รายงานฉบับสมบูรณ์

การผลิตปลาสวายเค็มโซเดียมต่ำ

โดย

ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ และคณะ

กันยายน 2561

รายงานฉบับสมบูรณ์

การผลิตปลาสวายเค็มโซเดียมต่ำ

(Production of Low Sodium-Salted Striped Catfish)

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ผศ. ดร. ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. ผศ.ดร. วิริยา อ่อนสอาด	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
3. ผศ.ดร. สุธี วังเตือย	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 58

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย มอบ.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2557-2558 ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และสุดท้ายขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่มีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

บทสรุปผู้บริหาร

1. รายละเอียดโครงการ

ชื่อโครงการ	การผลิตปลาสวายเค็มโซเดียมต่ำ (Production of Low Sodium-Salted Striped Catfish)
ระยะเวลาดำเนินการ	ตุลาคม 2557- ตุลาคม 2559

2. สรุปโครงการวิจัย

ปลาเค็ม เป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแปรรูปชนิดหนึ่งที่มีปริมาณเกลือโซเดียมสูงมากกว่าร้อยละ 10 แม้ว่าเกลือโซเดียมจะเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นในการผลิตปลาเค็มแต่เกลือโซเดียมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคความดันสูง แนวทางการลดเกลือทำได้โดยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือชนิดอื่น เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม และปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจด้านสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตปลาเค็มโซเดียมต่ำจากปลาสวายโดยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในกระบวนการทำเค็ม ศึกษาการทำเค็มและการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพของปลาเค็ม

การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการศึกษาทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในการทำเค็มปลาสวายแบบใช้เกลือ (dry salting) และ แบบใช้น้ำเกลือ (brine salting) ที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 25 แปรปริมาณเกลือโซเดียมต่อเกลือโพแทสเซียม ในอัตราส่วน 100:0, 80:20 และ 60:40 ระยะเวลาการทำเค็ม 60 ชั่วโมง แล้ววัดปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และค่า water activity (a_w) จากนั้นศึกษาผลการทำแห้งต่อคุณภาพปลาสวายโดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นวัดปริมาณความชื้น ค่า a_w คำนวณอัตราการทำแห้ง และสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเกลือในระหว่างการทำเค็มและการทำแห้ง และศึกษาคุณภาพปลาสวายเค็ม ด้วยการวางแผนแบบการวางแผนการทดลอง Box-Behnken Design ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนเกลือโซเดียมต่อเกลือโพแทสเซียม (100:0 80:20 และ 60:40) ระยะเวลาในการทำเค็ม (12-36 ชั่วโมง) และอุณหภูมิในการทำแห้ง (40-60 องศาเซลเซียส) จากนั้นทำการวัดค่าสี ค่าเนื้อสัมผัส (Texture profile) ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม คุณภาพทางประสาทสัมผัส และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลาเค็มแบบ dry salting และ brine salting ด้วยวิธีพื้นที่การตอบสนอง

ผลการทดลองพบว่าค่า a_w และปริมาณความชื้นของปลาสวายที่ผ่านการทำเค็มทั้งสองแบบลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มเพิ่มขึ้น อัตราการลดลงของค่า a_w และค่าความชื้นมีค่าสูงในช่วงการหมัก 0-12 ชั่วโมงแต่เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลต่ออัตราการลดลงของค่าดังกล่าว การทำเค็มแบบ dry salting ใช้ระยะเวลาในการดึงน้ำออกเนื้อปลาสั้นกว่าวิธี brine salting มีผลให้ที่ระยะเวลาการทำแห้ง 60 ชั่วโมง การทำแห้งแบบ dry salting มีค่า aw ต่ำกว่า brine salting การลดลงของค่าความชื้นของปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting สอดคล้องกับการลดลงของค่า aw และการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือและระยะเวลาการทำเค็มที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือในตัวอย่าง ผลการทำแห้งต่อคุณภาพปลาสวายเค็มพบว่าค่าความชื้นของตัวอย่างลดลงเมื่อระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น การลดลงของความชื้นและอัตราการทำแห้งของตัวอย่างที่มีเกลือโพแทสเซียมมีค่าต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศา

เซลเซียสมีอัตราการลดลงของความชื้นสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 40 องศาเซลเซียส อัตราการทำแห้งของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมีค่าสูงสุดเมื่อในช่วงระยะเวลาการทำแห้ง 2 ชั่วโมงแรก และอัตราการทำแห้งลดลงภายหลังการทำแห้ง 2 ชั่วโมง อัตราการทำแห้งของปลาเค็มพบช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) ในทุกสภาวะการทำเค็ม ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0015-0.003 cm^2/h สัมประสิทธิ์การแพร่ลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มเพิ่มขึ้นและปริมาณเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น การทำเค็มแบบ dry salting มีสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือสูงกว่าการทำเค็มแบบ brine salting และยังพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือมีค่าลดลงเมื่อปริมาณโพแทสเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น อัตราการทำแห้งของปลาสวายเค็มขึ้นอยู่กับปัจจัย ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมต่อโพแทสเซียม ระยะเวลาการทำเค็ม และอุณหภูมิการทำแห้ง การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ตอบสนองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในการทำเค็มปลาสวาย พบว่า ปัจจัยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียม ระยะเวลาการทำเค็ม และอุณหภูมิการทำแห้ง มีผลต่อปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมในปลาเค็ม ทั้งการทำเค็มแบบ brine salting และ dry salting โดยทั้ง 3 ปัจจัยมีผลเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน แสดงในรูปสมการสำหรับทำนายปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมของการทำแห้งแบบ dry salting ได้แก่ $K = - 4.3475 + 0.4794 * Na - 0.1146 * Time - 0.2866 * Temp - 0.0034 * Na^2 + 0.0030 * Time^2 + 0.0030 * Temp^2 - 0.0005 * Na * Time – 0.00 * Na * Temp – 0.00 * Time * Temp$ และ $Na = - 23.8113 + 0.6859 * Na + 0.06521 * Time - 0.01625 * Temp - 0.00365 * Na^2 + 0.00013 * Time^2 + 0.00039 * Temp^2 + 0.000385 * Na * Time + 0.00* Na * Temp - 0.00052 * Time * Temp$ และแบบ brine salting ได้แก่ $K =-19.4075 + 0.6553 * Na + 0.0268 * Time + 0.01425 * Temp - 0.0044 * Na^2 + 0.000625 * Time^2 - 0.00017 * Temp^2 - 0.00121 * Na * Time - 0.00029 * Na * Temp + 0.001021 * Time * Temp$ และ $Na = - 10.3008 + 0.195271 * Na - 0.07264 * Time + 0.255458 * Temp - 0.00051 * Na^2 - 0.00323 * Time^2 - 0.00172 * Temp^2 + 0.003625 * Na * Time - 0.00151 * Na * Temp + 0.000667 * Time * Temp$โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่า 0.9 เมื่อนำมาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการทำเค็มปลาสวายเพื่อลดปริมาณโซเดียม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนเกลือโซเดียมต่อเกลือโพแทสเซียม 60:40 ระยะเวลาการทำเค็มที่ระดับต่ำ-กลาง (12-24 ชั่วโมง) และ อุณหภูมิการทำแห้งระดับกลาง-สูง (50-60 องศาเซลเซียส) สำหรับการทำเค็มแบบ brine salting และ dry salting ซึ่งสภาวะดังกล่าวสอดคล้องกับการยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้ยังพบว่าการทำเค็มที่สภาวะต่างๆที่กำหนดส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนแสดงผลด้วยภาพถ่าย SEM สภาวะการทำเค็มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนปลา ทำให้โปรตีนเสียสภาพและเกิดการรวมตัวกัน โดยเฉพาะการทำเค็มด้วยเกลือโซเดียมร้อยละ 100 ซึ่งส่งผลรุนแรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน นอกจากนี้ยังมีอิทธิผลร่วมจากระยะเวลาการทำเค็มและเวลาการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างของโปรตีนในทำนองเดียวกัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตปลาเค็มโซเดียมต่ำจากปลาสวายโดยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในกระบวนการทำเค็ม ศึกษาการทำเค็มและการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพของปลาเค็ม ผลการดำเนินการพบว่าการทำเค็มปลาสวายด้วยวิธี dry salting และ brine salting ด้วยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียม ที่ระยะเวลาการทำเค็มและอุณหภูมิการทำแห้งต่างกัน ส่งผลให้ปลาเค็มมีค่า aw ≤0.85 ตามมาตรฐาน สภาวะการทำเค็มส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีนทำให้โปรตีนเกิดการรวมตัวมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของปลาเค็มและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาค และส่งผลต่อค่าสีด้วยการลดค่าความเป็นสีแดงของปลาเค็ม โดยเฉพาะปลาเค็มที่มีระยะเวลาการทำเค็มนานร่วมกับอุณหภูมิการทำแห้งสูง การทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมมีผลต่อการลดปริมาณเกลือโซเดียมในปลาเค็ม การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีอัตราการลดลงของความชื้นสูงกว่าอุณหภูมิอื่นๆ อัตราการทำแห้งของตัวอย่างมีค่าสูงสุดช่วงระยะเวลาการทำแห้ง 2 ชั่วโมงแรก ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0015-0.003 cm^2/h ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือลดลงสัมพันธ์กับการลดลงของเกลือโซเดียม การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปลาเค็มโซเดียมต่ำโดยใช้เทคนิคพื้นผิวตอบสนองด้วยการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อศึกษาผลของปัจจัย 3 ปัจจัย ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมต่อโพแทสเซียม ระยะเวลาการทำเค็ม และอุณหภูมิการทำแห้ง จากการทดลองพบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม ข้อมูลจากการทดลองที่ได้มีความเหมาะสมกับสมการควอดราติก เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูง ($R^2 > 0.90$) เมื่อนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองสามมิติเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเค็ม พบว่า สภาวะที่เหมาะในการทำเค็มปลาสวายแบบ brine salting คือ อัตราส่วนโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 60:40 ระยะเวลาการทำเค็ม 12 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้ง 58 องศาเซลเซียส และ dry salting คือ อัตราส่วนโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 60:40 ระยะเวลาการทำเค็ม 22.62 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้ง 48 องศาเซลเซียส จะทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมเท่ากับร้อยละ 3.50 และ 5.90 ตามลำดับสำหรับการทำแห้งแบบ dry salting และร้อยละ 3.56 และ 5.11 ตามลำดับสำหรับ brine salting

Abstract

This research aims to study the production of low salted fish from *Pangasius* by substituting sodium salt with potassium salts in salted fish. Effects of salting and drying on the changes in physicochemical properties of salted fish were studied. The results showed that dry salting and brine salting by substituting sodium salt with potassium salt at different salting times and temperatures have $a_w \leq 0.85$ as standard. Salting conditions affect protein degradation effected on texture, microstructure changes and color as redness index of salted fish especially, salted fish with long salting and high drying temperature. Substitution of sodium salt with potassium salts affected sodium reduction in salted fish. Drying at 60 degrees Celsius has a higher rate of humidity reduction when compared to other drying temperature. The drying rate of the sample was highest during the first 2 hours of drying. Water diffusion coefficients increased as drying temperatures increased. The value is between 0.0015-0.003 cm^2/h. Salt diffusion coefficients decreases with the decrease of sodium salt. Response Surface Methodology (RSM) was used to determine optimum condition for low sodium-salted fish production. Box-Behnken experimental design was applied to optimize the ratio of sodium chloride to potassium chloride, salting time and drying temperature. The results showed that these three factors affected sodium and potassium content. The experimental data obtained were fitted to quadratic equation because it showed high coefficient of determination ($R^2 > 0.90$). The 3-D response surface plot derived from the mathematical models was applied to determine the optimal conditions. The optimum extraction conditions were as follows: the ideal conditions for brine salting are sodium chloride to potassium chloride at ratio of 60:40, salting time at 12 hr and drying temperature at 58 $^{\circ}C$ and for dry salting are chloride to potassium chloride at ratio of 60:40, salting time at 22.62 hr and drying temperature at 48 $^{\circ}C$. Under the optimal condition, sodium and potassium content of dry salting were 3.50 and 5.90, respectively and of brine salting were 3.56 and 5.11, respectively

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	[1]
บทสรุปผู้บริหาร	[2]
บทคัดย่อ	[4]
สารบัญ	[6]
สารบัญตาราง	[7]
สารบัญภาพ	[8]
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	10
บทที่ 4 ผลการทดลอง	13
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	36
เอกสารอ้างอิง	37
ประวัตินักวิจัย	40
ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมการดำเนินงาน	47
รายงานการเงิน	48

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับต่างๆ ของปัจจัยที่ใช้ทำการทดลอง	12
2	สิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนการทดลอง	
3	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ของปลาสวายเค็มอบแห้งที่สภาวะต่างๆ	21
4	ค่าสี L* a* b* และ redness ของปลาสวายเค็มอบแห้งที่สภาวะต่างๆ	23
5	ค่าเนื้อสัมผัสของปลาสวายเค็มอบแห้งที่สภาวะต่างๆ	24
6	คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายเค็มแบบ brine salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ	25
7	ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายเค็มแบบ dry salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ	26
8	ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายเค็มแบบ brine salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ และผ่านการปรุงสุก	27
9	ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ และผ่านการปรุงสุก	28
10	ปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมของปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ที่สภาวะต่างๆ	29
11	สมการทำนายปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมของปลาสวายที่ผ่านการทำเค็มในสภาวะต่างๆกัน	30
12	โครงสร้างจุลภาคของปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ที่สภาวะต่างๆ	33

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ค่า water activity ของปลาสวายระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ระยะเวลา 60 ชั่วโมง	14
2	ปริมาณความชื้นของปลาสวายระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ระยะเวลา 60 ชั่วโมง	14
3	ปริมาณเกลือของปลาสวายระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ระยะเวลา 60 ชั่วโมง	14
4	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting(DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	16
5	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	17
6	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	17
7	อัตราค่าความชื้นระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	18
8	อัตราค่าความชื้นระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	18
9	อัตราค่าความชื้นระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียส	19
10	ปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ระหว่างการทำแห้งของปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 หมักนาน 12 24 36 และ 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 (a) 50 (b) และ 60 (c) องศาเซลเซียส	19
11	สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำระหว่างการทำแห้งของปลาสวายเค็มแบบ dry salting และ brine salting หมักนาน 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 (a) 80:20 (b) และ 60:40 (c)	20

ภาพที่		หน้า
12	สัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือระหว่างการทำแห้งของปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) หมักนาน 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 (a) 80:20 (b) และ 60:40 (c)	20

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจด้านสุขภาพมากขึ้น การบริโภคเกลือโซเดียมในปริมาณสูงมีผลต่อภาวะเสี่ยงโรคความดันสูง (He and MacGregor, 2003; Obarzanek et al., 2003; Matthews and Strong, 2005) และยังเป็นสาเหตุของโรคไต โรคหัวใจ ภาวะบวม โรคกระดูกพรุนและโรคนิ่วในทางเดินปัสสาวะ คนไทยมีการบริโภคเกลือมากถึงวันละ 3 ช้อนชาต่อวันซึ่งสูงกว่าองค์การอนามัยโลกกำหนด ความเค็มในอาหารมาจากเครื่องปรุงรส ได้แก่ น้ำปลา ซอส ซีอิ้ว ปลาร้า กะปิ ไตปลา และจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป (กระทรวงสาธารณสุข, 2552)

