สภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาคุณภาพปลากะพงขาวอบแห้ง: กรณีศึกษาชุมชนตำบลบางเกลือ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา

OPTIMAL CONDITIONS FOR QUALITY DEVELOPMENT OF DRIED SEA BASS: CASE STUDY OF BANG KLUEA COMMUNITY, BANG PAKONG DISTRICT, CHACHOENGSAO PROVINCE

ภูมิพัฒน์ ก่ำคำ[1]*, ชัชวาล มงคล*[2]*, จักรพันธ์ ปิ่นทอง*[3]*, ศรินยา ประทีปชนะชัย*[2]****

Phumiphat Kakham[1]*, Chatchawarn Mongkhon*[2]*, Jakaphan Pinthong*[3]*, Sarinya Prateepchanachai*[2]****

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

[1]Electrical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University.

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

[2]Automated Manufacturing Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University.

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

[3]Industrial Management Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University.

**Corresponding author, e-mail: sarinya.ptcc@gmail.com*

Received: *18 August 2020;* ***Revised:*** *24 February 2022;* ***Accepted:*** *25 April 2022*

บทคัดย่อ

ปลากะพงขาวมีความสำคัญทางเศรษฐกิจต่อเกษตรจำนวนมากที่เลี้ยงปลากะพงในตำบลบางเกลือ จังหวัดฉะเชิงเทรา แต่ในปัจจุบันประสบปัญหาปริมาณล้นตลาด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวโดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้ง ได้แก่ วิธีการเตรียมตัวอย่าง ความหนา และอุณหภูมิที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านสี ปริมาณน้ำอิสระ ความแข็ง ความเหนียว เปอร์เซ็นต์การหดตัว และการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ โดยการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการแช่ล้างในสารละลายกรด 1% (w/v) Citric ร่วมกับ 3% (w/v) NaCl และไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ เป็นตัวอย่างควบคุม ผลการศึกษาพบว่า เนื้อปลากะพงขาวแผ่นที่ระดับความหนา 5 mm อุณหภูมิอบแห้ง 80ºC ผ่านการแช่ล้างในสารละลายใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าตัวอย่างควบคุม คุณภาพทางด้านสี พบว่า มีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ลดลง ค่าปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.61 ความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แต่ความเหนียวไม่มีความแตกต่างกัน และเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้ง พบว่าปรากฏพีกสำคัญที่ตำแหน่ง 2,925 , 2,854 , 1,743 และ 1,170 cm^{-1} มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อปลากะพงขาวแผ่น

ก่อนการอบแห้งสามารถช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดทำให้ชะลอการเกิดกลิ่นและรสที่ผิดปกติได้ และยังเป็นเหตุผลที่ทำให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าปรากฏพีกเล็ก ๆ ในช่วง 1,300-1,200 cm^{-1} และ 850 cm^{-1} มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่มีรสเค็มเล็กน้อย ดังนั้นเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งนี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้แก่เกษตรกร

คำสำคัญ: การอบแห้งแบบลมร้อน ปลากะพงขาว ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Abstract

Sea bass are economically important for Bang Pakong district, Chachoengsao province causing farmers to be a career to raise a lot of sea bass but currently experiencing a problem of oversupply. This research aims to develop the sea bass products by using hot air oven dryer. The study of the drying conditions, such as sample preparation, thickness and drying temperature on drying kinetics. Study of product quality in color, water activity, hardness, toughness, percentage of shrinkage and analysis of function groups of dried sea bass products by using Fourier Transform Infrared Spectroscopy technique that affects physical characteristics. The samples were prepared by immersing in 1%(w/v) citric acid solution combined with 3%(w/v) NaCl and without any processing as a control sample. The study result was found that sea bass fillets at a thickness of 5 mm, the drying temperature of 80°C, was immersed in 1%(w/v) citric acid solution combined with 3%(w/v) NaCl led to drying time was shorter than control sample. The color quality was showed that the lightness (*L**) increased, the redness (*a**) and the yellowness (*b**) decreased. The water activity was 0.61, the hardness was less than the control sample but there was no significant difference and the percentage of shrinkage was less than control sample. Analysis of function groups of dried sea bass found that the peak position significantly at 2,925 , 2,854, 1,743 and 1,170 cm^{-1} decreased, indicating that the preparation of sea bass fish products before drying can reduce lipid oxidation led to make delay the occurrence of unusual odors and flavors and also it is cause of the hardness of the product is less than the control sample. In addition, it was found that small peaks appeared between 1,300-1,200 cm^{-1} and 850 cm^{-1} increased which relates to products that are slightly salty. Therefore, this dried sea bass products is suitable for use as a guideline for product development for farmers in the future.

Keywords: Hot Air Drying, Sea Bass, Fourier Transform Infrared Spectroscopy

บทนำ

จังหวัดฉะเชิงเทราเป็นแหล่งผลิตปลากะพงขาวที่สำคัญของประเทศ โดยเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งเป็นพื้นที่มีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่ง ปลากะพงขาวจัดว่าเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ได้รับการสนับสนุนให้เกษตรกรเพาะเลี้ยงภายใต้การส่งเสริมของกรมประมง เนื่องจากเลี้ยงง่าย มีรสชาติอร่อย และเป็นที่นิยมของผู้บริโภคกันโดยทั่วไปซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะโปรตีนในเนื้อปลาจะถูกนำไปใช้ ในการสร้างเนื้อเยื่อและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ มีวิตามินและเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกายอีกทั้งยังมี

ศักยภาพทางการตลาดสูงและราคาปลาต่อกิโลกรัมนับว่าสูงกว่าปลาชนิดอื่น ๆ [1-2] จึงทำให้เกษตรกรหันมาเลี้ยงปลากะพงขาวเพื่อสร้างรายได้กันมากขึ้น

