเก็บสารที่สามารถละลายน้ำได้อื่นไว้ด้วย ดังนั้นค่าร้อยละการละลายที่วิเคราะห์ได้หลังละลายผงซูปกลับจึงต่ำ รูปที่ 5.3 และเวลาตีปั่น 30 นาที ไปละลายในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สัดส่วนผงซูป 1 กรัมต่อน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่ามีก้อนโปรตีนโซเดียมไฮดรอกไซด์ลอยอยู่ในน้ำซูป เนื่องจากสัดส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำซูปเท่ากับ 1:4 และเวลาตีปั่น 30 นาที ใช้ปริมาณตัวทำฟอง และเวลาตีปั่นน้อยจึงสมควรเลือกใช้ในการผลิตซูปปลาผงสำหรับการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.5 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำฟองต่อน้ำซูป และเวลาตีปั่นต่อค่าร้อยละการละลาย

สัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำซูป	เวลาตีปั่น (min)	ร้อยละการละลาย ^{NS}
		50
1:2	30	1.92±0.05
	40	2.02±0.12
1:3	30	1.95±0.02
	40	1.98±0.01
1:4	30	1.83±0.04
	40	1.99±0.01

หมายเหตุ : NS แสดงว่าไม่มีความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 5.3 ลักษณะของผงชูปที่ผลิตโดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของไข่ขาวต่อน้ำชูปเท่ากับ 1:4 และตีปั่นนาน 30 นาที

5.3.6 ผลของปริมาณน้ำต่อน้ำหนักผงชูปต่อการยอมรับด้านกลิ่น รสหวาน รสเค็มและรสชาติโดยรวมของชูปปลา

จากตารางที่ 5.6 พบว่าเมื่อเติมน้ำมากขึ้น ความเข้มข้นของชูปจะน้อยลง ทำให้กลิ่นและรสของชูปเจือจางลง ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมในการละลายผงชูปกลับคือ น้ำ 50 มิลลิลิตร ต่อผงชูป 1 กรัม โดยชูปที่ได้มีลักษณะคล้ายซูไซ่ คือมีขึ้นไข่ที่เกิดจากการเสียดสีของโปรตีนลอยอยู่ด้านบนของน้ำชูป ดังรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.6 ผลของปริมาณน้ำต่อน้ำหนักผงชูปต่อการยอมรับด้านกลิ่น รสหวาน รสเค็มและรสชาติโดยรวมของชูปปลา

ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร) ต่อน้ำหนักผงชูป (กรัม)	ผลการประเมิน				
	ความเห็น	จำนวนผู้ให้ความเห็น*(คน)			
		กลิ่น	รสหวาน	รสเค็ม	รสชาติโดยรวม
50:1	พอดี	27	23	26	26
100:1	พอดี	15	17	11	13
150:1	พอดี	3	0	2	0

หมายเหตุ : *จำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน

5.4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ซูปปลาผงจากหัวและโครงปลากะพง โดยทำให้ซูปแห้งแบบโพนัมเมท สามารถผลิตได้โดยมีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

- การผลิตน้ำซูป
 - ผสมหัวและโครงปลากับผัก ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของผักต่อหัวและโครงปลาเท่ากับ 1:1 ผักที่ใช้มี 5 ชนิด คือแครอท หอมหัวใหญ่ หัวไชเท้า ต้นหอมญี่ปุ่น และต้นหอม ซึ่งมีสัดส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 6:6:6:1:1
 - อบหัวและโครงปลาพร้อมผักที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที
 - ต้มเคี้ยวโดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อหัวและโครงปลาพร้อมผักหลังอบ เท่ากับ 9:1 นาน 4 ชั่วโมง
 - กรองน้ำซูป
 - เติมผงชูรสและสาหร่ายอบแห้งลงในซูป โดยเติมผงชูรส 1.3 กรัมและสาหร่ายอบแห้ง 0.5 กรัมลงในน้ำซูป 300 มิลลิลิตร ต้มต่อจนน้ำซูปเดือด
- การอบแห้ง
 - ผสมน้ำซูปกับไข่ขาว โดยใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของไข่ขาวต่อน้ำซูป 4:1
 - ตีปั่น 30 นาที ด้วย hand mixer (easy max power Moulinex, China) ที่ความเร็วคงที่ระดับ 3
 - อบโพนัมที่ได้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง
 - ชูตและบรรจุผงซูปในถุงซิปล็อค

สำหรับการนำซูปผงมาใช้ให้ละลายผงซูป 1 กรัม ในน้ำเดือด 50 มิลลิลิตร เนื่องจากผลิตภัณฑ์ซูปผงมีความชื้นต่ำถ้าเลือกบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ น่าจะสามารถเก็บไว้ได้อย่างน้อย 30 วัน

ข้อเสนอแนะ: ควรมีการศึกษาการใช้ตัวทำพองชนิดอื่นเพื่อเพิ่มค่าร้อยละการละลายและให้ซูปที่มีลักษณะใสไม่มีตะกอน

5.5 เอกสารอ้างอิง

มณฑล สุกใส. 2552. **ปฏิภริยาเมลลาร์ด**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:<http://www.thaifoodscience.com/ปฏิภริยาเมลลาร์ด.html> [สืบค้น 20 มีนาคมคม 2554].