ปลาเค็ม เป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแปรรูปชนิดหนึ่งที่มีปริมาณเกลือโซเดียมสูงมากกว่าร้อยละ 10 และเป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแปรรูปที่มีผู้ประกอบมากที่สุด 773 ราย จากจำนวนผู้ประกอบการกิจการแปรรูปสัตว์น้ำทั้งหมด 2410 ราย (www. Bryancavesemimar.com) ปลาเค็มผลิตด้วยกระบวนการดึงน้ำออกจากเนื้อปลาโดยใช้เกลือในรูปของเกลือโซเดียม ทำให้ปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ลดลงในสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษา (Ismil and Wootton, 1992) เกลือโซเดียมจึงจัดเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นต่อการผลิตปลาเค็ม นอกจากเกลือโซเดียมจะทำหน้าที่ลดปริมาณน้ำอิสระและลดปริมาณจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการเก็บรักษา ยังมีผลต่อการส่งเสริมรสชาติอาหาร สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน และกระบวนการทางเคมี เช่น proteolysis, lipolysis และ lipid oxidation ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ส่งผลต่อการพัฒนากลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Guardia et al., 2006)

แม้ว่าเกลือโซเดียมจะเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นในการผลิตปลาเค็มแต่เกลือโซเดียมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคความดันสูง แนวทางการลดเกลือทำได้โดยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือชนิดอื่น เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม จากผลการวิจัยหลายชิ้นรายงานว่าการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือชนิดอื่นสามารถลดปริมาณโซเดียมในแฮม (Alino et al., 2010a,b; Ripolles et al., 2011) การทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป เนื่องจากเกลือโพแทสเซียมไม่มีผลต่อการเพิ่มภาวะความดันโลหิตสูง (Buemi et al., 2002; Geleijnse et al., 2007; Kimura et al., 2004) การลดโซเดียมและเพิ่มโพแทสเซียมในอาหารช่วยลดความเสี่ยงต่อภาวะความดันโลหิตสูง (ปัทมพรรณ, 2554; ไทยรัฐ, 2556; www.voathai.com) แม้ว่าการเติมเกลือโพแทสเซียมในผลิตภัณฑ์เนื้อจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส การเกิดรสขมและกลิ่นโลหะในผลิตภัณฑ์หากใช้มากกว่าร้อยละ 50 (Reddy and Marth, 1991; Martin et al., 1998; Toldra et al., 2000) นอกจากนี้การลดเกลือโซเดียมยังส่งผลต่อกระบวนการทำเค็ม อัตราการทำเค็มกับการลดลงของค่า a_w การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของปลา แต่อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกพื้นฐานเหล่านี้ยังมีจำกัด

การทำแห้งปลาเค็มเป็นอีกกระบวนการหลักที่มักทำต่อเนื่องจากการทำเค็มเพื่อลดความชื้นและลดค่า a_w หลีกเลี่ยงการใช้เกลือโซเดียมปริมาณมากและระยะเวลานานในกระบวนการทำเค็ม และช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ปกติผู้ประกอบการมักทำแห้งโดยใช้วิธีการตากแดดนาน 1-2 ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ แต่ข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมอัตราการทำแห้งได้ เสี่ยงต่อการปนเปื้อนซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาทำแห้งได้ดีกว่าการทำแห้งแบบตากแดด (Sobokola et al., 2008) มีการรายงานว่าเทคนิคการทำเค็มมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกลไกการทำแห้งและลักษณะสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (Bellagha et al, 2007) ดังนั้นอัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์จึงสัมพันธ์กับวิธีการทำเค็มและ

อัตราการทำแห้ง และวิธีการทำแห้งยังส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่ข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับผลของการทำแห้งต่อคุณภาพปลาเค็มที่ลดเกลือโซเดียมยังมีจำกัด

ปลาเค็มชนิดตัวขวางที่จำหน่ายทั่วไปส่วนใหญ่ผลิตจากปลาอินทรี จากการสำรวจปริมาณปลาน้ำเค็มเมื่อปี 2552 พบว่าปริมาณปลาอินทรีลดลงร้อยละ 63 จาก ปี 2548 (28,000 ตัน) เหลือเพียง 10,400 ตัน (www. Bryancavesemimar.com) และราคาจำหน่ายปลาอินทรียังสูงถึงกิโลกรัมละ 150 บาท ดังนั้นการใช้ปลาน้ำจืดเพื่อเป็นแหล่งทดแทนวัตถุดิบดังกล่าวจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากปลาน้ำจืดมากขึ้น โดยเฉพาะปลาน้ำจืดวงศ์สวายซึ่งเป็นปลาประจำจังหวัดอุบลราชธานีและมีการใช้ประโยชน์เพื่อการแปรรูปน้อย ส่วนใหญ่ร้อยละ 72 ใช้เพื่อการบริโภคสด (www. Bryancavesemimar.com) จากผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ปลาสวายสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาเค็มที่มีลักษณะปรากฏคล้ายกับปลาอินทรี (ปัญญ์, 2556)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตปลาเค็มโซเดียมต่ำจากปลาสวายโดยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในกระบวนการทำเค็ม ศึกษาอัตราการทำเค็มและการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพของปลาเค็ม

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาการผลิตปลาเค็มโซเดียมต่ำจากปลาสวายโดยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียม
2. ศึกษาผลการทำแห้งต่อคุณภาพปลาสวายเค็มที่ทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียม

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ขอบเขตด้านประชากร: ตัวอย่างวัตถุดิบปลาน้ำจืดวงศ์สวาย ได้แก่ ปลาสวาย
2. ขอบเขตด้านเนื้อหา:

ศึกษาการทำเค็มแบบแห้ง (dry salting) และการทำเค็มแบบแช่น้ำเกลือ (brine salting)

ศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียม (NaCl) ด้วยเกลือโพแทสเซียม (KCl) ในอัตราส่วน 100:0, 80:20 และ 60:40

ศึกษาอัตราการทำแห้งของปลาเค็มด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ปลาเค็ม

ปลาเค็ม หมายถึง ปลาที่ดองเกลือแล้วตากแห้ง (นงนุช, 2538) คำจำกัดความของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) (2547) ปลาเค็ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาสด เช่น ปลาอินทรี ปลากุเลาที่ตัดแต่งแล้วนำมาทำเค็มโดยใช้เกลือเคล้าให้ทั่ว หรือแช่ในน้ำเกลือแล้วตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาที่เหมาะสม อาจทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น อาจแช่ในน้ำเกลือหรือน้ำมันด้วยก็ได้

จากการสำรวจเมื่อปี 2552 มีจำนวนผู้ประกอบกิจการแปรรูปสัตว์น้ำเค็มจำนวน 2,410 ราย โดยมีโรงงานประกอบกิจการประเภทปลาเค็มมากที่สุด จำนวน 773 รายคิดเป็นร้อยละ 32 (www. Bryancavesemimar.com) ปลาเค็มชนิดตัดชิ้นตามขวางที่จำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จากปลาอินทรี อย่างไรก็ตามจากรายงานปริมาณสัตว์น้ำเค็มที่จับได้รวมทั้งเพาะเลี้ยงชายฝั่งในปี 2552 พบว่าปลาอินทรี มีปริมาณการจับลดลงจาก 24,600 ตันในปี 2548 เป็น 20,800 ตันในปี 2550 (สถิติการเกษตรของประเทศไทย, 2552) และลดลงเป็น 10.4 พันตันในปี 2552 ขณะที่ปลาสวายและปลาเทโพมีปริมาณ 35.3 พันตัน (www. Bryancavesemimar.com) ในปี 2553 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตปลาสวายจากการเพาะเลี้ยงประมาณ 17,978 ตัน และคาดการณ์ว่าปริมาณการผลิตปลาสวายจะเพิ่มขึ้นเป็น 22,959 ตัน ในปี 2554 คิดเป็นมูลค่า 519.69 ล้านบาท การใช้ประโยชน์ปลาสวายและปลาเทโพที่สำรวจเมื่อปี 2552 พบบริโภคสดร้อยละ 71.18 ทำเค็มตากแห้งร้อยละ 17.10 นึ่งย่างร้อยละ 8.28 หมักดองร้อยละ 3.08 และอื่นๆ ร้อยละ 0.36 (www. Bryancavesemimar.com) ราคาปลาสวายเฉลี่ยในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 28.55 บาทต่อกิโลกรัม (ปิยชาติ, 2553) ราคาปลาสวายที่จำหน่ายในเขตตลาดวารินชำราบและตลาดในอำเภอเมืองมีราคาเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 50-65 บาท ขณะที่ปลาอินทรีที่นิยมนำมาผลิตปลาเค็มมีราคาเฉลี่ย 150 บาทต่อกิโลกรัม การหาแหล่งวัตถุดิบอื่นทดแทนปลาอินทรี เช่น ปลาสวายซึ่งเป็นปลาหนังขนาดใหญ่ เนื้อสีคล้ำคล้ายกับปลาอินทรีเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าปลาสวาย

การทำเค็ม

การทำเค็ม (Salting) เป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากอาหารโดยใช้เกลือส่งผลให้ค่า Water activity (a_w) ของอาหารลดลงอยู่ในสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น (Ismil and Wootton, 1992) กระบวนการทำเค็มประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ กระบวนการลดปริมาณความชื้น และลดค่า a_w น้ำในอาหารประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ น้ำส่วนที่เกาะติดกับอาหารหรือน้ำที่ใช้ในการสร้างพันธะต่างๆ ในอาหารและน้ำอิสระที่อยู่ในช่องว่างอาหาร ปริมาณความชื้นเป็นปริมาณน้ำทั้งสองส่วนที่มีอยู่ในอาหาร ส่วน a_w เป็นโมเลกุลน้ำที่พร้อมเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอซึ่งหมายถึงน้ำอิสระเท่านั้น กระบวนการทำเค็มโดยการเติมเกลือส่งผลให้ค่า a_w ลดลงโดยเกลือจะทำพันธะกับน้ำอิสระ ส่วนกระบวนการรมควันหรือการทำแห้งเป็นกระบวนการระเหยน้ำอิสระออกจากอาหารทำให้ค่า a_w ลดลงเช่นกัน (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) a_w เป็นดัชนีบ่งชี้ความคงตัวของอาหารและยังเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ปลาเค็มซึ่งมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ดังนั้นการกำหนดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะกำหนดระดับ a_w ให้ต่ำกว่าระดับที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์

ปลาเค็มกำหนดให้มีค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.85 ซึ่งเป็นค่าที่แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.), 2536; มผช. ,2547) ดังนั้นการควบคุมค่า a_w ให้ต่ำกว่าค่า a_w ในการเจริญของเชื้อชนิดนั้นๆ จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาเค็ม

การทำเค็มแบ่งเป็น 3 วิธีหลักๆ ได้แก่ การทำเค็มแบบใช้เกลือเม็ดหรือการทำเค็มแบบแห้ง (dry salting) การทำเค็มในน้ำเกลือ (wet or brine salting) และวิธีการทำเค็มร่วมกันระหว่างวิธีทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting (Bellagha *et al*., 2007) แต่การทำปลาเค็มโดยทั่วไปในประเทศไทยนิยมทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting

1. การทำเค็มแบบแห้ง (dry salting)

การทำเค็มแบบ dry salting เป็นการทำเค็มที่ใช้ส่วนประกอบสำหรับการหมักในรูปเกลือเม็ด ผสมและคลุกเคล้าให้ทั่วบริเวณผิวหน้าของวัตถุดิบ เป็นวิธีการทำเค็มที่ง่ายและใช้ระยะเวลาสั้น น้ำในอาหารสูญเสียอย่างรวดเร็วส่งผลให้อาหารมีการเน่าเสียในระหว่างกระบวนการผลิตน้อย แต่อาหารมีการหดตัวร้อยละ 50-65 สีไม่สวย และมีรสเค็มจัด (นงนุช, 2538)

2. การทำเค็มแบบแช่น้ำเกลือ (brine salting)

วิธีนี้ทำโดยการทำน้ำเกลือก่อนแล้วแช่ปลาในน้ำเกลือ ความเข้มข้นของน้ำเกลือจะค่อยๆลดลงเมื่อน้ำในตัวปลาไหลออกมา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมเกลือลงไปเพิ่มเพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำเกลือให้คงที่ การหมักแบบนี้จะให้การหมักที่สม่ำเสมอ รสและสีของผลิตภัณฑ์ดีกว่าการทำเค็มแบบ dry salting แต่ใช้ระยะเวลานานกว่า (ไพบูลย์, 2532; นงนุช, 2538) แต่อย่างไรก็ตาม สุปราณี (2544) พบว่า ปลาอินทรีเค็มผลิตโดยวิธี dry salting ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นสูงกว่าการทำเค็มแบบ brine salting

3. การใส่เกลือแบบผสม

การใส่เกลือแบบผสมเป็นวิธีการทำเค็มร่วมกันระหว่างวิธีทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting อาจทำโดยการทำเค็มแบบ dry salting ก่อนการทำเค็มแบบ brine salting หรือ อาจทำเค็มแบบ brine salting ก่อนแล้วจึงทำเค็มต่อด้วยวิธี dry salting จากการศึกษาการทำเค็มแบบผสมโดย Bras and Costa (2010) ที่ทำการศึกษาผลของการทำเค็มด้วยวิธี dry salting ที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 50และ brine salting ที่ความเข้มข้นเกลือ 16 และ 25 องศาโบเม ร่วมกับการทำเค็มแบบ dry salting ต่อลักษณะผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปลาเค็ม พบว่าการทำเค็มด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 16 องศาโบเม ให้ร้อยละผลผลิตสุดท้ายสูงสุด และมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าวิธีการทำแห้งอื่นถึง 4.7-9.2 % แต่มีผลต่อการเพิ่มระยะเวลาการทำแห้งซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 32 ชั่วโมง เป็น 42 ชั่วโมง การทำแห้งแบบ dry salting ให้ลักษณะเนื้อปลาแน่น แข็ง เมื่อเทียบกับการทำเค็มแบบ brine salting เนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีนและการสูญเสียความสามารถในการจับน้ำของโปรตีน ขณะที่การทำเค็มแบบ brine salting ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นในปลาสูง ลักษณะเนื้อสัมผัสของปลาจึงนุ่มและชุ่มน้ำกว่า

กลไกการทำเค็ม

กลไกการซึมผ่านของเกลือเข้าสู่เนื้อปลาระหว่างการทำเค็มแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ระยะที่ 1 เมื่อแช่ปลาในน้ำเกลือความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันออสโมซิสในน้ำเกลือและน้ำในเนื้อปลา โดยความดันออสโมซิสของน้ำเกลือสูงกว่าน้ำในเนื้อปลามาก เกลือจึงซึมเข้าสู่เนื้อปลาอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันน้ำในตัวปลาเกิดการไหลออกจากเนื้อปลาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำหนักของปลาลดลง ในระยะแรกนี้เกลือยังซึมไม่ทั่วถึงเนื้อปลา ระยะที่ 2 ระยะที่อัตราการซึมของน้ำเกลือเท่ากับอัตราการไหลออก

ของน้ำจากเนื้อปลา ระยะนี้ความเข้มข้นของเกลือในเนื้อปลาชั้นนอกเท่ากับความเข้มข้นของน้ำเกลือ การแลกเปลี่ยนเกลือกับน้ำจึงไม่เกิดขึ้นในขั้นนี้ แต่จะมีการถ่ายเทปริมาณเกลือจากชั้นนอกเข้าไปสู่ชั้นในของเนื้อปลา จนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือในเนื้อปลาชั้นนอกลดลงจึงเกิดการซึมของเกลือเข้าไปในเนื้อปลาอีกรอบ ระยะที่ 3 ระยะนี้ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเกลือซึมเข้าไปในเนื้อปลาจนกระทั่งทุกส่วนในเนื้อปลามีปริมาณเกลือเท่ากันและเท่ากับปริมาณเกลือในน้ำเกลือ ปลาจะหดตัวทำให้เกิดลักษณะทึบและมีรสเค็มจัด (สุปราณี, 2544) ลักษณะการหดตัวของโปรตีนเนื้อปลาเกิดจากปรากฏการณ์ salting out ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการทำเค็ม โดยเกิดจากความสามารถในการละลายของเกลือในระบบของโปรตีนมากขึ้น ปกติความสามารถในการละลายของไอออนเกิดจาก ionic-dipole interaction ระหว่างประจุบวกและประจุลบของเกลือกับน้ำ เมื่อความเข้มข้นของไอออนมากกว่า 1 โมลาร์ ประจุบวกและลบของเกลือในระบบของโปรตีนมีมากขึ้นทำให้ ionic-dipole interaction ระหว่างน้ำกับประจุบวกและลบของเกลือมากขึ้น ส่งผลให้อันตรกิริยาระหว่างน้ำกับโปรตีนลดลง น้ำที่จับอยู่กับโปรตีนจึงไหลออกมาจากตัวปลา ผลการทำนายการซึมผ่านของเกลือของปลาดุกแอฟริกาทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ด้วย Peleg model ที่ความเข้มข้นเกลือ 15-27 % อุณหภูมิการทำเค็ม 30-38 องศาเซลเซียส และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 m/s พบว่าการซึมผ่านของเกลือขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเกลือ เวลาและอุณหภูมิระหว่างการทำเค็ม การซึมผ่านของเกลือเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทำเค็มและลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มเพิ่มขึ้น (Sobukola and Olatunde, 2011)

กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถ่ายเทไปยังผิวอาหารและน้ำในอาหารจะเกิดการระเหยออกด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดออกจากอาหารโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวเกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันไอที่ผิวหน้าอาหารและความดันไอด้านในอาหารซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร (วิไล, 2547) ระหว่างการอบแห้ง อาหารจะเกิดการสูญเสียความชื้น การลดลงของความชื้นจะมีช่วงการลดลง 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (initial adjustment period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารปรับตัวให้มีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อน อัตราการทำแห้งจะต่ำและค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำในอาหารระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่อง และช่วงสุดท้ายคือช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนขาดความต่อเนื่องในการแพร่ไปที่ผิวหน้าอาหาร อัตราการทำแห้งจึงลดลงจนถึงความชื้นสมดุลซึ่งเป็นจุดที่น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก อัตราการทำแห้งในอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิด ขนาดและรูปร่าง การเตรียมตัวอย่างเบื้องต้น (pre-treatment) ความเร็วลม และอุณหภูมิการทำแห้ง เป็นต้น Omodara and Olaniyan (2012) รายงานว่าการ pre-treatment ปลาดุกแอฟริกันด้วยการลวก การแช่น้ำเกลือ (0.15% และ น้ำตาล 1.4 ^{0}brix) และแช่สารละลายน้ำตาล (1.2 ^{0}brix) ไม่มีผลต่ออัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 45 50 และ 55 องศาเซลเซียส ช่วงการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส พบเฉพาะช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) เช่นเดียวกับรายงานของ Sankatand and Mujaffar (2006) ที่พบช่วง falling rate period สำหรับการทำแห้งปลาดุกเค็มที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบทั้งช่วง constant rate และ falling rate period ความชื้นในปลาดุกลดลงจากร้อยละ 80.3 ของน้ำหนักเปียก เป็นร้อยละ 60.8 ของน้ำหนักเปียก เมื่อปริมาณเกลือในตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.4 ภายหลังการแช่น้ำเกลือ 4 ชั่วโมง และการลดลงของความชื้นในปลาดุกเค็มสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาการ

ทำแห้ง ความชื้นของตัวอย่างลดลงเมื่อเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 50 และ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเกิดการสูญเสียความชื้นสูงภายหลังการทำแห้ง 6 ชั่วโมงแรก อัตราการทำแห้ง เกิดขึ้นสูงสุดระหว่างการทำแห้ง 2 ชั่วโมงแรก การทำแห้งปลาดุกแล่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสพบอัตราการทำแห้งระหว่าง 0.02-0.05 g H_2O/g Dry Mass (DM)/hour (h) ในช่วง 14 ชั่วโมงแรกของการทำแห้ง การแห้งที่ 40 องศาเซลเซียสมีอัตราการทำแห้ง 0.15 g H_2O/g DM/h ในช่วง 2 ชั่วโมงแรกและค่อยๆลดลงเรื่อยๆ ส่วนการทำแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสมีอัตราการทำแห้งช่วง 2 ชั่วโมงแรกสูงกว่าการทำแห้งที่ 40 องศาเซลเซียสถึงร้อยละ 60 (0.24 g H_2O/g DM/h) ขณะที่อัตราการทำแห้งเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสสูงถึง 0.46 g H_2O/g DM/h Bellagha *et al.* (2007) ศึกษาวิธีการทำเค็มปลาซาร์ดีนแบบ dry salting และ brine salting ที่เกลือเข้มข้น 21 % และทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตปลาซาร์ดีนเค็ม ผลการทดลองพบว่าวิธีการทำเค็มมีผลต่อการแพร่ของเกลือเข้าสู่ตัวปลาและการสูญเสียน้ำออกจากตัวปลา นอกจากนี้ยังมีผลต่อกระบวนการทำแห้งโดยพบว่ากราฟการทำแห้งปลาซาร์ดีนพบช่วง falling rate period 2 ช่วง แต่ไม่พบ constant rate period ซึ่งช่วง falling rate period ในช่วงแรกเป็นผลมาจากการทำเค็ม ส่วนช่วงที่ 2 เป็นผลมาจากการทำแห้ง Sobukola and Olatunde (2011) รายงานว่าไม่พบความแตกต่างของช่วงอัตราการทำแห้งระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting โดยการทำเค็มทั้งสองวิธีพบช่วง falling rate period เช่นเดียวกัน แม้ว่า dry salting จะมีอัตราการทำแห้งสูงกว่า brine salting

การทำเค็มต่อคุณภาพปลาเค็ม

สุปราณี (2544) รายงานผลการศึกษาการทำเค็มปลาอินทรีด้วยวิธี dry salting และ brine salting ว่า การทำเค็มปลาอินทรีด้วยวิธี dry salting โดยใช้อัตราส่วนปลาต่อเกลือ 4:1 และการทำเค็มด้วยวิธี brine salting ความเข้มข้นน้ำเกลือร้อยละ 20 ได้รับการยอมรับสูงสุดในแต่ละวิธี แต่อย่างไรก็ตามปลาอินทรีทำเค็มด้วยวิธี dry salting ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสก่อนทอดด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นสูงกว่าการทำเค็มแบบ brine salting Bras and Costa (2010) ศึกษาผลของการทำเค็ม ได้แก่การทำเค็มแบบ dry salting ความเข้มข้นร้อยละ 50 และ brine salting ที่ความเข้มข้นเกลือ 16 และ 25 องศาโบเม ร่วมกับการทำเค็มแบบ dry salting ต่อลักษณะผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปลาเค็ม พบว่าการทำเค็มด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 16 องศาโบเมให้ร้อยละผลผลิตสุดท้ายสูงสุด และมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าวิธีการทำแห้งอื่นถึงร้อยละ 4.7-9.2 แต่มีผลต่อการยืดระยะเวลาการทำแห้งซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 32 ชั่วโมง เป็น 42 ชั่วโมง การทำเค็มแบบ dry salting ให้ลักษณะเนื้อปลาแน่น แข็ง เมื่อเทียบกับการทำเค็มแบบ brine salting เนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีนและการสูญเสียความสามารถในการจับน้ำของโปรตีน ขณะที่การทำเค็มแบบ brine salting ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นในปลาสูง ลักษณะเนื้อสัมผัสของปลาจึงนุ่มและชุ่มน้ำกว่า Jittinandana *et al.* (2002) ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเกลือร้อยละ 8.7 และ 17.4 และระยะเวลาการหมัก 30-120 นาที ต่อคุณภาพของปลาเทราซ์รมควันพบว่าปริมาณความเข้มข้นเกลือ ผลผลิตหลังผ่านการทำสุก การสูญเสียน้ำระหว่างการหมักและค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่า hardness และ cohesiveness เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเกลือนานขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการหมักเกลือนานขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำในปลาลดลงและส่งผลต่อเนื่องให้เนื้อสัมผัสที่แน่นและแข็งขึ้น ปัญณ์ (2556) ศึกษาการทำเค็มปลาสวายแบบ dry salting และ brine saltingที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 15 20 และ 25 ระยะเวลาทำเค็ม 96 ชั่วโมง พบว่าการทำเค็มแบบ dry salting มีผลต่อการซึมผ่านของเกลือ และการลดลงของปริมาณความชื้นและ a_w มากกว่าการทำเค็มแบบ brine salting การทำเค็มแบบ dry salting ที่เกลือร้อยละ 20 และ 25 ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ทำให้ค่า a_w ในปลามีค่า ≤ 0.85

ตามมาตรฐาน มอก. (2536) ซึ่งปลาสวายเค็มดังกล่าวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่จำเป็นต้องปรับปรุงด้านรสชาติเนื่องจากผู้บริโภคให้ความเห็นว่าปลามีรสเค็มมากเกินไป

การทดแทนเกลือโซเดียม

เกลือโซเดียมหรือเกลือแกง (Sodium chloride, NaCl) เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตปลาเค็ม โซเดียมคือแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่จำเป็นต่อร่างกาย ทำหน้าที่ควบคุมความสมดุลของของเหลวในร่างกาย รักษาความดันโลหิตให้อยู่ในระดับปกติ ช่วยในการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้อ โซเดียมมีอยู่ในอาหารประเภทเครื่องปรุง เช่น น้ำปลา ซอส ซีอิ้ว กะปิ ไตปลา เป็นต้น อาหารกระป๋อง อาหารหมักดอง เช่น ปลาร้า ผักดอง อาหารตากแห้ง เช่น เนื้อเค็ม ปลาเค็ม กุ้งแห้ง เป็นต้น การบริโภคเกลือโซเดียมมากเกินไปเสี่ยงต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูง ดังนั้นการลดการบริโภคเกลือโซเดียมจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่มีการรณรงค์กันอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามเกลือโซเดียมเป็นวัตถุดิบพื้นฐานสำหรับผลิตภัณฑ์หลายชนิดโดยเฉพาะเนื้อสัตว์และสัตว์น้ำแปรรูป เช่น น้ำปลา ปลาร้า ปลาเค็ม ไส้กรอก แฮม เป็นต้น นอกจากนี้เกลือยังเป็นวัตถุดิบมีราคาถูก การลดเกลืออาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แนวทางการลดเกลือโซเดียมสามารถทำได้ 3 แนวทาง ได้แก่ 1) การเลือกใช้เกลือที่มีการใช้อย่างแพร่หลายและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเกลือโซเดียม ซึ่งเกลือโพแทสเซียมเป็นทางเลือกที่ดี 2) การใช้สารเพิ่มกลิ่นรสที่ไม่ให้รสเค็มแต่สามารถส่งเสริมหรือเพิ่มความเค็มเมื่อใช้ร่วมกับเกลือโซเดียม และ 3) การปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพหรือผลึกและรูปร่างเกลือโซเดียมที่เหมาะสมเพื่อให้มีรสเค็มมากขึ้นซึ่งจะทำให้ช่วยลดปริมาณการใช้เกลือโซเดียมลง

การเลือกใช้เกลือโพแทสเซียมจึงเป็นแนวทางเลือกที่ดีทางหนึ่งเพื่อใช้ทดแทนหรือลดการใช้เกลือโซเดียม เกลือโพแทสเซียมเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้การทำงานของระบบร่างกายเป็นปกติ เช่น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ช่วยควบคุมสมดุลของอิเล็กโตรไลด์และสมดุลของกรด-เบสในร่างกาย ป้องกันภายะกรดเกิน (hyperacidity) และยังช่วยควบคุมความดันโลหิตสูงอันเนื่องจากปริมาณโซเดียมในเลือดสูง ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด รายงานวิจัยจำนวนมากระบุว่าประชากรที่ได้รับโพแทสเซียมจากอาหารในปริมาณสูงมีค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตและอัตราการเกิดโรคความดันโลหิตสูงต่ำกว่าประชากรที่ได้รับโพแทสเซียมน้อย (ปัทมพรรณ, 2554) Ascherio et al. (1998) รายงานว่าการได้รับโพแทสเซียมจากอาหารในปริมาณที่เพียงพอในประชากรชายอายุ 40-75 ปี สามารถช่วยลดความเสี่ยงของภาวะอุดตันของเส้นโลหิตที่ไปเลี้ยงสมองได้ 30 % ร่างกายของคนปกติที่มีอายุ 14 ปีขึ้นไปควรได้รับโพแทสเซียมในปริมาณ 4.7 กรัมต่อวัน แม้ว่าการได้รับโพแทสเซียมที่เพียงพอตามที่ร่างกายต้องการจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพหลายด้าน แต่ยังมีข้อจำกัดในผู้ที่มีความบกพร่องในการขจัดโพแทสเซียมออกจากร่างกาย เช่น ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง เบาหวานและภาวะหัวใจล้มเหลว เมื่อการทำงานของไตด้วยลงจึงไม่สามารถรักษาระดับความสมดุลของเกลือโพแทสเซียมในกระแสเลือดได้ ทำให้เกิดภาวะการมีโพแทสเซียมมากเกินไป (hyperkalemia) ส่งผลให้นิ้วมือ ปาก และแขนขา ไม่มีแรง ชีพจรเต้นไม่เป็นปกติ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเต้นของหัวใจ แต่หากได้รับโพแทสเซียมต่ำ (hypokalemia) ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนเพลีย เป็นตะคริว ท้องผูก ชีพจรเต้นไม่คงที่หรือมีอาการบวม เป็นต้น ดังนั้นผู้ป่วยดังกล่าวจึงควรได้รับโพแทสเซียมน้อยกว่า 4.7 กรัมต่อวัน ปริมาณที่เหมาะสมควรปรึกษาแพทย์ผู้ดูแล เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นต่อร่างกาย (ปัทมพรรณ, 2554; ชมรมป้องกันโรคไต, 2556)

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำเค็มโดยวิธีการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในอัตราส่วนมากกว่า 50:50 อาจทำให้เกิดรสขมและสูญเสียความเค็มในอาหาร (Desmond, 2006) นอกจากนี้การลดเกลือโซเดียมยังส่งผลต่อกระบวนการทำเค็ม ผลการศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียม (T 1, Nacl 100) ด้วย

เกลือโพแทสเซียม (T 2, NaCl 50: KCl 50) และเกลือชนิดอื่น (T 3, NaCl 55: KCl 25: $CaCl_2$ 15: $MgCl_2$ 5) ในตัวอย่างแฮม (dry-cured ham) ผลการทดลองพบว่าการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือชนิดอื่นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักระหว่างการหมักแฮม แต่มีผลต่อปริมาณเกลือและการซึมผ่านของเกลือ เกลือโพแทสเซียมมีผลต่อการลดการซึมผ่านของเกลือทำให้อัตราการลดลงของ a_w เกิดช้ากว่าการใช้เกลือโซเดียมอย่างเดียว หากต้องการให้ค่า a_w ลดลงเท่ากับตัวอย่างควบคุม (T1) จะต้องเพิ่มระยะเวลาหมักอีกร้อยละ 32 (16 วัน) ของระยะเวลาเดิมที่ใช้ (60 วัน) ขณะที่การใช้เกลือผสมที่มีเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมจะต้องเพิ่มระยะเวลาการเพิ่มอีกร้อยละ 52 (26 วัน) (Alino et al., 2010a) การหมักแฮมด้วยเกลือผสมระหว่างเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมทำให้แฮมมีปริมาณเกลือในตัวอย่างสูง a_w และความชื้นต่ำ ในทางตรงข้ามการใช้เกลือผสมที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมทำให้ปริมาณเกลือในตัวอย่างต่ำ ค่า a_w และความชื้นสูง ทั้งนี้เนื่องจากเกลือโพแทสเซียมสามารถซึมผ่านได้ดีกว่าแคลเซียมและแมกนีเซียม (Alino et al., 2010b) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Blesa et al (2008) ซึ่งรายงานว่าการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมในแฮมต้องใช้เวลาในการทำเค็มนานกว่าการใช้เกลือโซเดียมเพื่อให้ a_w มีค่าเท่ากับตัวอย่างควบคุม (NaCl 100%)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

จากผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การทำเค็มปลาสวายแบบ dry salting และ brine salting ที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 20 - 25 เวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้ปลาสวายเค็มมีปริมาณเกลือร้อยละ 8-10 ซึ่งเป็นปริมาณเกลือที่ใกล้เคียงกับปลาเค็มที่จำหน่ายในท้องตลาด และการทำเค็มที่ 48 ชั่วโมงทำให้ปลามีปริมาณเกลือร้อยละ 9-13 ตามลำดับ (ปัญญ์, 2556) ปริมาณเกลือร้อยละ 12 ในตัวอย่างสามารถควบคุมแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย (Sankatand and Mujaffar, 2006) แต่อย่างไรก็ตามที่เวลาการทำเค็มดังกล่าวปลาสวายเค็มมีค่า a_w > 0.95 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน มอก. (2536) กำหนด ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกใช้สภาวะการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 25 ระยะเวลา 48 ชั่วโมง และศึกษาการทำแห้งภายหลังการทำเค็มเพื่อลดค่า a_w ในตัวอย่างให้ ≤ 0.85 ตามมาตรฐานปลาเค็ม

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ปลาสวายขนาดน้ำหนักตัวประมาณ 1.5 กิโลกรัม ทำความสะอาด ตัดหัว ควักไส้ หั่นตามขวางหนาขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเกลือในตัวอย่างด้วยวิธี AOAC (2000) และวัดค่า a_w (Thermoconstanter, Novasina)

2. ศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในการทำเค็มปลาสวาย

ทำการศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในกระบวนการทำเค็มปลาสวาย โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองได้แก่ การทำเค็มแบบแห้ง และการทำเค็มแบบแช่น้ำเกลือ ที่ระยะเวลาการทำเค็ม 0-60 ชั่วโมง

2.1 การทำเค็มแบบแห้ง (dry salting)

ทำเค็มปลาสวายแล่แบบแห้ง (dry salting) ใช้เกลือความเข้มข้นร้อยละ 25 ของน้ำหนักปลาเริ่มต้น โดยแปรปริมาณเกลือโซเดียม:เกลือโพแทสเซียม ในอัตราส่วน 100:0, 80:20 และ 60:40

2.2 การทำเค็มแบบแช่น้ำเกลือ (brine salting)

ทำเค็มปลาสวายแล่แบบแช่น้ำเกลือ (brine salting) ใช้น้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 25 อัตราปลาต่อน้ำเกลือ 1:20 โดยน้ำหนัก เพื่อหลีกเลี่ยงการเจือจางของน้ำเกลือระหว่างการทำเค็ม (Sobukola and Olatunde, 2011) โดยแปรปริมาณเกลือโซเดียม:เกลือโพแทสเซียม ในอัตราส่วน 100:0, 80:20 และ 60:40

2.3 กระบวนการทำเค็ม

ทำเค็มปลาสวายแบบ dry salting (ข้อ 2.1) และ brine salting (ข้อ 2.2) ที่อุณหภูมิห้องนาน 60 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างปลาทุก 0 3 6 9 12 24 36 48 และ 60 ชั่วโมง วิเคราะห์คุณภาพตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

ก. วัดปริมาณความชื้นด้วยวิธี AOAC (2000)

ข. วัดปริมาณเกลือ ด้วยวิธีการไทเทรต (AOAC, 2000)

ค. วัดค่า a_w (Thermoconstanter, Novasina)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

3. ศึกษาผลการทำแห้งต่อคุณภาพปลาสวายเค็ม

3.1 กระบวนการทำเค็ม

ทำเค็มตัวอย่างปลาแบบ dry salting (เช่นเดียวกับข้อ 2.1) และแบบ brine salting (เช่นเดียวกับข้อ 2.2) ที่เวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

3.2 การทำแห้งตัวอย่างปลาเค็ม

ทำแห้งตัวอย่างปลาเค็ม dry salting และ brine salting โดยใช้ตู้อบลมร้อน แปรอุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส วางชิ้นปลาให้มีระยะห่างกัน 1 นิ้ว สุ่มตัวอย่างและชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุก 30 นาที สำหรับ 2 ชั่วโมงแรก และทุก 1 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ วิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างดังนี้

ก. วัดปริมาณความชื้นด้วยวิธี AOAC (2000)

ข. วัดค่า a_w (Thermoconstanter, Novasina)

ค. หาอัตราการทำแห้งของปลาเค็มที่สภาวะการทำแห้งต่างๆโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{Drying rate} = \frac{dM}{dt} \qquad (1)$$

ง. สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเกลือในปลา (Effective diffusivity, D_{eff}) โดยใช้กฎข้อที่สองของฟิกส์ (Fick's second law) โดยวิธีสมมุติว่าเกิดการแพร่ของน้ำออกจากปลาจากทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นปลาในรูปแบบแนวระนาบ ดังสมการที่ (1) และ (2) สำหรับการแพร่ของน้ำและการแพร่ของเกลือ ตามลำดับ และหาค่า D_{eff} โดยใช้ Slope method

$$\frac{M_t}{M_o} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n-1)^2}\exp\left[-\frac{(2n-1)^2\pi^2 D_{eff}t}{L^2}\right] \qquad (2)$$

$$\frac{S_t}{S_o} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n-1)^2}\exp\left[-\frac{(2n-1)^2\pi^2 D_{eff}t}{L^2}\right] \qquad (3)$$

โดย M_t = ปริมาณความชื้นของปลา ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

M_o = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของปลา

S_t = ปริมาณเกลือในปลา ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

S_o = ปริมาณเกลือเริ่มต้นในปลา

D_{eff} = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

L = ความหนาของปลาที่เกิดการแพร่

t = ระยะเวลาต่างๆ ในการแพร่

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำเค็มและทำแห้งต่อคุณภาพของปลาสวายเค็ม

ศึกษาคุณภาพปลาสวายเค็ม โดยการวางแผนการทดลอง Box-Behnken Design ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนเกลือโซเดียม (NaCl) ต่อเกลือโพแทสเซียม (KCl) (60-100 %) ระยะเวลาในการทำเค็ม (12-36 ชั่วโมง) และอุณหภูมิในการทำแห้ง (40-60 องศาเซลเซียส) ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงระดับของปัจจัยทั้ง 3 ตามแผนการทดลองและจำนวนสิ่งทดลองดังตารางที่ 2 แล้วทำแห้งปลาสวายเค็มที่ผ่านการทำเค็มในแต่ละวิธี โดยใช้ระยะเวลาทำแห้งที่เหมาะสมจากข้อ 3 จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่างดังนี้

ก. วัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter lab (Hunter lab Color Flex Model 45/0 S/N Cx-0413, USA)

ข. วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer (LLOYD, Model LR5K, USA)

ค. ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ง. วิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Ion Exchange Chromatography

จ. คุณภาพทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน ทดสอบความชอบ และให้คะแนนความชอบแบบ 9-hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม โดยคะแนน 9 หมายถึงชอบมาก และคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมาก

ตารางที่ 1 ระดับต่างๆ ของปัจจัยที่ใช้ทำการทดลอง

ปัจจัยที่ศึกษา	-1	0	+1
อัตราส่วนเกลือ NaCl ต่อเกลือ KCl (%, w/w): X_1	60	80	100
ระยะเวลาในการทำเค็ม (h): X_3	12	24	36
อุณหภูมิในการทำแห้ง ($^{\circ}C$) : X_2	40	50	60

ตารางที่ 2 สิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนการทดลอง

สิ่งทดลอง	Code level			ปัจจัย		
	X_1	X_2	X_3	อัตราส่วนเกลือ NaCl ต่อเกลือ KCl (%)	ระยะเวลาในการทำเค็ม (h)	อุณหภูมิในการทำแห้ง ($^{\circ}C$)
1	-1	-1	0	60	12	50
2	1	-1	0	100	12	50
3	-1	1	0	60	36	50
4	1	1	0	100	36	50
5	-1	0	-1	60	24	40
6	1	0	-1	100	24	40
7	-1	0	1	60	24	60
8	1	0	1	100	24	60
9	0	-1	-1	80	12	40
10	0	1	-1	80	36	40
11	0	-1	1	80	12	60
12	0	1	1	80	36	60
13	0	0	0	80	24	50
14	0	0	0	80	24	50
15	0	0	0	80	24	50

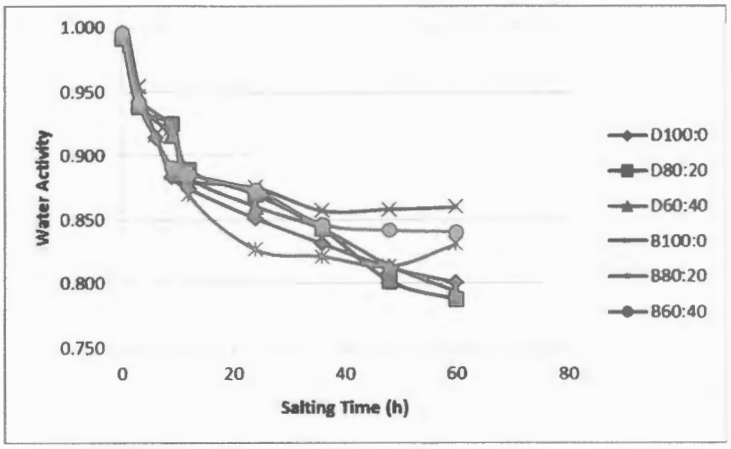
บทที่ 4
ผลการทดลอง

1. ศึกษาการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมในการทำเค็มปลาสวาย

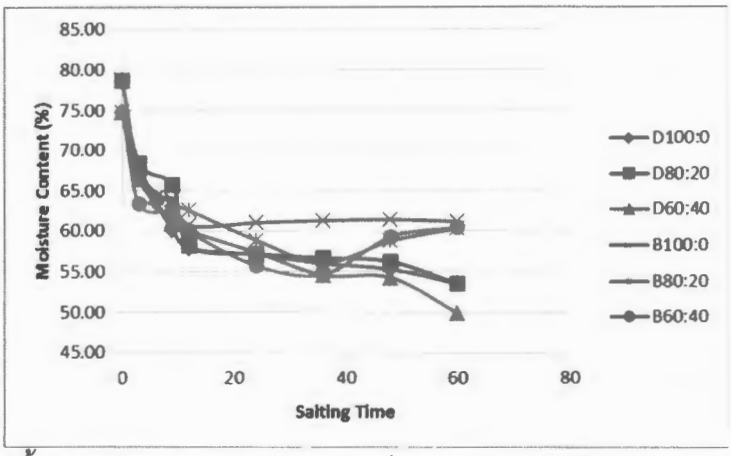
ผลการศึกษาวิธีการทำเค็มแบบ dry salting และแบบ brine salting ที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 25 ระยะเวลาการทำเค็ม 60 ชั่วโมง พบว่า ค่า water activity (a_w) และปริมาณความชื้นของปลาสวายที่ผ่านการทำเค็มทั้งสองแบบลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มเพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 1 และ 2 อัตราการลดลงของค่า a_w และค่าความชื้นมีค่าสูงในช่วงการหมัก 0-12 ชั่วโมง ความแตกต่างของความดันออสโมซิสหรือความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเกลือและน้ำในเนื้อปลาทำให้เกลือเกิดการแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อปลา (สุปราณี, 2544) ซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์ salting out ที่ความเข้มข้นเกลือสูงกว่า 1 โมลาร์ อันตรกิริยาระหว่างน้ำกับเกลือมากขึ้นและอันตรกิริยาระหว่างน้ำกับโปรตีนลดลงส่งผลให้น้ำที่จับกับโปรตีนไหลออกจากตัวปลาได้เร็วขึ้นในช่วงแรกของการหมัก เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราดังกล่าวมีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำเค็มพบว่าวิธีการทำเค็มแบบ dry salting ส่งผลให้ค่า a_w ลดลงมากกว่าวิธี brine salting เมื่อเทียบที่ระยะเวลาการทำเค็ม 60 ชั่วโมง (ภาพที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากการทำเค็มแบบ dry salting นั้นเนื้อปลาสัมผัสกับเกลือโดยตรงจึงเกิดการดึงน้ำออกจากเนื้อปลาได้สูงกว่าการทำเค็มแบบ brine salting การทำเค็มแบบ dry salting ใช้ระยะเวลาในการดึงน้ำออกเนื้อปลาสั้นกว่าวิธี brine salting นอกจากนี้ยังพบว่าการทำเค็มแบบ dry salting ให้เนื้อปลามีค่า $a_w \leq 0.85$ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมอาหารและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเมื่อเทียบกับการทำเค็มแบบ brine salting

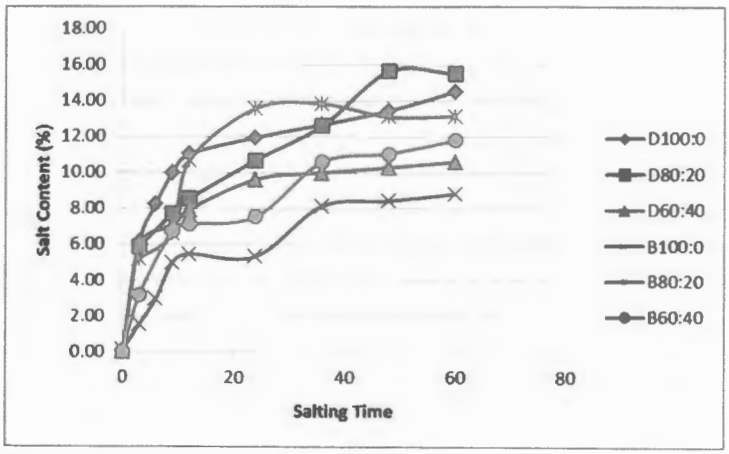
ความชื้นของปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่า a_w ปริมาณเกลือและระยะเวลาการทำเค็มส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระในอาหารลดลงโดยเกลือจะทำพันธะกับน้ำอิสระ Jittinandana *et al.* (2002) รายงานการลดลงของปริมาณน้ำในปลาเทราซ์รมควันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเกลือและระยะเวลาการทำเค็ม วิธีการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ส่งผลต่อการแพร่ของเกลือเข้าสู่ตัวปลาเนื่องจากความแตกต่างของความดันออสโมซิส ดังจะเห็นจากผลการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือตลอดระยะเวลาการทำเค็ม (ภาพที่ 3) ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของค่าความชื้นและค่า a_w (ภาพที่ 1 และ 2) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทำเค็ม ปลาที่ผ่านการทำเค็มแบบ dry salting มีปริมาณเกลือสูงกว่าปลาที่ผ่านการทำเค็มแบบ brine salting ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Bellagha *et al.* (2007) ซึ่งรายงานว่าการทำเค็มแบบ dry salting ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณเกลือสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธี brine salting ที่ระยะเวลาการทำเค็มที่เท่ากัน จากผลการทดลองพบว่าการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือในตัวอย่าง



ภาพที่ 1 ค่า water activity ของปลาสวายระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ระยะเวลา 60 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 ปริมาณความชื้นของปลาสวายระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ระยะเวลา 60 ชั่วโมง