ชาวบ้านกลุ่มเกษตรกรพื้นที่ลุ่มน้ำปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา มีความได้เปรียบของพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลากะพงขาวจึงมีผู้ประกอบอาชีพเลี้ยงปลากะพงขาวจำนวนมาก ดังนั้นการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวทั้งในกะชังและการเลี้ยงในบ่อดินจึงขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในบางครั้งมีปัญหาเรื่องของราคาตกเนื่องจากปลาล้นตลาด โดยเฉพาะปลากะพงขาวที่มีขนาดใหญ่เกินความต้องการ นอกจากนี้ยังมีปลาราคาถูกเนื่องจากลักษณะทางกายภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของตลาด หรือราคาอาหารปลาสูงขึ้นทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงขาดทุน และการขยายการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวอย่างรวดเร็ว ที่ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่เพาะเลี้ยงในบ่อดิน ทำให้เนื้อปลากะพงขาวมีกลิ่นไม่พึงประสงค์และมีราคาลดลง [3] ทำให้เกิดความเสียหายแก่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาว จากการลงพื้นที่ภาคสนามและสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพง ตำบลบางเกลือ อำเภอบางปะกง เกษตรกรจึงต้องการให้ช่วยแก้ปัญหาปลากะพงขาวราคาถูกโดยเพิ่มช่องทางการตลาดหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าเพิ่ม และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำปลากะพงขาวมาแปรรูปเป็นอาหารทะเลแห้งซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายของผู้บริโภค และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน รวมทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์และคุณค่าทางอาหารไม่สูญเสียไป

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปและถนอมอาหารที่สำคัญเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร สะดวกในการจัดเก็บ การขนส่ง และเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร แต่อาหารนั้นต้องมีคุณภาพปลอดภัยและมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค [4] โดยปัจจัยอย่างหนึ่งที่กำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์คือ ความชื้น ซึ่งปริมาณความชื้นสุดท้ายของการอบแห้งหรืออาหารทอดอยู่ในช่วงร้อยละ 14-16 มาตรฐานแห้ง เป็นช่วงที่ทำให้อาหารเก็บรักษาได้นาน [1, 5] ซึ่งขั้นตอนการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาจึงมีความสำคัญ แต่วิธีการตากแดดตามธรรมชาติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จะอาศัยหลักการพาความร้อนและแผ่รังสีความร้อนทำให้เหลือความชื้นสุดท้ายในช่วงร้อยละ 20-25 มาตรฐานแห้ง ทำให้ส่งผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง [6] อีกทั้งยังเกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรกเนื่องจากกรรมวิธีและสถานที่รวมทั้งการรบกวนจากแมลงวัน และระยะเวลาในการตากแห้งที่ยาวนาน เนื่องจากปริมาณแสงแดดในแต่ละวันไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเน่าเสีย และเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี เอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์ เกิดกลิ่นเหม็นหืน และผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ [1, 7] ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานและไม่มีความสม่ำเสมอ การเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยการเพิ่มคุณภาพของปลากะพงโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต รวมทั้งกระบวนการลดความชื้นด้วยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยบรรเทาปัญหาเหล่านี้ได้ การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะว่าตู้อบมีการกระจายของลมร้อนสม่ำเสมอ สามารถจัดหาและติดตั้งง่าย มีราคาถูกและให้ผลคุ้มค่าในระยะยาว [8] การศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวข้องพบว่า มีการเตรียมตัวอย่างของเนื้อปลาโดยวิธีการแช่ล้างในสารละลายกรดซิตริก (Citric acid) ร่วมกับการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) เนื่องจากกรดซิตริกเป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา และยังทำหน้าที่เป็นสารคีเลต (Chelating agent) ช่วยทำให้เกิดการสลายตัวของเกลือโลหะ ซึ่งป้องกันเกลือโลหะเกิดการตกตะกอนจึงทำให้เกิดการละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้โซเดียมคลอไรด์สามารถแยกสารเคมีตกค้างประเภทฟอสฟาไทด์ (Phosphatide) ที่ได้จากเยื่อหุ้มเซลล์ของสัตว์ [9] ผู้วิจัยจึงนำกรดซิตริกและโซเดียมคลอไรด์มาประยุกต์ใช้ในการทดลอง ดังนั้นการพัฒนากระบวนการผลิตปลากะพงอบแห้งจึงเป็นประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ เพื่อวิเคราะห์แก้ปัญหาให้ชุมชนทำให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้ และผลิตปลากะพงอบแห้งที่มีคุณภาพสูงเป็นการพัฒนาผลิตใหม่เพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายและสร้างตลาดใหม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้ง ได้แก่ ความหนา 2 mm และ 5 mm อุณหภูมิอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60-90 ºC และวิธีการเตรียมตัวอย่างที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้ง ได้แก่ สี ปริมาณน้ำอิสระ ความแข็ง ความเหนียว เปอร์เซ็นต์การหดตัว และการวิเคราะห์วิธีการเตรียมตัวอย่างที่มีผลต่อหมู่ฟังก์ชั่นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ

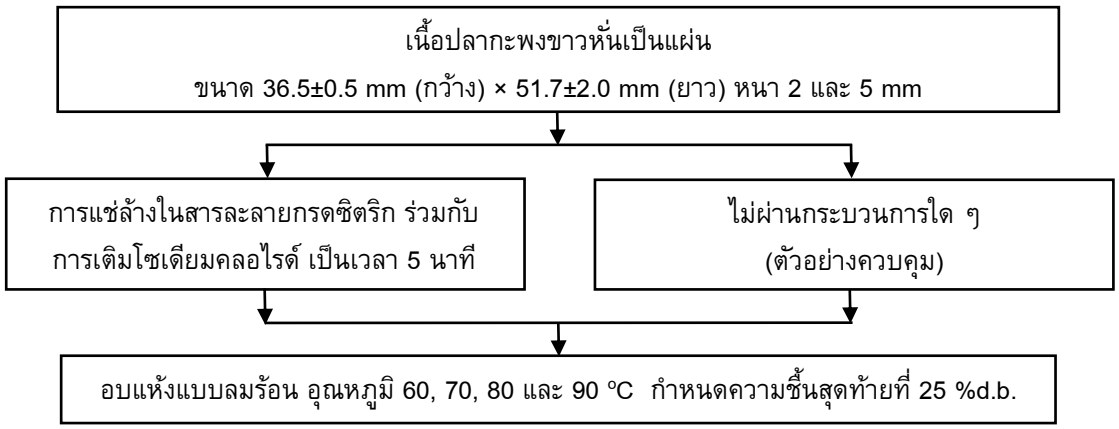
วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ใช้ปลากะพงขาวน้ำหนัก 5 กิโลกรัมขึ้นไป จากเกษตรในตำบลบางเกลือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบที่มีการปรับสภาพเนื้อปลามีการใช้กรดซิตริกและโซเดียมคลอไรด์จากบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย) โดยละลายน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จากบริษัท ทรอปิก้าไลฟ์ จำกัด (กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย) ตู้อบลมร้อน (รุ่น UF 55, Memmert, Germany) ขดลวดความร้อนขนาด 2 กิโลวัตต์ ควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 300 ºC ห้องอบแห้งขนาด 400 × 320 × 250 มิลลิเมตร (กว้าง × สูง × ลึก)

2. การเตรียมตัวอย่าง

นำเนื้อปลากะพงขาวมาหั่นเป็นแผ่นขนาด 36.5±0.5 mm (กว้าง) × 51.7±2.0 mm (ยาว) หนา 2 และ 5 mm มาแช่ล้างในสารละลายกรดซิตริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (1% w/v) ร่วมกับการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (3% w/v) เป็นเวลา 5 นาที [9] และไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ เป็นตัวอย่างควบคุม (Control) จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 4 ระดับ ได้แก่ 60 ºC, 70 ºC, 80 ºC และ 90 ºC ทั้งนี้เนื้อปลากะพงขาวแผ่นมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 302.2-323.3 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง (%d.b.) แผนภูมิขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมิขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

3. วิธีการทดลอง

เนื้อปลากะพงขาวแผ่นหลังผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างทั้ง 2 วิธี นำมาอบแห้งแบบลมร้อนจนเนื้อปลามีความชื้นสุดท้ายประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เป็นไปตามการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. เลขที่ 6/2549 มาตรฐานปลาแห้ง (DRIED FISH) [10] แล้วนำไปเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อไม่ให้สัมผัสกับสภาพแวดล้อม จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพทางด้านสี ปริมาณน้ำอิสระ ความแข็ง ความเหนียว เปอร์เซ็นต์การหดตัว และเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

4. การหาปริมาณความชื้น

การหาน้ำหนักแห้งของเนื้อปลากะพงขาวในแต่ละกรณีที่เวลาใด ๆ ใช้วิธีนำเนื้อปลากะพงขาวมาสับละเอียดและชั่งมวลก่อนอบแห้ง (M_i) ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น โดยปล่อยไว้จนอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งมวลหลังอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ [11] จึงนำค่ามวลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นที่เวลาใด ๆ ได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)} = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ M_i คือมวลของเนื้อปลากะพงขาวแผ่น ณ เวลาใด ๆ (กรัม), M_s คือ มวลแห้งของเนื้อปลากะพงขาวแผ่น (กรัม)

5. การวัดความหนาของตัวอย่าง

ค่าความหนาของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์แบบดิจิตอล (Digital Vernier Caliper) ยี่ห้อ MITUTOYO (รุ่น 500-197-30, กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย) มีค่าความแม่นยำ ±0.02 mm

6. การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

6.1 การทดสอบคุณภาพทางด้านสี

ปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งถูกนำมาวัดสีด้วยเครื่อง Color meter (รุ่น UltraScanVis, HunterLab, USA) วัดที่ผิวของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งตามระบบ Hunter ซึ่งแสดงในเทอมของ L^* (Lightness), a^* (Redness) และ b^* (Yellowness) โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง มีค่าระหว่าง 0-100 ค่า a^* แสดงค่าสีแดงและสีเขียว และค่า b^* แสดงค่าสีเหลืองและน้ำเงิน การทดสอบใช้เนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งจำนวน 3 ชิ้นต่อการทดสอบแต่ละครั้ง แล้วนำค่าสีที่วัดได้มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE) เปรียบเทียบกับสีของเนื้อปลากะพงสดก่อนแปรรูป ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมคำนวณจากสมการที่ (2)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2} \quad (2)$$

โดยที่ L_t^*, a_t^* และ b_t^* คือ ค่าพารามิเตอร์สีของปลากะพงขาวในระหว่างการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิใด ๆ และ L_0^*, a_0^* และ b_0^* คือ ค่าพารามิเตอร์สีของปลากะพงขาวสด