อดิศักดิ์ อินทพิเชษฐ. 2554. **UMAMI: รสที่ห้า.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=2287&Itemid=3 [สืบค้น 8 เมษายน 2554].

International glutamate information service. 2011. **Glutamate : The Purest Taste Of Umami.**
[Online]. Available from: <http://www.glutamate.org/resources/booklet.asp> Retrieved

Reineccius, G. 2005. Change in Food Flavor Due to Processing. **Flavor Chemistry and Technology.** 5: 103-137.

USDA National Nutrient Database for Standard Reference. 2010. **Onions.** [Online]. Available
from: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl Retrieved, May 25,
2011.

บทที่ 6

การวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการสำหรับผลิตภัณฑ์จากปลากระพง

6.1 บทนำ

ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์จากปลากระพงที่ได้พัฒนาขึ้นโดยคณะผู้วิจัยจากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยคือ ปลากระพงรมควันเย็น ปลากระพงขาวย่างปรุงรส และลูกชิ้นปลากระพงแบบญี่ปุ่น (คามาบโโกะ) ได้ถูกจัดทำขึ้นตามข้อกำหนดของคณะกรรมการอาหารและยา (อ.ย.)

6.2 วิธีการวิเคราะห์

รายการที่วิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการสรุปได้ดังนี้

- โปรตีน ตาม AOAC (2000) 981.10 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Protein Content Unit (Kjeltec 2200 Auto Distillation Unit , Foss Analytical AB, Sweden)
- ไขมัน ตาม AOAC (2000) 948.15
- ไขมันอิ่มตัว ตาม Lepage และ Roy (1986) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Agilent GC 6890N Series, Germany)
- โคลเลสเตอรอล ตาม Thompson และ Merola (1993) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Agilent GC 6890N Series, Germany)
- พลังงานจากไขมัน ตาม Compendium of Methods for Food Analysis (2003) p 2-18 วิเคราะห์โดยการคำนวณ
- โยอาหาร ตาม AOAC (2000) 978.10 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fiber Content Analyzer (Foss Tecator Fibertec System, Foss Analytical AB, Sweden)
- คาร์โบไฮเดรต ตาม Compendium of Methods for Food Analysis (2003) p 2-9 วิเคราะห์โดยการคำนวณ
- พลังงานทั้งหมด ตาม Compendium of Methods for Food Analysis (2003) p 2-18 วิเคราะห์โดยการคำนวณ
- น้ำตาล ตาม AOAC (2000) 982.14 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (Agilent 1100 series, Germany)
- แคลเซียม ตาม AOAC (2000) 975.30 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma -Optical Emission Spectrometer (Jobin Yvon horiba / Ultima 2C, France)
- เหล็ก ตาม AOAC (2000) 975.30 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma -Optical Emission Spectrometer (Jobin Yvon horiba / Ultima 2C, France)
- โซเดียม ตาม AOAC (2000) 975.30 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma -Optical Emission Spectrometer (Jobin Yvon horiba / Ultima 2C, France)

- วิตามินเอ ตาม Devries และคณะ (1979) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (Agilent 1100 series, Germany)
- วิตามินบี 1 ตาม AOAC (2000) 986.27 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (Agilent 1100 series, Germany)
- วิตามินบี 2 ตาม AOAC (2000) 970.65 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (Agilent 1100 series, Germany)

6.3 ผลการวิเคราะห์

6.3.1 ผลិតภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็น

ผลการวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็นแสดงในรูปที่ 6.1

ข้อมูลโภชนาการ (ปลากะพงรมควันเย็น)			
หนึ่งหน่วยบริโภค : 55 กรัม			
จำนวนหน่วยบริโภคต่อชิ้น : 2			
คุณค่าทางโภชนาการ ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค			
พลังงานทั้งหมด 70 กิโลแคลอรี (พลังงานจากไขมัน 25 กิโลแคลอรี)			
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *	
ไขมันทั้งหมด	2.5 ก.		4 %
ไขมันอิ่มตัว	0.5 ก.		3 %
โคเลสเตอรอล	30 มก.		10 %
โปรตีน	10 ก.		
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	3 ก.		1 %
ใยอาหาร	0 ก.		0 %
น้ำตาล	0 ก.		
โซเดียม	170 มก.		7 %
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *	
วิตามินเอ	2 %	วิตามินบี 1	2 %
วิตามินบี 2	2 %	แคลเซียม	15 %
เหล็ก	30 %		
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี			
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้			
ไขมันทั้งหมด	น้อยกว่า	65 ก.	
ไขมันอิ่มตัว	น้อยกว่า	20 ก.	
โคเลสเตอรอล	น้อยกว่า	300 มก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	300 ก.		
ใยอาหาร		25 ก.	
โซเดียม	น้อยกว่า	2,400 มก.	
พลังงาน (กิโลแคลอรี) ต่อกรัม: ไขมัน = 9 : โปรตีน = 4 : คาร์โบไฮเดรต = 4			