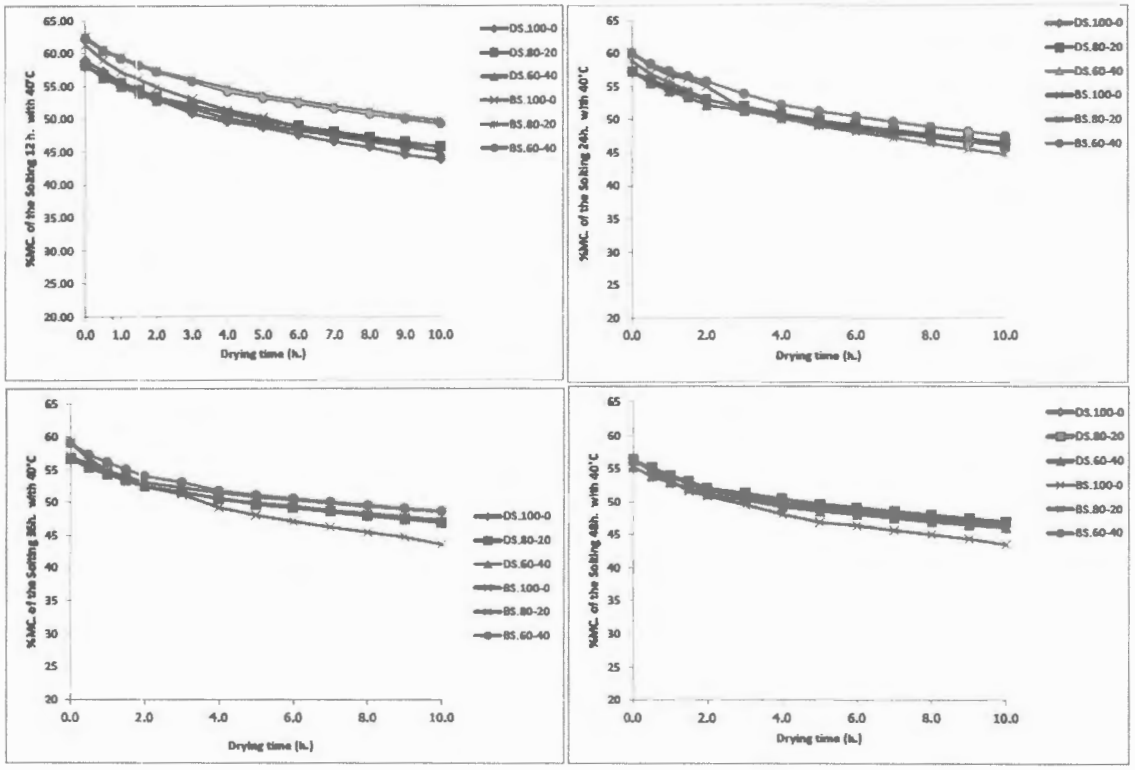
ภาพที่ 3 ปริมาณเกลือของปลาสวายระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ระยะเวลา 60 ชั่วโมง

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

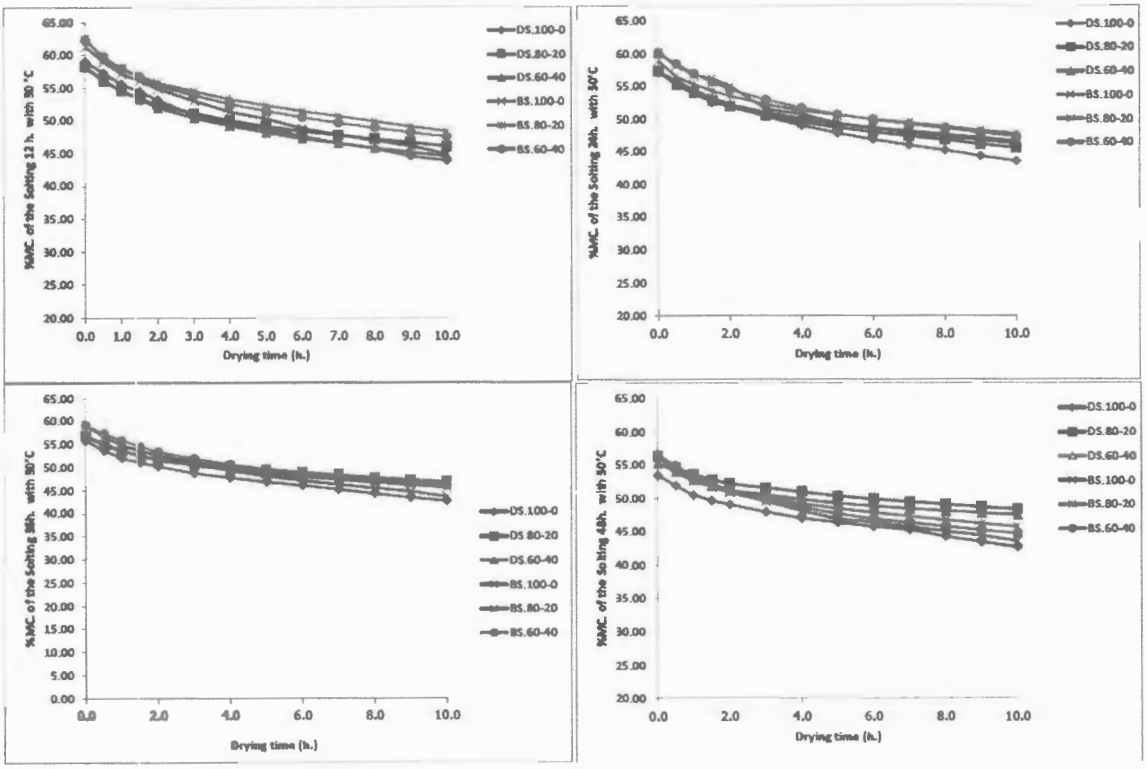
2. ศึกษาผลการทำแห้งต่อคุณภาพปลาสวายเค็ม

ดำเนินการศึกษาผลการทำแห้งโดยศึกษากระบวนการทำแห้งปลาสวายที่ทำเค็มด้วยวิธี dry salting และ แบบ brine salting ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เวลา 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณความชื้น สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเกลือในปลา (Effective diffusivity, D_{eff}) หาอัตราการทำแห้งของปลาเค็มที่สภาวะการทำแห้งต่างๆ ผลการดำเนินการพบว่าค่าความชื้นของตัวอย่างลดลงเมื่อระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4-6 ความชื้นของตัวอย่างโดยเฉพาะการทำแห้งแบบ dry salting มีผลให้เกิดการลดลงของความชื้นสูงกว่าการทำแห้งแบบ brine salting การทำแห้งแบบ dry sating ตัวอย่างสัมผัสกับเกลือโดยตรงจึงมีผลต่อการดึงน้ำออก สูงกว่าซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างที่ทำแห้งแบบ dry salting มีค่าต่ำกว่าตัวอย่าง brine salting การลดความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์และเพิ่มความเข้มข้นของเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (ภาพที่ 7-9) ส่งผลต่ออัตราการทำแห้งโดยตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงกว่ามีอัตราการทำแห้งสูงกว่าตัวอย่างอื่น ที่ความเข้มข้นสูงไอออนมีผลต่อโครงสร้างโปรตีนแตกต่างกันตามการจัดลำดับ Hofmeister series เมื่อพิจารณาการเรียงลำดับไอออนที่เสถียรโครงสร้างโปรตีนไปสู่ไอออนที่ทำลายโครงสร้างโปรตีนนั้น โพแตสเซียมไอออน (K^+) มีลำดับการเสถียรการเสถียรโครงสร้างโปรตีนสูงกว่าโซเดียมไอออน (Na^+) เกลือที่เพิ่มเสถียรภาพของโปรตีนมีผลทำให้น้ำสามารถเข้าจับกับส่วนที่ไม่มีขั้วของโปรตีนได้มากขึ้น เกิดลักษณะโครงสร้างน้ำล้อมรอบโครงสร้างโปรตีน (clathrate structure) ทำให้โปรตีนจึงพยายามปรับสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกซ์โดยเพิ่มอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกภายในโมเลกุล เพื่อลดการจับตัวระหว่างน้ำและส่วนที่ไม่มีขั้วเหล่านั้น ส่งผลให้โปรตีนอยู่ในสภาพธรรมชาติมากกว่าที่จะเปิดตัวออก นอกจากนี้เกลือยังเพิ่มแรงตึงผิว (surface tension) ของน้ำ การเปิดตัวออกของโปรตีนในสารละลายเกลือจึงเกิดยากขึ้นเนื่องจากต้องใช้พลังงานมาก (จิรวัฒน์, 2549) โปรตีนที่มีเกลือโพแทสเซียมไอออนจึงมีเสถียรภาพมากกว่า ส่วนไอออน Na^+ มีผลทำลายโครงสร้างโปรตีนสูงกว่า K^+ ซึ่งสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำที่ล้อมรอบโปรตีน ทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับโปรตีนลดลง โปรตีนจึงมีแนวโน้มที่จะเปิดตัวออกได้สูงกว่า สังเกตจากการลดลงของความชื้นและอัตราการทำแห้งของตัวอย่างที่มีเกลือโพแทสเซียมมีค่าต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระยะเวลาในการทำเค็มยังส่งผลต่อการลดลงของค่าความชื้น ค่า a_w และอัตราการทำแห้ง การเพิ่มระยะเวลาการทำเค็มมีผลช่วยเพิ่มอัตราการทำแห้ง การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอที่ผิวหน้าอาหารและความดันไอในอาหารสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (วิไล, 2547) ความแตกต่างดังกล่าวส่งผลต่อการไล่น้ำออกจากอาหาร ซึ่งจะสังเกตว่าการลดลงของความชื้นในตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีร้อยละอัตราการลดลงสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 40 องศาเซลเซียสตามลำดับ (ภาพที่ 7-9) อัตราการทำแห้งของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมีค่าสูงสุดเมื่อในช่วงระยะเวลาการทำแห้ง 2 ชั่วโมงแรก และอัตราการทำแห้งลดลงภายหลังการทำแห้ง 2 ชั่วโมง อัตราการทำแห้งของปลาเค็มพบช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) ในทุกสภาวะการทำเค็ม แสดงให้เห็นว่าการทำเค็มด้วยเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมและระยะเวลาการทำเค็มไม่มีผลต่ออัตราการทำแห้งของปลาเค็มที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส การลดลงของความชื้นในตัวอย่างปลาเค็มสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาการทำแห้ง ความชื้นของตัวอย่างลดลงเมื่อเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 50 และ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว Omodara and Olaniyan (2012) รายงานว่าการ pre-treatment ปลาดุกแอฟริกันด้วยการลวก การแช่น้ำเกลือ (0.15% และ น้ำตาล 1.4 ^{0}brix) และแช่สารละลายน้ำตาล (1.2 ^{0}brix) ไม่มีผลต่ออัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 45 50 และ 55 องศาเซลเซียส ช่วงการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส พบเฉพาะช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) เช่นเดียวกับรายงานของ Sankatand

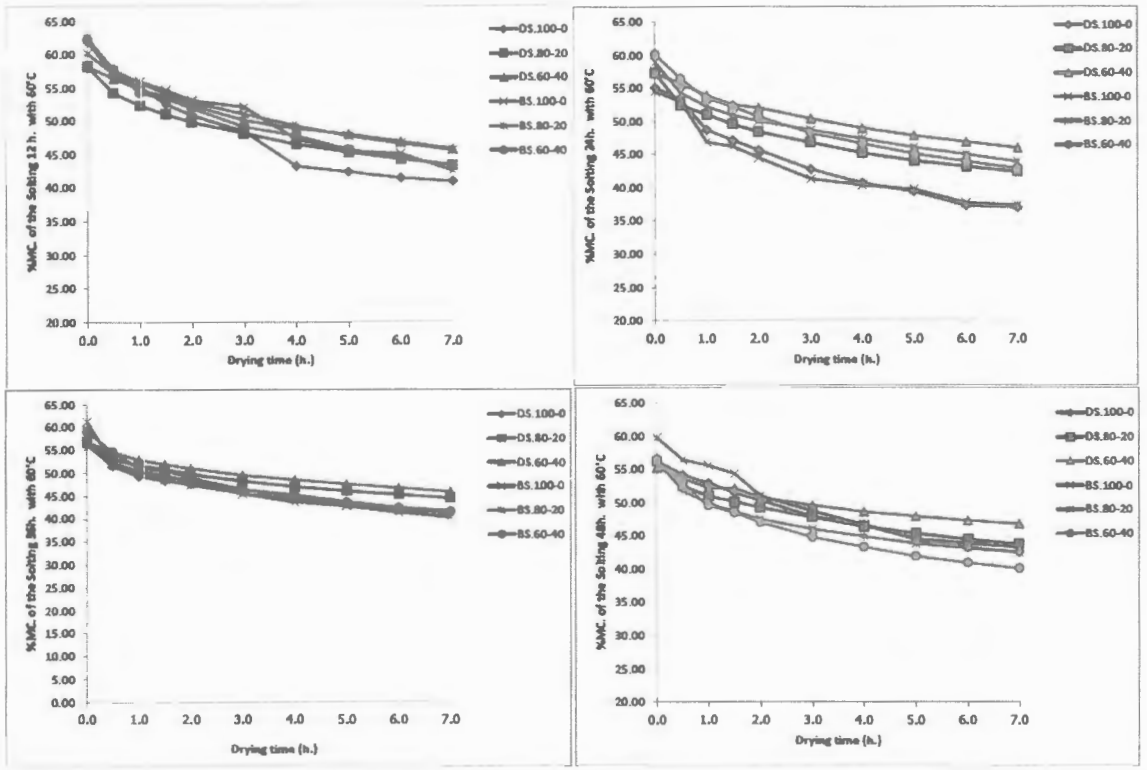
and Mujaffar (2006) ที่พบช่วง falling rate period สำหรับการทำแห้งปลาดุกเค็มที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบทั้งช่วง constant rate และ falling rate period Sobukola and Olatunde (2011) รายงานว่าไม่พบความแตกต่างของช่วงอัตราการทำแห้งระหว่างการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting โดยการทำเค็มทั้งสองวิธีพบช่วง falling rate period เช่นเดียวกัน แม้ว่า dry salting จะมีอัตราการทำแห้งสูงกว่า brine salting สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเกลือในปลา (Effective diffusivity, D_{eff}) โดยใช้กฎข้อที่สองของฟิกส์ (Fick's second law) โดยสมมุติว่าเกิดการแพร่ของน้ำออกจากปลาจากทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นปลาในรูปแบบแนวระนาบ ผลจากสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเกลือแสดงดังภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ ค่าการแพร่ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0015-0.003 cm^2/h สัมประสิทธิ์การแพร่ลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มเพิ่มขึ้น และปริมาณโพแทสเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์มีผลต่อการเสถียรโปรตีนทำให้โปรตีนจับน้ำมากกว่าการไอออนของโซเดียม ระยะเวลาการทำเค็มที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีน อาจมีผลให้ผิวหน้าของโปรตีนเกิดการรวมตัวกันและป้องกันการระเหยออกของน้ำในระหว่างการทำแห้ง สัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือมีค่าเพิ่มขึ้นในการทำเค็มช่วง 2 ชั่วโมงแรกและมีค่าลดลงภายหลังการทำแห้ง 2 ชั่วโมง การทำเค็มแบบ dry salting มีสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือสูงกว่าการทำเค็มแบบ brine salting และยังพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือมีค่าลดลงเมื่อปริมาณโพแทสเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าอัตราการทำแห้งของปลาสวายเค็มขึ้นอยู่กับปัจจัย ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาการทำเค็ม อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง



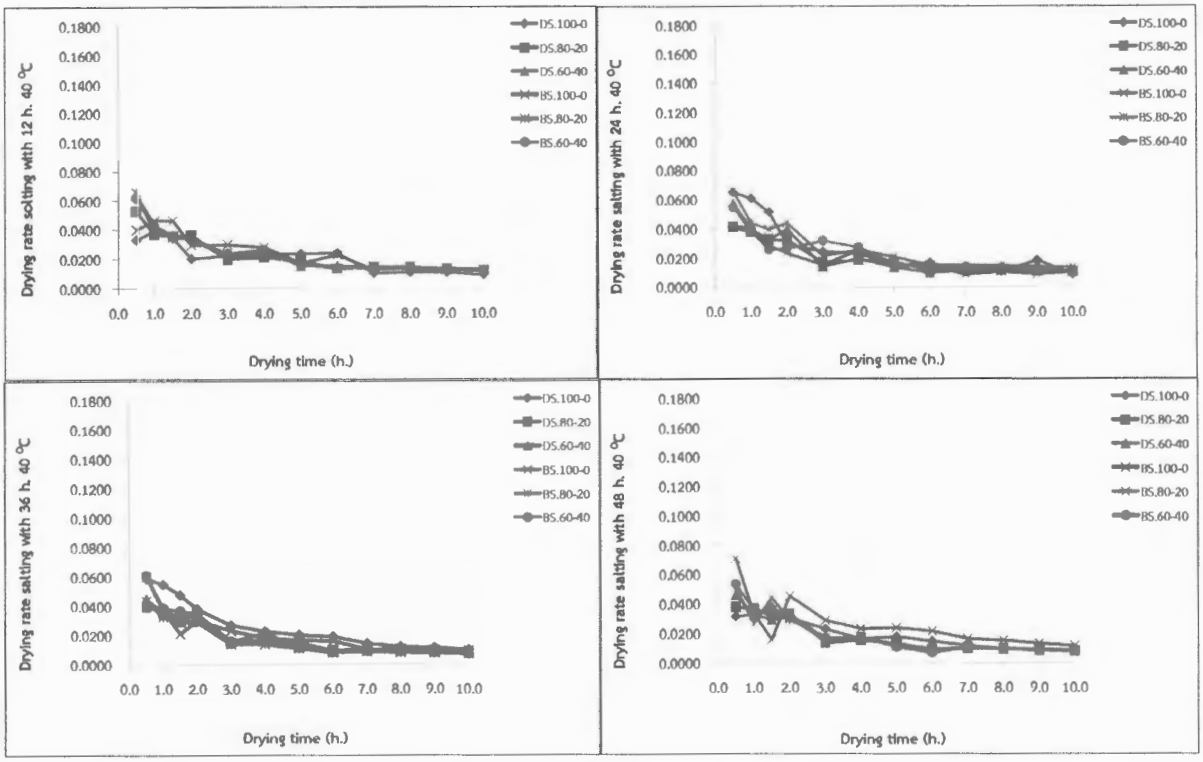
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



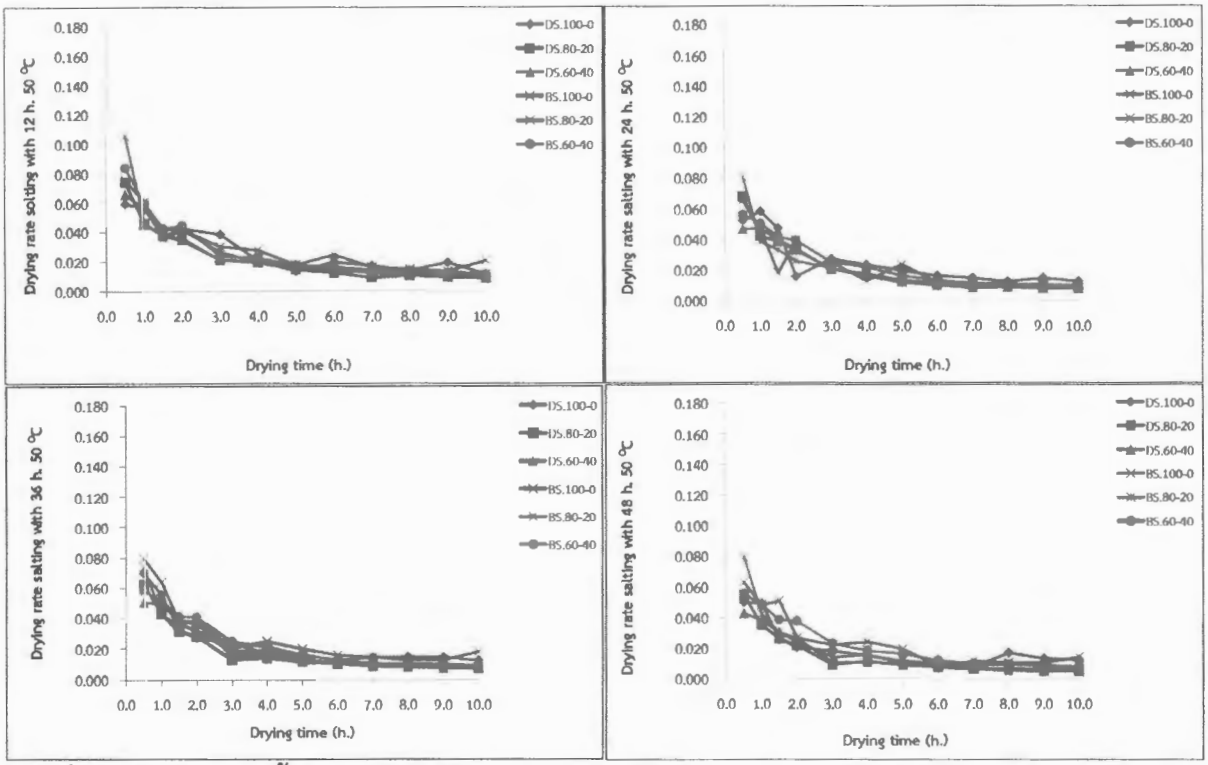
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



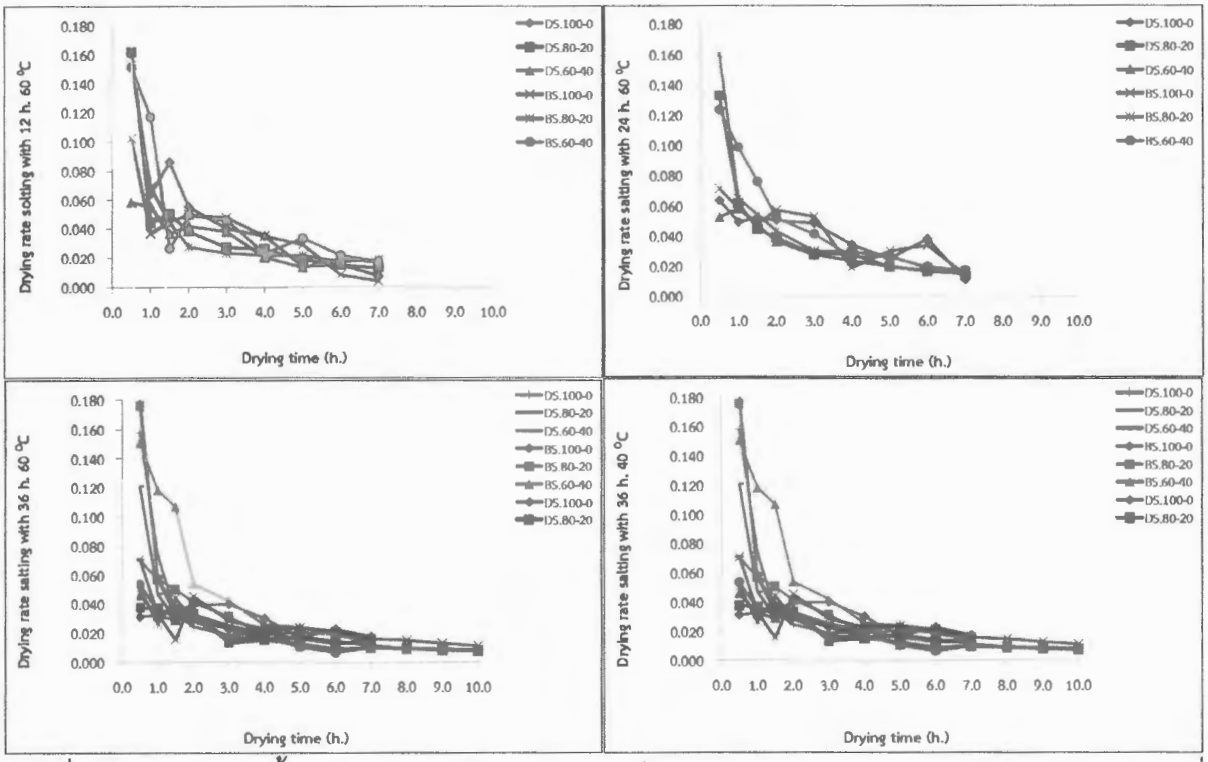
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



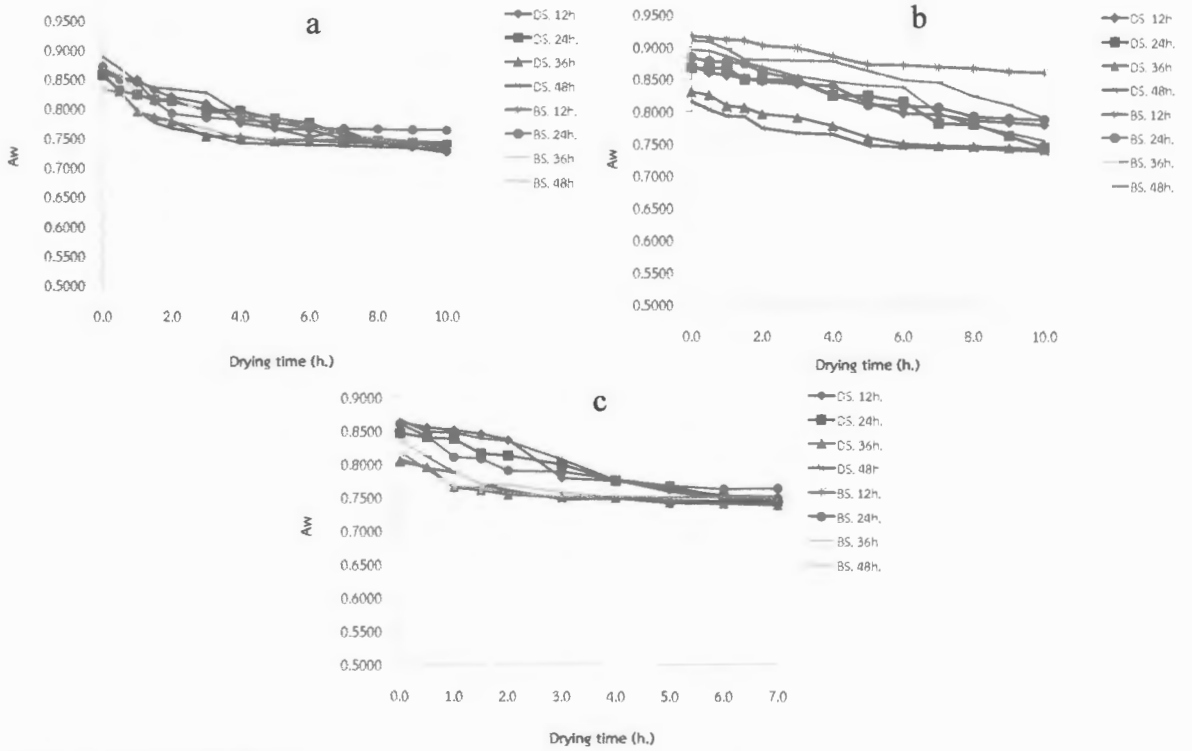
ภาพที่ 7 อัตราค่าความชื้นระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



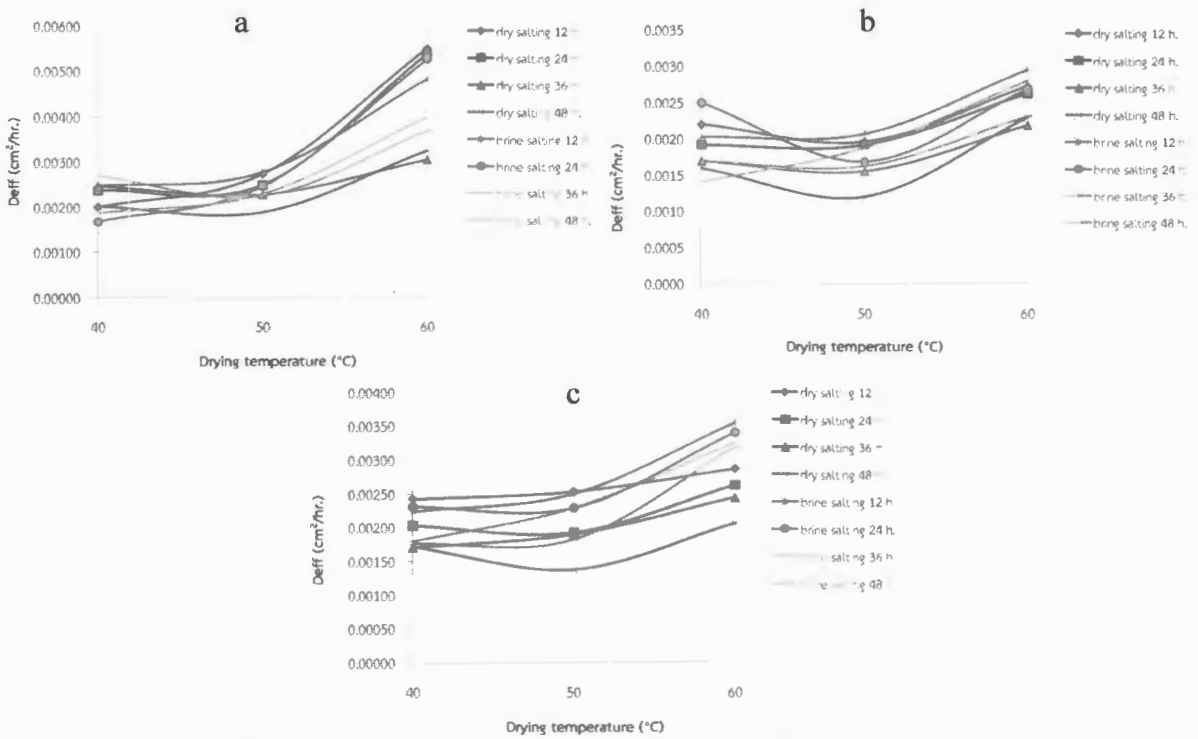
ภาพที่ 8 อัตราค่าความชื้นระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



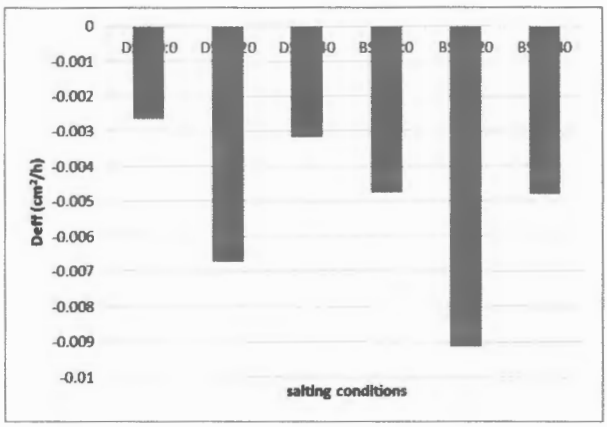
ภาพที่ 9 อัตราค่าความชื้นระหว่างการทำแห้งปลาสวายเค็มแบบ dry salting (D) และ brine salting (B) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 80:20 และ 60:40 ที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 ปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ระหว่างการทำแห้งของปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 หมักนาน 12 24 36 และ 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 (a) 50 (b) และ 60 (c) องศาเซลเซียส



ภาพที่ 11 สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำระหว่างการทำแห้งของปลาสวายเค็มแบบ dry salting และ brine salting หมักนาน 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 (a) 80:20 (b) และ 60:40 (c)



ภาพที่ 12 สัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือระหว่างการทำแห้งของปลาสวายเค็มแบบ dry salting (DS) และ brine salting (BS) หมักนาน 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 (a) 80:20 (b) และ 60:40 (c)

3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำเค็มและทำแห้งต่อคุณภาพของปลาสวาย