6.2 การทดสอบคุณภาพทางด้านการหดตัว

ปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งจำนวน 3 ชิ้น ถูกนำมาหาอัตราส่วนปริมาตรโดยวิธีการแทนที่ในของแข็งด้วยเม็ดทรายละเอียด (Glass breads) ซึ่งปริมาตรปลากะพงขาวแผ่นคำนวณโดยใช้สมการที่ (3)

$$V = \frac{M_b - [M_{s+b} - M_v - M_s]}{\rho_b} \quad (3)$$

โดยที่ M_b คือ น้ำหนักของภาชนะที่บรรจุ Glass breads จนเต็ม, M_v คือ น้ำหนักของภาชนะเปล่า

M_{s+b} คือ น้ำหนักของภาชนะที่บรรจุ Glass breads และปลากะพงขาวแผ่น

M_s คือ น้ำหนักของปลากะพงขาวแผ่น, ρ_b คือ ความหนาแน่นของ Glass breads

การหาอัตราส่วนปริมาตรหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งต่อปริมาตรของปลากะพงขาวสดดังสมการที่ (4)

$$\%\text{Volumetric ratio} = \frac{V}{V_i} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ V_i และ V คือ ปริมาตรของปลากะพงขาวสดและปริมาตรของปลากะพงขาวแผ่นอบแห้ง ตามลำดับ

6.3 การทดสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส

การทดสอบด้านเนื้อสัมผัส (ความแข็งและความเหนียว) ใช้เนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้ง 3 ชิ้นต่อตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Texture analyzer (ยี่ห้อ TexturePro CT3, Brookfield, USA) โดยความแข็งพิจารณาจากค่ารอบการทดสอบความแข็ง (Hardness Cycle) ที่กระทำต่อชิ้นปลากะพงขาวแผ่นอบแห้ง หัวกดที่ใช้ทดสอบเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ความเร็วในการกด 0.5 mm/s ส่วนความเหนียวพิจารณาจากค่าแรงยึดติด (Adhesive Force) ที่กระทำต่อชิ้นเนื้อปลากะพงขาวแผ่นจนแยกออกจากกัน

6.4 การทดสอบปริมาณน้ำอิสระ

การทดสอบปริมาณน้ำอิสระของปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งใช้เครื่อง Water Activity Meters (ยี่ห้อ AQUA LAB, CX3TE, USA) เริ่มจากนำปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งบดให้ละเอียด บรรจุในภาชนะพลาสติกที่มีขนาดจำเพาะกับตัวเครื่องให้มีปริมาตรประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของปริมาตรภาชนะ (ประมาณ 5 กรัม) จากนั้นเปิดสวิตช์เครื่องทดสอบแล้ววางภาชนะพลาสติกลงในเครื่องและเริ่มวัดจนกว่าค่าที่อ่านได้คงที่ ซึ่งใช้เวลาในการวัดประมาณ 20-30 นาที เครื่องจะส่งสัญญานแจ้งเตือนเพื่อแสดงว่าทดสอบเสร็จสิ้น แล้วจึงอ่านค่าที่ได้พร้อมบันทึกผล [12]

6.5 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

การศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscope รุ่น Spectrum One ในรูปแบบ Attenuated Total Reflectance (ATR) โดยสเปกตรัมที่ใช้บันทึกอยู่ในช่วงเลขคลื่น 4000-400 ต่อเซนติเมตร ความละเอียดที่ 4 ต่อเซนติเมตร และจำนวนการสแกนเท่ากับ 32

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี ปริมาณน้ำอิสระ ความแข็ง ความเหนียว และเปอร์เซ็นต์การหดตัว ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS® (Version 16, Chicago, IL) วิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

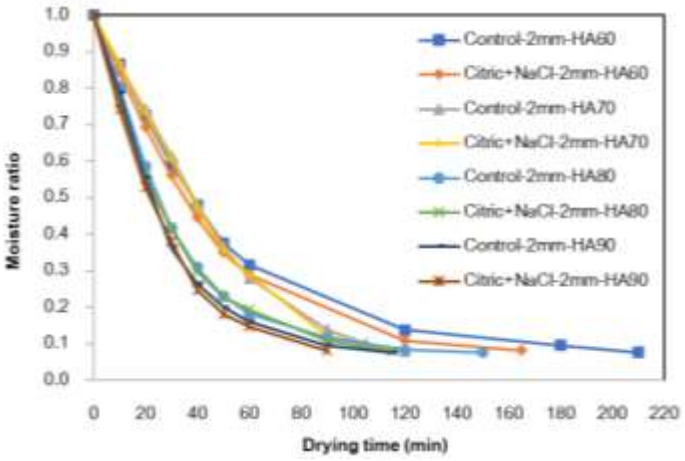
ผลการวิจัย

1. ศึกษาจลพลศาสตร์ของการอบแห้ง

1.1 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและความหนาต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 ºC ดังภาพที่ 2 พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid +

3% (w/v) NaCl ที่ระดับความหนา 2 mm อุณหภูมิอบแห้ง 60, 70, 80 และ 90 ºC ใช้เวลาอบแห้ง 165, 130, 120 และ 90 นาที ตามลำดับ และตัวอย่างควบคุมใช้เวลาอบแห้ง 210, 150, 135 และ 110 นาที ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (90 ºC) จะถ่ายเทความร้อนปริมาณมาก ทำให้ความชื้นในเนื้อปลากะพงขาวแผ่นเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว ความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ผิวของเนื้อปลาเริ่มเกิดการไหม้ เมื่อพิจารณาที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 60, 70 และ 80 ºC พบว่าที่อุณหภูมิ 80 ºC ความชื้นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ สังเกตได้ว่าในช่วงต้นของการอบแห้งอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งเนื้อปลากะพงขาวแผ่นโดยผ่านการแช่ล้างด้วยสารละลาย Citric Acid ร่วมกับ NaCl ใช้เวลาการอบแห้งสั้นกว่าตัวอย่างควบคุมในการอบแห้งที่ทุกอุณหภูมิ เนื่องจากสารละลาย NaCl จะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อปลากะพงและทำให้เกิดการดึงน้ำออกมาที่บริเวณผิวของเนื้อปลากะพงได้ตามหลักการของออสโมซิส (Osmosis pressure) หลังจากนั้นอุณหภูมิของเนื้อปลากะพงขาวจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการควบแน่นของน้ำที่บริเวณผิวเนื้อปลากะพงขาว ทำให้เกิดการระเหยได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อัตราส่วนความชื้นในช่วงแรกของการอบแห้งโดยผ่านการแช่ล้างด้วยสารละลาย Citric Acid ร่วมกับ NaCl ลดลง ทำให้ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นกว่าตัวอย่างควบคุม