รูปที่ 6.1

ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ปลากะพงรมควันเย็น

6.3.2 ผลิตรัณฑ์ปลากระพงย่างซีอิ๊วแบบญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการของผลิตรัณฑ์ปลากระพงย่างซีอิ๊วแบบญี่ปุ่นแสดงในรูปที่ 6.2

ข้อมูลโภชนาการ (ปลากระพงย่างซีอิ๊วแบบญี่ปุ่น)			
หนึ่งหน่วยบริโภค: 55 กรัม			
จำนวนหน่วยบริโภคต่อชิ้น: 2			
คุณค่าทางโภชนาการ ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค			
พลังงานทั้งหมด 90 กิโลแคลอรี (พลังงานจากไขมัน 20 กิโลแคลอรี)			
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำให้รับประทาน *	
ไขมันทั้งหมด 2.5 ก.		4	%
ไขมันอิ่มตัว 1 ก.		4	%
โคเลสเตอรอล 30 มก.		10	%
โปรตีน 15 ก.			
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 2 ก.		1	%
ใยอาหาร 0 ก.		0	%
น้ำตาล 1 ก.			
โซเดียม 5 มก.		0	%
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำให้รับประทาน *	
วิตามินเอ	2 %	วิตามินบี 1	2 %
วิตามินบี 2	2 %	แคลเซียม	2 %
เหล็ก	2 %		
*ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี			
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้			
ไขมันทั้งหมด		น้อยกว่า	65 ก.
ไขมันอิ่มตัว		น้อยกว่า	20 ก.
โคเลสเตอรอล		น้อยกว่า	300 มก.
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด			300 ก.
ใยอาหาร			25 ก.
โซเดียม		น้อยกว่า	2,400 มก.
พลังงาน (กิโลแคลอรี) ต่อกรัม: ไขมัน = 9 : โปรตีน = 4 : คาร์โบไฮเดรต = 4			

รูปที่ 6.2 ฉลากโภชนาการของผลิตรัณฑ์ปลากระพงย่างซีอิ๊วแบบญี่ปุ่น

6.3.3 ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลากระพงแบบญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลากระพงแบบญี่ปุ่นแสดงในรูปที่ 6.3

ข้อมูลโภชนาการ (ลูกชิ้นปลากระพงแบบญี่ปุ่น)			
หนึ่งหน่วยบริโภค : 55 กรัม			
จำนวนหน่วยบริโภคต่อชิ้น : ประมาณ 1			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค			
พลังงานทั้งหมด 45 กิโลแคลอรี (พลังงานจากไขมัน 0 กิโลแคลอรี)			
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *	
ไขมันทั้งหมด 0 ก.			0 %
ไขมันอิ่มตัว 0 ก.			0 %
โคเลสเตอรอล 5 มก.			2 %
โปรตีน 5 ก.			
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 5 ก.			2 %
ใยอาหาร 0 ก.			0 %
น้ำตาล 2 ก.			
โซเดียม 10 มก.			0 %
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *	
วิตามินเอ	2 %	วิตามินบี 1	2 %
วิตามินบี 2	2 %	แคลเซียม	2 %
เหล็ก	2 %		
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี			
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้			
ไขมันทั้งหมด	น้อยกว่า	65 ก.	
ไขมันอิ่มตัว	น้อยกว่า	20 ก.	
โคเลสเตอรอล	น้อยกว่า	300 มก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด		300 ก.	
ใยอาหาร		25 ก.	
โซเดียม	น้อยกว่า	2,400 มก.	
พลังงาน (กิโลแคลอรี) ต่อกรัม : ไขมัน = 9 : โปรตีน = 4 : คาร์โบไฮเดรต = 4			

รูปที่ 6.3 ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลากระพงแบบญี่ปุ่น

6.4 เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. **AOAC International Official Method, Gaithersburg, MD.**
- ACFS. 2003. Chapter 1, Food Additives. In: **Compendium of Methods for Food Analysis.** 1st edition. Department of Medical Sciences (DMSc), National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS). p 2-18.
- Devries, J. W. 1979. **Liquid chromatographic analysis of food and beverages:** vol 2.
- Lepage, G., and Roy, C.C. 1986. Direct trans-esterification of all classes of lipids in a one-step reaction. **Journal of Lipid Research.** 27: 114–120.
- Thompson, R.H., and Merola G.V. 1993. A simplified alternative to the AOAC official method for cholesterol in multi-component foods. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists.** 76(5): 1057-1068.