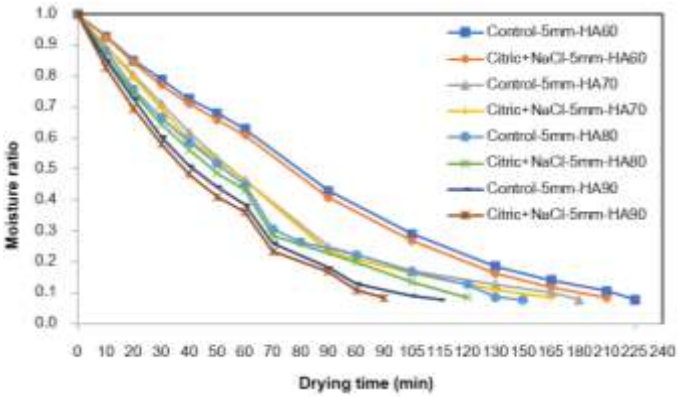
ภาพที่ 2 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งเนื้อปลากะพงขาวแผ่นโดยผ่านการแช่ล้างด้วยสารละลาย Citric acid ร่วมกับ NaCl และตัวอย่างควบคุม ที่ระดับความหนา 2 mm อุณหภูมิอบแห้ง 60, 70, 80 และ 90 ºC

เมื่อระดับความหนาของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีความหนา 5 mm หลังผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 ºC พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl ใช้เวลาการอบแห้ง 360, 300, 180 และ 165 นาที ตามลำดับ ในกรณีของตัวอย่างควบคุมใช้เวลาการอบแห้งนานถึง 390, 330, 220 และ 195 นาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl ใช้เวลาการอบแห้งสั้นกว่าตัวอย่างควบคุม ดังนั้น ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นหนา 2 และ 5 mm แสดงให้เห็นว่าเนื้อปลากะพงขาวแผ่นหนา 2 mm ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าแผ่นหนา 5 mm เนื่องจากแผ่นที่มีความหนาน้อยจะมีระยะทางที่ความชื้นต้องใช้ในการเคลื่อนที่จากภายในเนื้อปลาออกมายังผิวน้อยกว่า ทำให้ความชื้นสามารถเคลื่อนที่ออกได้อย่างรวดเร็ว [13] ถึงแม้ว่าเนื้อปลากะพงแผ่นที่มีความหนาน้อยจะส่งผลในแง่ของการใช้เวลาอบแห้งอย่างรวดเร็ว

แต่ทว่าลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีความบางมากอาจไม่ตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม จึงเลือกเนื้อปลากะพงขาวแผ่นที่มีความหนา 5 mm ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเป็นแผ่นที่หนาขึ้น

1.2 ผลของการเตรียมตัวอย่างต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบการเตรียมตัวอย่างระหว่างวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl เป็นเวลา 5 นาที กับกรณีตัวอย่างควบคุม ทั้ง 2 ระดับความหนา (2 และ 5 mm) ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 พบว่าเนื้อปลากะพงขาวแผ่นหลังผ่านการแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl โดยในช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่อง จากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูงเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการถ่ายเทมวลของความชื้นจากภายในเนื้อปลากะพงขาวแผ่นไปที่ผิวเนื้อปลาและระเหยไปสู่อากาศ หลังจากนั้นความชื้นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นจะเหลืออยู่ไม่มากนักจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเนื้อปลากะพงขาวแผ่นไปยังผิวเนื้อปลาค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ในที่สุด [14] ซึ่งจนลพลศาสตร์การอบแห้งของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นในทุกสภาวะมีลักษณะใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าผลร่วมกันระหว่างการใช้สารละลาย Citric Acid และ NaCl ช่วยลดความชื้นในเนื้อปลากะพงขาวแผ่นได้เป็นอย่างดี อาจเป็นเพราะสารละลาย Citric Acid ช่วยลดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ให้เท่ากับจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric Point) ในโมเลกุลของโปรตีน รวมทั้งความสามารถในการกักเก็บน้ำของโปรตีนลดลงอันเนื่องมาจากภายในโมเลกุลเกิดการแตกสลาย และผลของสารละลาย NaCl สามารถดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสจึงทำให้ใช้เวลาอบแห้งที่น้อย [9]



ภาพที่ 3 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งเนื้อปลากะพงขาวแผ่นโดยผ่านการแช่ล้างด้วยสารละลาย Citric Acid ร่วมกับ NaCl และตัวอย่างควบคุม ที่ระดับความหนา 5 mm อุณหภูมิอบแห้ง 60, 70, 80 และ 90 °C

2. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.1 คุณภาพทางด้านสี

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านสีของเนื้อปลากะพงขาวสดและเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งมีความหนา 5 mm หลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C ดังตารางที่ 1 พบว่าสีของเนื้อปลากะพงสดมีค่าความสว่าง (ค่า L^*) มากที่สุด มีแนวโน้มให้ค่าสีเขียว (ค่า $-a^*$) และค่าสีเหลือง (ค่า b^*) น้อยที่สุด จากการวิเคราะห์ค่า L^* ของการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl พบว่ามีค่า L^* ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อปลากะพงสด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 48.3 แต่มีค่า L^* มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แสดงว่า

ตัวอย่างควบคุมมีสีน้ำตาลคล้ำขึ้น เนื่องจากตัวอย่างควบคุมใช้ระยะเวลาการอบแห้งนาน ทำให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ได้แก่ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ของน้ำตาลรีดิวซ์กับโปรตีนและปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน (Caramelization) จากน้ำตาล [13] ซึ่งส่งผลให้ตัวอย่างควบคุมมีผิวสีน้ำตาลคล้ำมากกว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl การวัดค่า a^* ของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้ง พบว่าค่า a^* ของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.8 เนื่องจากกรดทำให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ลดลง [15] ส่งผลให้ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ของกล้ามเนื้อที่เป็นตัวกำหนดสีอาจทำให้เนื้อปลากะพงขาวอบแห้งมีสีแดงลดลง และเกิดปฏิกิริยากลายเป็นเมทไมโอโกลบิน (Metmyoglobin) ซึ่งส่งผลให้เนื้อปลากะพงขาวอบแห้งมีสีน้ำตาลอ่อนโดยมีค่า L^* เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่า a^* ลดลง สำหรับค่า b^* มีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งได้ค่า b^* เท่ากับ 18.7 แต่มีค่ามากกว่าเนื้อปลาสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างควบคุมมีสีออกเหลืองเข้มอันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิอบแห้งและใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ของตัวอย่างควบคุมมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 25.1 เนื่องจากผลของค่าสี a^* และ b^* มีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.2

ผลการทดสอบปริมาณน้ำอิสระดังตารางที่ 1 พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl ของปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งมีค่าปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.61 ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 4 สัปดาห์ โดยคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 6/2549 ซึ่งช่วยชะลอการเสื่อมเสียและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านสี และปริมาณน้ำอิสระของเนื้อปลากะพงขาวแผ่น

การเตรียมตัวอย่าง	ค่าสี				
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	a_w
1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl	48.3±1.6^{B}	1.8±0.4^{B}	18.7±1.9^{B}	19.2±2.4^{A}	0.61±0.01^{A}
ตัวอย่างควบคุม (Control)	43.8±2.4^{A}	4.0±1.1^{C}	23.1±3.0^{C}	25.1±3.6^{B}	0.60±0.01^{A}
เนื้อปลาสด (Fresh fish fillet)	52.2±1.7^{C}	-3.6±0.1^{A}	0.7±0.9^{A}	-	-

หมายเหตุ อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p<0.05)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณภาพด้านความแข็ง ความเหนียว และการหดตัวของเนื้อปลากะพงขาวแผ่น

การเตรียมตัวอย่าง	ความแข็ง (N)	ความเหนียว (N)	การหดตัว (%)
1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl	20.0±3.1^{A}	0.02±0.01^{B}	42.1±3.9^{A}
ตัวอย่างควบคุม (Control)	26.6±2.8^{B}	0.02±0.01^{B}	47.6±3.0^{B}

หมายเหตุ อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p<0.05)

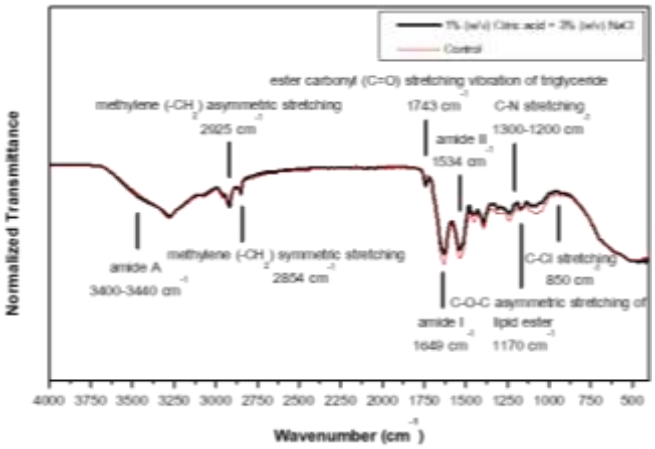
2.2 คุณภาพทางด้านความแข็ง ความเหนียว และเปอร์เซ็นต์การหดตัว

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านความแข็งและความเหนียวของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้ง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความหนา 5 mm และอุณหภูมิอบแห้ง 80 ºC เช่นเดียวกัน ค่าความแข็งและความเหนียวของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl มีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม เท่ากับ 20.0 และ 26.6 N ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างควบคุมใช้เวลาการอบแห้งนาน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นบริเวณผิวระเหยออกไปได้เร็วกว่าที่ความชื้นภายในเนื้อปลาจะเคลื่อนที่ออกมา ทำให้ลักษณะที่ผิวผลิตภัณฑ์แห้งแข็งแต่ภายในชื้น [16] ส่วนการใช้สารละลาย Citric acid ร่วมกับ NaCl ช่วยลดความชื้นในเนื้อปลากะพงขาวแผ่นได้เป็นอย่างดีก่อนทำการอบแห้ง อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม สำหรับค่าความเหนียวทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากันคือ 0.02 N โดยไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณน้ำอิสระที่เป็นค่าแสดงปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากัน และยังพบว่าวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl ส่งผลให้เนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เนื่องจากใช้เวลาอบแห้งน้อยจึงได้รับความร้อนเป็นเวลาไม่นานนัก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการหดตัวน้อย [13]

3. การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งด้วยเทคนิค FTIR

FTIR spectroscopy นำมาใช้วัดค่าการดูดกลืนรังสีในย่านอินฟราเรดของตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์วิธีการเตรียมตัวอย่างที่อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชั่นของสารละลาย Citric acid ร่วมกับ NaCl ภายในเนื้อปลากะพงขาวแผ่นต่อลักษณะทางกายภาพ โดยวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมในช่วงความยาวคลื่น 4,000-400 cm^{-1} ดังภาพที่ 4 พบว่า สเปกตรัมของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งทั้งสองกรณีแสดงพีกหลัก ๆ ที่คล้ายคลึงกันแต่ช่วงความกว้างของคลื่นแตกต่างกัน เมื่อเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric acid + 3% (w/v) NaCl จะปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 3,400-3,440 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ amide A [17] มีค่าลดลงเกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของหมู่ N-H เป็นเพราะการแช่ล้างด้วยสารละลายทำให้พันธะไฮโดรเจนยึดจับกับโมเลกุลน้ำ (H_2O) รวมทั้งยึดจับคลอรีน (Cl^-) ของ NaCl ระหว่างโมเลกุลของ N-H ส่งผลให้พีกมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2,925, 2,854 และ1,743 cm^{-1} แสดงถึงการยืดที่ไม่สมมาตรของพันธะเมทิลีน ($-CH_2$) การยืดที่สมมาตรของพันธะเมทิลีน และการสั่นแบบยืดของพันธะเอสเทอร์คาร์บอนิล (C=O) ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) [18] มีค่าลดลง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อปลากะพงขาวแผ่นจะสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid oxidation) เช่น แอลดีไฮด์และคีโตน (Aldehyde and Ketone) จึงช่วยทำให้ชะลอการเกิดกลิ่นและรสที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์ได้ รวมทั้งลักษณะการสั่นแบบยืดของพันธะเอสเทอร์คาร์บอนิล (C=O) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนลดลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม และยังสามารถยืนยันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดลดลงได้จากการปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 1,170 cm^{-1} แสดงถึงการยืดที่ไม่มีสมมาตรของพันธะ (C-O-C) ของลิพิดเอสเทอร์ [18] ซึ่งเกี่ยวข้องกับโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบทำให้เกิดการเหม็นหืนจะถูกแทรกที่ด้วยหมู่ ไฮดรอกไซด์ (-OH) ของสารละลาย Citric acid ($C_6H_8O_7$) ทำให้ผลิตภัณฑ์เหม็นหืนน้อยลง นอกจากนี้ สเปกตรัมของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งจะปรากฏพีกเล็ก ๆ เพิ่มสูงขึ้นที่ตำแหน่งสำคัญ ได้แก่ ตำแหน่ง 1,649 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ amide I ของโปรตีน เกิดการสั่นสะเทือนจากการยืดตัวของ C=O รวมกับการหดตัวของ N-H ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างทุติยภูมิของคอลลาเจน [17] ในส่วนของพีกที่ตำแหน่ง 1,534 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ amide II [17] แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของโปรตีนมีพันธะไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นและยังปรากฏพีกในช่วง 1,300-

1,200 cm^{-1} และ 850 cm^{-1} แสดงถึงการยืดตัวของหมู่ C-N และหมู่ C-Cl [19] ตามลำดับ เนื่องจากโซเดียมไอออน (Na^+) จาก NaCl กระตุ้นให้พันธะคาร์บอนไปเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ N-H และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ยึดจับกับพันธะคาร์บอนในโมเลกุลของโปรตีน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสเค็มมากกว่าตัวอย่างควบคุม ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR สามารถช่วยอธิบายโครงสร้างหมู่ฟังก์ชั่นของสารละลาย Citric acid ร่วมกับ NaCl ภายในเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 4 FTIR spectrum ของเนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้ง

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของระดับความหนา อุณหภูมิอบแห้ง และวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อปลากะพงขาวที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง พบว่าที่ระดับความหนา 5 mm ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้ช้าเมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 80 ºC มีผลต่อการลดความชื้น สี ปริมาณน้ำอิสระ ความแข็ง ความเหนียว และเปอร์เซ็นต์การหดตัว และผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแช่ล้างด้วยสารละลาย 1% (w/v) Citric ร่วมกับ 3% (w/v) NaCl ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าตัวอย่างควบคุม คุณภาพทางด้านสี พบว่า สีของเนื้อปลากะพงแผ่นอบแห้งเป็นสีน้ำตาลอ่อนซึ่งสังเกตได้จากค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ที่น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม เนื้อปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งมีปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.61 และมีความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมแต่ความเหนียวไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ด้านลักษณะกายภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวอบแห้งที่ได้สามารถวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นด้วยเทคนิค FTIR พบว่าปรากฏพีกสำคัญที่ตำแหน่ง 2,925, 2,854 และ1,743 cm^{-1} มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อปลากะพงขาวแผ่นก่อนการอบแห้งสามารถช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด ทำให้ชะลอการเกิดกลิ่นและรสที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์ได้ และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม และยังสามารถยืนยันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดลดลงได้จากการปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 1,170 cm^{-1} ซึ่งเกี่ยวข้องกับโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบทำให้เกิดการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์น้อยลง อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของพีกเล็ก ๆ ที่ตำแหน่งสำคัญในช่วง 1,300-1,200 cm^{-1} และ 850 cm^{-1} ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสเค็มมากกว่าตัวอย่างควบคุมเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวโดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จะสามารถเพิ่มช่องทางในการประกอบอาชีพให้แก่เกษตรกรในชุมชนตำบลบางเกลือ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เกษตรกรผู้ที่สนใจจะสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งในรูปแบบพร้อมรับประทาน หรือผสมผงปรุงรสสำเร็จรูปสำหรับเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ ตลอดจนผู้บริโภคสามารถนำไปใช้ประกอบอาหารได้หลายประเภท โดยการนำงานวิจัยนี้ไปใช้กับชุมชนเกษตรต้องได้รับการฝึกอบรมและถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถผลิตปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์จำหน่ายในเชิงพานิชย์นั้นต้องดำเนินการสำรวจตลาดและสำรวจความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมก่อน เพื่อลดความเสี่ยงและสร้างความมั่นใจในด้านการลงทุนพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาวแผ่นอบแห้งจะช่วยเกษตรกรที่ประสบปัญหาราคาปลากะพงตกต่ำเนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) ทำให้มีปลากะพงจำนวนมากไม่สามารถกระจายปลากะพงสดในช่องทางปกติได้ จึงส่งผลให้เกษตรกรจำเป็นต้องทยอยจับปลาขายและแบกรับต้นทุนค่าอาหาร การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลากะพงอบแห้งสามารถช่วยยืดอายุการเก็บอาหารไว้ให้ได้นานและทำให้สะดวกในการขนส่ง รวมทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในเนื้อปลากะพงขาวที่ผ่านการอบแห้งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2563 ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในงานวิจัยของโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kanpairo, K. (2016). The Development of Intermediate Moisture Pacific Sardines (Sardinops Sagax) by Hot Air Oven. *YRU Journal of Science and Technology, 1*(2), 7-9.

[2] Chachoengsao Provincial Fisheries office. (2018). Production and Trade Situation of Sea Bass and Products During the First 3 Months of 2018. *Department of Fisheries*. Retrieved October 23, 2018, from https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/site/strategy

[3] Wattanakul, W., Wattanakul, U., and Ishaak, J. (2018). *Effects of Palm Kernel Meal and Fishes Condensate Incorporation in Diet of Seabass (Lates calcarifer Bloch, 1790) to Reduce Production Cost.* B.Sc. (Science and Fisheries Technology). Sikao: Rajamangala University of Technology Srivijaya.

[4] Borompichaichartkul, C. (2012). Hybrid Drying Technology: Application for Preservation of Heat Sensitive Food Products. *KMUTT Research and Development Journal*, *35*(2), 269.

[5] Visedmanee, J., and Kosalanun, S. (2020). Effect of Velocity and Temperature on the Drying Rate of SweetCorn Kernels by Using Fluidized Bed Technique. *Journal of Engineering, RMUTT*, *18*(2), 169-176.

[6] Nathakaranakule, A., Jaiboon, P., and Soponronnarit, S. (2010). Far-Infrared Radiation Assisted Drying of Longan Fruit. *Journal of Food Engineering, 100*(4), 662-668.

[7] Pontecha, P., and Cansee, S. (2020). Tilapia Nilotica Drying with Solar Greenhouse Dryer. *TSAE Journal, 26*(2), 58-64.

[8] Jareanjit, J. (2012). A Solar Dryer Technology and Its Development. *KKU Research Journal, 16*(2), 111.

[9] Hari, P., Sutarjo, S., and Toi, M. (2003). Study on the Effect of Citric Acid and Sodium Chloride on Shredded Tuna *(Thunus albacares)* Meat (Abon Tuna). *Indonesia Food and Nutrition Progress, 10*(1), 13-18.

[10] Thai Community Product Standard. (2006). *Dried Fish TCPS 6-2006*. Retrieved October 23, 2018, from http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps649.pdf

[11] Association of Official Analytical Chemists. (1995). *Moisture in Cheese (Vacuum Oven Method)* (14th ed). Washington: DC.

[12] Association of Official Analytical Chemists. (2000). *Practical Applications of Water Activity and Moisture Relations in foods* (16th ed). Washington: DC.

[13] Kanyangam, K., Sa-adchom, P., and Swasdisevi, T. (2014). Drying of Ground Fish Slices Using Superheated Steam Combined with Hot Air. *RMUTP Research Journal, 8*(1), 57-60.

[14] Toomthong, P., and Teeboonma, U. (2010). Drying Kinetic and Diffusion Coefficient of Tilapia Nilotica. *UBU Engineering Journal, 3*(2), 13.

[15] Chantarat, P., Kijroongrojana, K., and Vittayanont, M. (2005). Effect of Ice Storage on Muscle Protein Properties and Qualities of Emulsion Fish Sausage from Bigeye Snapper *(Priacanthus Tayenus)* and Lizardfish *(Saurida Undosquamis)*. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 27*(1), 130.

[16] Bunsopol, T. (2015). *Comparison on Quality of Pounded Fish from Short and Long Fish Muscle Fibers.* M.H.E. (Home Economics Technology). Klongluang: Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

[17] Thahom, N., and Sompongse, W. (2015). Characterisation of Acid-Soluble Collagen from Skin of Grey Featherback *(Notopterus Notopterus)*. *Thammasat Journal of Science and Technology, 23*(2), 263-264.

[18] Hernández-Martínez, M., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G. N., Almaraz-Abarca, N., and Castañeda-Pérez, E. (2014). Application of MIR-FTIR Spectroscopy and Chemometrics to the Earid Prediction of Fish Fillet Quality. *CyTA - Journal of Food, 12*(4), 373.

[19] Prateepchanachai, S., Thakhiew, W., Devahastin, S., and Soponronnarit, S. (2017). Mechanical Properties Improvement of Chitosan Films via the Use of Plasticizer, Charge Modifying Agent and Film Solution Homogenization. *Carbohydrate Polymers, 174*, 258.