ดำเนินการศึกษาคุณภาพของปลาเค็มโดยการวางแผนการทดลอง Box-Behnken Design ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนเกลือโซเดียม (NaCl) ต่อเกลือโพแทสเซียม (KCl) (60-100 %) ระยะเวลาในการทำเค็ม (12-36 ชั่วโมง) และอุณหภูมิในการทำแห้ง (40-60 องศาเซลเซียส) และวิเคราะห์คุณภาพโดยการวัดค่าสี วัดค่าเนื้อสัมผัส และวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลของปริมาณน้ำอิสระในปลาเค็มที่ผ่านการทำแห้งทุกตัวอย่างมีค่าระหว่าง 0.83-0.85 ดังตารางที่ 3 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

มผช. ที่กำหนดให้ตัวอย่างมีค่า a_w ไม่เกิน 0.85 ซึ่งค่า a_w ดังกล่าว เป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์

ตารางที่ 3 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ของปลาสวายเค็มอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

Treatment			Water activity (a_w)	
NaCl:KCl	Time (h.)	Temp.(°C)	Dry salting	Brine salting
100:0	24	40	0.8484 ± 0.001	0.8494 ± 0.002
	12	50	0.8456 ± 0.001	0.8460 ± 0.001
	36	50	0.8348 ± 0.002	0.8507 ± 0.000
	24	60	0.8343 ± 0.000	0.8385 ± 0.000
80:20	12	40	0.8505 ± 0.001	0.8506 ± 0.000
	36	40	0.8433 ± 0.001	0.8477 ± 0.000
	24	50	0.8480 ± 0.000	0.8504 ± 0.000
	24	50	0.8488 ± 0.001	0.8514 ± 0.000
	24	50	0.8489 ± 0.000	0.8493 ± 0.000
	12	60	0.8345 ± 0.001	0.8456 ± 0.002
	36	60	0.8396 ± 0.002	0.8456 ± 0.001
60:40	24	40	0.8458 ± 0.001	0.8474 ± 0.001
	12	50	0.8426 ± 0.000	0.8501 ± 0.001
	36	50	0.8427 ± 0.001	0.8493 ± 0.001
	24	60	0.8407 ± 0.000	0.8421 ± 0.001

สภาวะการทำเค็มปลาสวายทั้งปริมาณเกลือ ระยะเวลาการทำเค็ม และอุณหภูมิการทำแห้งมีผลต่อค่าสี เนื้อสัมผัส และความชอบของผู้บริโภค ผลการทดสอบค่าสีความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของตัวอย่างปลาสวายที่ผ่านการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าสี L* ของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มสูงขึ้น โดยเฉพาะการทำเค็มที่มีปริมาณเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์สูงขึ้น ขณะที่ค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่อพิจารณาดัชนีความเป็นสีแดง (redness index, a*/b*) พบว่า ปลาสวายที่ผ่านการทำเค็มมีค่า redness index ต่ำอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ myoglobin เกิดเป็น metmyoblobin ในระหว่างการทำเค็มโดยเฉพาะการทำเค็มที่ระยะเวลานานส่งผลให้ค่า redness มีค่าต่ำ Chaijan (2110) รายงานว่าค่า redness index ของปลานิลเค็มมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการทำเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 180 นาทีซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ metmyglobin ผลการวิเคราะห์

รูปแบบเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA) ของปลาสวายผ่านการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 25 ระยะเวลาการทำเค็ม 12-36 ชั่วโมง อุณหภูมิการทำแห้งที่ 40-60 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 5 การทดแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ส่งผลให้ค่า hardness ของตัวอย่างสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting แต่มีข้อสังเกตว่าการทำเค็มด้วยเกลือ NaCl:KCl อัตราส่วน 60:40 ที่เวลาทำเค็ม 12 ชั่วโมง และทำเค็มที่ 50 องศาเซลเซียสให้ผลตรงกันข้าม ระยะเวลาการทำเค็มและอุณหภูมิการทำแห้งส่งผลต่อการค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง เมื่ออุณหภูมิการทำแห้งและระยะเวลาการทำแห้งในระดับสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพและรวมตัวกัน ปลาเทราซ์เค็มที่ผ่านการทำเค็มโดยการหมักน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 17.4 นาน 120 นาที มีค่า hardness และ cohesiveness สูงกว่าตัวอย่างปลาเทราซ์เค็มที่ใช้เกลือความเข้มข้นน้ำเกลือร้อยละ 8.7 (Jittinandana *et al.*, 2002) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำเค็มที่ความเข้มข้นเกลือสูงส่งผลให้เนื้อสัมผัสของปลาเค็มแน่นและเหนียวกว่า การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของปลาเค็มเกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของเกลือที่ความเข้มข้นสูงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพและความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนลดลงจึงส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อมากขึ้น (Barat *et al.*, 2002; Jittinandana *et al.*, 2002) ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของปลาเค็มไม่ผ่านการทำสุก (ตารางที่ 6-7) พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับปลาที่ผ่านการทำเค็มทุกตัวอย่างในระดับเฉยๆ-ชอบเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าควรมีการปรับลักษณะปรากฏทุกด้านของปลาเค็มให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของตัวอย่างปลาสวายเค็มที่ผ่านการทำสุก (ตารางที่ 8-9) พบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกด้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และพบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของปลาสวายเค็มได้รับคะแนนการยอมรับเฉลี่ยมากกว่า 6.5 คือตัวอย่างที่มีระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 และ 60:40 ทั้งการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting การทำแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และเนื้อสัมผัสของปลาเค็ม สำหรับตัวอย่างที่ได้รับคะแนนการยอมรับรวมในระดับปานกลาง มีคะแนนมากกว่า 7 คะแนนได้แก่ตัวอย่างที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 100:0 ระยะเวลาการทำเค็ม 24 ชั่วโมง และทำแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมแล้ว การใช้ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 60:40 ร่วมกับการทำเค็มที่ 24 ชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สำหรับการทำเค็มแบบ brine salting ให้ค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด (7.10) ขณะที่การทำเค็มแบบ dry salting ตัวอย่างที่มีการทดแทนเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมแล้วได้คะแนนการยอมรับสูงสุด (6.50) คือ โซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 60:40 ร่วมกับการทำเค็มที่ 12 ชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4 ค่าสี L* a* b* และ redness ของปลาสวายเค็มอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

Treatment			L*		a*		b*		Redness (a*/b*)	
NaCl:KCl	Time (h.)	Temp.(°C)	Dry salting	Brine salting	Dry salting	Brine salting	Dry salting	Brine salting	Dry salting	Brine salting
100:0	24	40	37.52 ± 2.06^{fgh}	46.07 ± 1.45^{a}	-0.86 ± 0.64^{a}	-2.21 ± 0.36^{ef}	10.43 ± 1.37^{cde}	13.06 ± 0.95^{b}	-0.08 ± 0.06^{a}	-0.17 ± 0.03^{b}
	12	50	36.65 ± 3.06^{gh}	36.26 ± 2.13^{g}	-1.03 ± 0.41^{a}	-1.64 ± 0.79^{bcd}	8.66 ± 2.31^{f}	9.08 ± 0.76^{ef}	-0.14 ± 0.08^{abcd}	-0.18 ± 0.09^{b}
	36	50	60.18 ± 6.22^{a}	39.60 ± 2.06^{ef}	-2.94 ± 0.90^{g}	-1.18 ± 0.67^{ab}	8.56 ± 4.97^{f}	9.02 ± 2.01^{ef}	-0.50 ± 0.30^{f}	-0.15 ± 0.12^{b}
	24	60	45.05 ± 3.09^{c}	40.14 ± 1.12^{de}	-1.62 ± 0.21^{cd}	-1.65 ± 0.20^{bcd}	13.41 ± 1.32^{b}	9.56 ± 1.09^{e}	-0.12 ± 0.02^{bc}	-0.18 ± 0.03^{b}
80:20	12	40	40.21 ± 3.30^{ef}	45.71 ± 6.09^{ab}	-2.05 ± 0.34^{e}	-0.76 ± 1.40^{a}	11.26 ± 1.01^{cd}	12 .37 ± 2.28^{bc}	-0.18 ±0.02^{cd}	-0.06 ± 0.12^{a}
	36	40	35.57 ± 5.78^{h}	33.46 ± 4.14^{h}	-1.33 ± 0.13^{bc}	-1.61 ± 1.52^{bcd}	8.87 ± 2.39^{ef}	8.48 ± 0.92^{fg}	-0.18 ± 0.12^{cd}	-0.17 ± 0.17^{b}
	24	50	40.96 ± 2.18^{de}	37.70 ± 4.51^{fg}	-2.68 ± 0.34^{fg}	-2.31 ± 0.23^{ef}	10.01 ± 0.61^{def}	7.78 ± 1.19^{g}	-0.27 ± 0.03^{e}	-0.29 ± 0.05^{c}
	24	50	38.66 ± 3.03^{efg}	38.96 ± 0.64^{efg}	-1.24 ± 0.50^{bg}	-1.88 ± 0.44^{bcd}	12.14 ± 1.03^{bc}	9.41 ± 0.42^{e}	-0.11 ± 0.05^{abc}	-0.20 ± 0.06^{b}
	24	50	43.61 ± 2.55^{cde}	38.38 ± 0.56^{efg}	-2.46 ± 0.20^{f}	-2.88 ± 0.27^{g}	11.89 ± 1.42^{bc}	9.82 ± 0.27^{e}	-0.21 ± 0.03^{de}	-0.29 ± 0.03^{c}
	12	60	51.77 ± 5.16^{b}	45.40 ± 2.53^{ab}	-1.74 ± 0.17^{de}	-1.43 ± 0.11^{bc}	15.19 ± 3.34^{a}	15.14 ± 1.56	-0.13 ± 0.07^{abc}	-0.10 ± 0.01^{a}
	36	60	41.51 ± 3.40^{de}	47.40 ±0.48^{a}	-1.70 ± 0.49^{d}	-3.02 ± 0.13^{g}	11.70 ± 1.17^{cd}	11.40 ± 0.29^{ad}	-0.15 ± 0.04^{abcd}	-0.27 ± 0.01^{c}
60:40	24	40	39.67 ± 2.485^{f}	42.69 ± 2.12^{c}	-1.34 ± 0.29^{bc}	-2.00 ± 0.31^{bde}	10.14 ± 1.37^{def}	11.31 ± 0.73^{d}	-0.13 ± 0.03^{abcd}	-0.18 ± 0.02^{b}
	12	50	40.71 ± 1.76^{e}	37.27 ± 2.70^{g}	-1.78 ± 0.52^{de}	-1.39 ± 0.39^{bc}	10.68 ± 0.64^{cd}	9.15 ± 0.80^{ef}	-0.17 ± 0.05^{bcd}	-0.15 ± 0.04^{b}
	36	50	52.13 ± 2.81^{b}	41.78 ± 0.77^{cd}	-1.94 ± 0.30^{de}	-2.59 ± 0.25^{fg}	16.39 ± 1.74^{a}	8.24 ± 0.28^{fg}	-0.12 ± 0.01^{abc}	-0.32 ± 0.04^{c}
	24	60	40.09 ± 4.79^{ef}	43.63 ± 3.60^{bc}	-1.05 ± 0.30^{ab}	-2.25 ± 0.46^{ef}	11.58 ± 2.27^{cd}	11.74 ± 1.26^{cd}	-0.09 ± 0.02a^{b}	-0.19 ± 0.03^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 ค่าเนื้อสัมผัสของปลาสวายเค็มอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

NaCl:KCl	Time (h.)	Temp. (°C)	Hardness (N)		Cohesiveness		Springiness (mm)		Gumminess (N)		Chewiness (N.mm)	
			Dry salting	Brine salting	Dry salting	Brine salting	Dry salting	Brine salting	Dry salting	Brine salting	Dry salting	Brine salting
100:0	24	40	12.116 ± 3.367^{a}	6.659 ± 1.746^{bcd}	0.352 ± 0.071^{b}	0.369 ± 0.064^{abc}	2.629 ± 0.404^{ab}	2.635 ± 0.200^{bc}	3.561 ± 1.087^{cde}	2.473 ± 0.760^{bcd}	3.561 ± 1.087^{cde}	2.473 ± 0.760^{bcd}
	12	50	8.555 ± 3.219^{b}	7.415 ± 2.131^{b}	0.401 ± 0.041^{ab}	0.369 ± 0.035^{ab}	2.879 ± 0.344^{ab}	2.506 ± 0.203^{c}	3.006 ± 0.991^{def}	2.736 ± 0.807^{bc}	3.006 ± 0.991^{def}	2.736 ± 0.807^{bc}
	36	50	11.919 ± 3.014^{a}	4.550 ± 0.961^{f}	0.382 ± 0.051^{ab}	0.365 ± 0.076^{abc}	2.820 ± 0.381^{ab}	2.819 ± 0.744^{bc}	4.023 ± 1.105^{abc}	1.644 ± 0.422^{e}	4.023 ± 1.105^{abc}	1.644 ± 0.422^{e}
	24	60	7.305 ± 1.652^{b}	4.692 ± 0.694^{ef}	0.389 ± 0.060^{ab}	0.350 ± 0.051^{bc}	2.677 ± 0.211^{ab}	2.635 ± 0.405^{bc}	2.588 ± 0.756^{ef}	1.646 ± 0.354^{e}	2.588 ± 0.756^{ef}	1.646 ± 0.354^{e}
80:20	12	40	6.779 ± 1.163^{b}	5.769 ± 1.329^{cde}	0.400 ± 0.052^{b}	0.405 ± 0.080^{ab}	2.687 ± 0.205^{ab}	2.864 ± 0.493^{bc}	2.460 ± 0.545^{f}	2.320 ± 0.631^{bcd}	2.460 ± 0.545^{f}	2.320 ± 0.631^{bcd}
	36	40	10.811 ± 3.876^{a}	5.676 ± 1.714^{def}	0.395 ± 0.164^{ab}	0.375 ± 0.046^{abc}	2.765 ± 0.731^{ab}	2.757 ± 0.344^{bc}	4.275 ± 2.427^{abcd}	2.097 ± 0.854^{cde}	4.275 ± 2.427^{abcd}	2.097 ± 0.854^{cde}
	24	50	12.282 ± 5.588^{a}	6.862 ± 1.946^{bcd}	0.428 ± 0.116^{a}	0.346 ± 0.038^{c}	2.965 ± 0.887^{a}	2.609 ± 0.913^{bc}	4.789 ± 1.742^{a}	2.245 ± 1.077^{bcde}	4.789 ± 1.742^{a}	2.245 ± 1.077^{bcd}
	24	50	11.957 ± 3.516^{a}	5.559 ± 1.643^{de}	0.386 ± 0.049^{ab}	0.391 ± 0.089^{abc}	2.705 ± 0.359^{ab}	2.634 ± 0.231^{bc}	4.116 ± 1.355^{abc}	2.196 ± 0.867^{bcd}	4.116 ± 1.355^{abc}	2.196 ± 0.867^{bcd}
	24	50	12.444 ± 3.447^{a}	5.908 ± 2.236^{bcde}	0.374 ± 0.055^{ab}	0.413 ± 0.098^{a}	2.741 ± 0.449^{ab}	2.986 ± 0.603^{b}	4.232 ± 1.400^{abc}	2.457 ± 0.844^{bcd}	4.232 ± 1.400^{abc}	2.457 ± 0.844^{bcd}
	12	60	13.650 ± 3.466^{a}	7.317 ± 2.451^{bc}	0.382 ± 0.046^{ab}	0.384 ± 0.072^{abc}	2.741 ± 0.252^{ab}	2.959 ± 0.662^{bc}	4.662 ± 1.201^{ab}	2.804 ± 1.095^{b}	4.662 ± 1.201^{ab}	2.804 ± 1.095^{b}
	36	60	13.168 ± 4.734^{a}	4.917 ± 0.892^{ef}	0.389 ± 0.045^{ab}	0.390 ± 0.060^{abc}	2.773 ± 0.273^{ab}	2.807 ± 0.334^{bc}	4.632 ± 1.748^{abc}	1.962 ± 0.506^{de}	4.632 ± 1.748^{abc}	1.962 ± 0.506^{de}
60:40	24	40	11.781 ± 3.289^{a}	6.563 ± 2.233^{bcd}	0.346 ± 0.043^{b}	0.362 ± 0.067^{abc}	2.563 ± 0.399^{b}	2.861 ± 0.423^{bc}	3.740 ± 1.317^{bcd}	2.380 ± 0.882^{bcd}	3.740 ± 1.317^{bcd}	2.380 ± 0.882^{bcd}
	12	50	7.050 ± 2.958^{b}	10.675 ± 2.400^{a}	0.393 ± 0.127^{ab}	0.418 ± 0.049^{a}	3.627 ± 1.282^{ab}	3.059 ± 0.533^{ab}	2.456 ± 0.892^{f}	4.429 ± 0.971^{a}	2.456 ± 0.892^{f}	4.429 ± 0.971^{a}
	36	50	11.521 ± 3.109^{a}	4.573 ± 1.383^{ef}	0.375 ± 0.046^{ab}	0.417 ± 0.075^{a}	2.710 ± 0.378^{ab}	3.378 ± 0.746^{a}	3.941 ± 0.938^{bcd}	1.993 ± 0.589^{de}	3.941 ± 0.938^{bcd}	1.993 ± 0.589^{de}
	24	60	12.621 ± 4.307^{a}	7.231 ± 2.103^{b}	0.402 ± 0.119^{b}	0.376 ± 0.053^{abc}	3.139 ± 0.696^{ab}	2.743 ± 0.617^{bc}	4.853 ± 2.075^{ab}	2.758 ± 1.032^{bc}	4.853 ± 2.075^{ab}	2.758 ± 1.032^{bc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 6 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายเค็มแบบ brine salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ

Treatment			liking scores				
NaCl:KCl	Time (h.)	Temp.(°C)	Appearance	Color	Odor	Texture	Overall liking
100:0	24	40	4.00 ± 0.94^{d}	4.22 ± 0.57^{de}	5.30 ± 1.70^{abc}	5.40 ± 1.35^{a}	5.00 ± 1.49^{cd}
	12	50	6.10 ± 1.10^{b}	5.44 ± 1.64^{cd}	5.30 ± 2.06^{abc}	5.50 ± 1.58^{a}	5.20 ± 1.03^{bcd}
	36	50	3.60 ± 2.01^{d}	3.67 ± 2.17^{e}	4.00 ± 1.41^{c}	5.40 ± 2.12^{a}	4.00 ± 1.83^{d}
	24	60	6.60 ± 1.07^{ab}	7.00 ± 0.67^{ab}	4.70 ± 1.42^{bc}	5.80 ± 2.10^{a}	5.90 ± 1.97^{abc}
80:20	12	40	6.80 ± 1.93^{ab}	6.78 ± 0.88^{ab}	4.00 ± 1.83^{c}	5.80 ± 1.75^{a}	5.90 ± 1.66^{abc}
	36	40	7.06 ± 0.84^{a}	7.33 ± 0.82^{a}	6.70 ± 1.16^{a}	6.80 ± 0.92^{a}	6.90 ± 0.99^{a}
	24	50	6.60 ± 0.97^{ab}	6.78 ± 0.88^{ab}	6.10 ± 1.45^{ab}	6.00 ± 1.70^{a}	6.70 ± 1.06^{ab}
	24	50	4.30 ± 1.06^{cd}	5.22 ± 1.25^{cd}	5.60 ± 1.51^{abc}	5.50 ± 1.27^{a}	5.50 ± 1.18^{abcd}
	24	50	5.40 ± 1.58^{bc}	5.44 ± 1.77^{cd}	5.20 ± 1.62^{abc}	5.60 ± 1.58^{a}	5.80 ± 1.55^{abc}
	12	60	4.20 ± 1.62^{cd}	4.89 ± 1.41^{cd}	4.80 ± 1.48^{bc}	5.80 ± 1.55^{a}	5.40 ± 1.35^{abcd}
	36	60	6.40 ± 1.26^{ab}	5.33 ± 1.26^{bcd}	5.30 ± 1.42^{abc}	6.40 ± 0.70^{a}	5.70 ± 1.25^{abc}
60:40	24	40	6.40 ± 0.84^{ab}	6.00 ± 1.49^{ac}	5.80 ± 1.14^{ab}	6.40 ± 1.17^{a}	6.40 ± 0.97^{abc}
	12	50	6.10 ± 1.79^{b}	5.33 ± 1.43^{cd}	6.00 ± 1.41^{ab}	6.00 ± 1.33^{a}	5.90 ± 1.85^{abc}
	36	50	4.60 ± 2.07^{cd}	4.89 ± 1.81^{cde}	5.60 ± 2.07^{abc}	6.00 ± 1.83^{a}	5.00 ± 2.00^{cd}
	24	60	6.40 ± 0.97^{ab}	5.67 ± 1.95^{bc}	5.50 ± 1.90^{abc}	6.20 ± 1.40^{a}	5.90 ± 1.85^{abc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายเค็มแบบ dry salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ

Treatment			liking scores				
NaCl:KCl	Time (h.)	Temp.(°C)	Appearance	Color	Odor	Texture	Overall liking
100:0	24	40	5.78 ± 1.72^{ab}	5.00 ± 1.70^{abcd}	5.00 ± 1.94^{ab}	5.00 ± 1.70^{a}	5.50 ± 1.84^{a}
	12	50	4.89 ± 1.05^{ab}	4.40 ± 1.43^{cd}	5.90 ± 1.91^{a}	5.70 ± 1.83^{a}	5.40 ± 1.65^{a}
	36	50	6.56 ± 1.81^{a}	6.50 ± 1.90^{a}	4.00 ± 1.05^{b}	5.70 ± 1.64^{a}	5.70 ± 2.21^{a}
	24	60	5.56 ± 1.74^{ab}	5.20 ± 1.62^{abcd}	5.10 ± 1.52^{ab}	6.20 ± 1.87^{a}	5.80 ± 1.62^{a}
80:20	12	40	6.22 ± 1.48^{a}	6.40 ± 0.70^{a}	5.50 ± 1.08^{ab}	6.10 ± 0.99^{a}	6.40 ± 0.52^{a}
	36	40	5.11 ± 2.03^{ab}	5.00 ± 2.11^{abcd}	4.30 ± 1.70^{ab}	5.40 ± 2.22^{a}	5.60 ± 2.12^{a}
	24	50	5.67 ± 1.73^{ab}	5.50 ± 1.65^{abcd}	5.60 ± 1.58^{ab}	5.80 ± 1.87^{a}	5.90 ± 1.66^{a}
	24	50	5.67 ± 1.66^{ab}	6.20 ± 1.03^{ab}	5.40 ± 1.26^{ab}	6.00 ± 0.82^{a}	6.20 ± 0.63^{a}
	24	50	5.11 ± 2.03^{ab}	4.80 ± 2.20^{abcd}	4.70 ± 2.06^{ab}	5.20 ± 2.04^{a}	5.40 ± 2.07^{a}
	12	60	5.89 ± 1.76^{ab}	5.20 ± 1.69^{abcd}	5.20 ± 1.93^{ab}	5.20 ± 1.93^{a}	5.70 ± 1.89^{a}
	36	60	4.78 ± 2.11^{ab}	3.90 ± 1.66^{d}	4.80 ± 1.93^{ab}	5.40 ± 2.37^{a}	4.70 ± 2.21^{a}
60:40	24	40	4.78 ± 1.79^{ab}	4.60 ± 1.65^{bcd}	4.00 ± 1.05^{b}	5.30 ± 1.49^{a}	4.90 ± 1.97^{a}
	12	50	5.89 ± 1.62^{ab}	5.90 ± 2.08^{abc}	5.30 ± 2.21^{ab}	5.80 ± 1.23^{a}	6.10 ± 1.79^{a}
	36	50	4.78 ± 1.20^{ab}	4.40 ± 1.71^{cd}	5.70 ± 1.77^{ab}	5.20 ± 1.23^{a}	5.40 ± 1.58^{a}
	24	60	4.33 ± 1.73^{b}	3.90 ± 1.66^{d}	4.70 ± 1.83^{a}	5.30 ± 2.21^{a}	4.60 ± 2.07^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

26

ตารางที่ 8 ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายเค็มแบบ brine salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ และผ่านการปรุงสุก

Treatment			liking scores					
NaCl:KCl	Time (h.)	Temp.(°C)	Appearance	Color	Odor	Flavour	Texture	Overall liking
100:0	24	40	7.00 ± 0.94^{a}	6.90 ± 1.37^{a}	7.10 ± 1.10^{a}	6.90 ± 1.37^{a}	7.10 ± 1.20^{a}	7.30 ± 1.25^{a}
	12	50	6.60 ± 1.51^{ab}	6.60 ± 1.17^{ab}	6.44 ± 0.88^{ab}	6.80 ± 1.48^{a}	6.80 ± 1.75^{b}	6.90 ± 1.52^{abc}
	36	50	6.10 ± 1.10^{ab}	6.70 ± 1.16^{ab}	6.20 ± 1.14^{abc}	6.30 ± 1.25^{ab}	6.00 ± 1.25^{abc}	6.50 ± 0.70^{abc}
	24	60	6.40 ± 1.84^{ab}	6.80 ± 1.75^{ab}	6.30 ± 0.82^{abc}	6.70 ± 1.64^{a}	7.00 ± 1.15^{a}	6.90 ± 1.37^{abc}
80:20	12	40	6.30 ± 1.34^{ab}	6.00 ± 1.25^{abcd}	6.60 ± 0.84^{ab}	6.70 ± 0.95^{a}	6.60 ± 0.70^{ab}	6.40 ± 1.51^{abc}
	36	40	5.00 ± 1.63^{bc}	4.60 ± 1.17^{de}	5.40 ± 1.58^{bc}	5.40 ± 1.65^{ab}	5.50 ± 1.90^{abc}	5.30 ± 1.70^{cd}
	24	50	5.00 ± 1.41^{bc}	4.80 ± 1.55^{de}	5.30 ± 1.57^{bc}	5.60 ± 1.84^{ab}	5.60 ± 1.65^{abc}	5.50 ± 1.78^{bcd}
	24	50	5.80 ± 2.10^{abc}	5.20 ± 2.04^{bcde}	5.40 ± 2.12^{bc}	5.40 ± 2.12^{ab}	5.60 ± 2.12^{abc}	6.00 ± 2.16^{abcd}
	24	50	4.30 ± 2.00^{c}	4.20 ± 1.87^{e}	4.80 ± 1.62^{c}	4.80 ± 1.93^{b}	4.70 ± 2.11^{c}	4.50 ± 1.84^{d}
	12	60	5.20 ± 1.48^{bc}	4.80 ± 1.87^{de}	5.80 ± 1.75^{abc}	5.40 ± 1.51^{ab}	5.20 ± 1.55^{abc}	5.90 ± 1.85^{abcd}
	36	60	7.20 ± 1.23^{a}	6.80 ± 1.32^{ab}	7.10 ± 1.45^{a}	6.60 ± 1.26^{a}	6.20 ± 1.23^{abc}	6.60 ± 1.07^{abc}
60:40	24	40	6.30 ± 1.95^{ab}	6.40 ± 1.84^{abc}	5.80 ± 2.04^{abc}	6.60 ± 1.58^{a}	6.80 ± 1.62^{b}	7.10 ± 1.60^{ab}
	12	50	7.00 ± 1.63^{a}	6.50 ± 1.43^{ab}	6.30 ± 1.16^{abc}	5.80 ± 1.48^{ab}	5.80 ± 0.90^{bc}	6.10 ± 1.10^{abc}
	36	50	6.60 ± 1.58^{ab}	6.60 ± 1.51^{ab}	6.60 ± 1.26^{ab}	6.70 ± 1.64^{a}	6.90 ± 1.37^{a}	6.70 ± 1.49^{abc}
	24	60	5.70 ± 1.70^{abc}	4.90 ± 2.13^{cde}	5.60 ± 1.65^{abc}	5.60 ± 1.71^{ab}	5.80 ± 1.55^{abc}	5.80 ± 1.75^{abcd}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 9 ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting อบแห้งที่สภาวะต่างๆ และผ่านการปรุงสุก

Treatment			liking scores					
NaCl:KC	Time (h.)	Temp.(°C)	appearance	color	odor	flavour	texture	overall liking
100:0	24	40	6.30 ± 1.34^{ab}	5.90 ± 1.66^{abc}	6.90 ± 0.88^{a}	6.30 ± 1.16^{a}	7.20 ± 1.03^{a}	6.80 ± 1.23^{a}
	12	50	5.80 ± 1.23^{abcd}	5.70 ± 1.95^{abcd}	6.50 ± 1.27^{ab}	6.20 ± 1.03^{a}	6.20 ± 1.23^{ab}	6.00 ± 1.15^{ab}
	36	50	5.90 ± 1.45^{abc}	6.20 ± 1.55^{ab}	5.90 ± 0.99^{ab}	5.60 ± 1.35^{a}	6.10 ± 1.29^{ab}	6.30 ± 1.49^{ab}
	24	60	6.00 ± 1.76^{abc}	5.90 ± 1.66^{abc}	6.40 ± 1.65^{ab}	6.30 ± 1.34^{a}	6.50 ± 1.51^{ab}	6.50 ± 1.35^{ab}
80:20	12	40	6.90 ± 1.20^{a}	6.90 ± 1.20^{a}	6.20 ± 1.75^{ab}	6.70 ± 1.77^{a}	6.50 ± 1.58^{ab}	6.50 ± 1.51^{ab}
	36	40	6.10 ± 1.85^{abc}	5.80 ± 1.23^{abcd}	6.00 ± 1.33^{ab}	5.60 ± 1.35^{a}	5.70 ± 1.42^{ab}	5.80 ± 1.23^{ab}
	24	50	6.50 ± 1.78^{ab}	6.40 ± 2.07^{ab}	6.40 ± 1.07^{ab}	6.50 ± 1.35^{a}	5.70 ± 1.42^{ab}	6.10 ± 1.37^{ab}
	24	50	5.10 ± 1.20^{bcd}	4.60 ± 0.97^{cd}	5.10 ± 1.45^{b}	5.70 ± 1.34^{a}	5.60 ± 1.65^{b}	5.30 ± 1.57^{ab}
	24	50	5.50 ± 1.43^{abcd}	5.20 ± 1.48^{bcd}	5.50 ± 1.65^{ab}	5.70 ± 2.11^{a}	5.40 ± 2.01^{b}	5.80 ± 2.25^{ab}
	12	60	4.70 ± 0.95^{cd}	4.30 ± 0.95^{d}	5.80 ± 1.75^{ab}	5.30 ± 2.00^{a}	5.10 ± 1.73^{b}	5.00 ± 1.56^{b}
	36	60	6.30 ± 1.77^{ab}	6.50 ± 1.65^{ab}	6.00 ± 1.63^{ab}	6.60 ± 1.58^{a}	6.50 ± 1.78^{ab}	6.60 ± 1.51^{ab}
60:40	24	40	6.40 ± 2.22^{ab}	6.70 ± 2.11^{ab}	6.00 ± 2.11^{ab}	6.40 ± 1.96^{a}	5.90 ± 1.97^{ab}	6.20 ± 2.39^{ab}
	12	50	6.50 ± 1.58^{ab}	6.70 ± 1.64^{ab}	6.40 ± 0.97^{ab}	5.60 ± 1.35^{a}	6.50 ± 0.85^{ab}	6.50 ± 0.97^{ab}
	36	50	4.30 ± 1.57^{d}	4.50 ± 1.18^{cd}	6.70 ± 1.06^{a}	5.60 ± 1.17^{a}	5.00 ± 1.25^{b}	5.30 ± 1.16^{ab}
	24	60	6.10 ± 0.99^{abc}	6.00 ± 1.15^{abc}	6.70 ± 1.16^{a}	5.70 ± 1.77^{a}	6.00 ± 1.25^{ab}	6.10 ± 1.20^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบการลดปริมาณโซเดียมคลอไรด์และแทนที่ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติกำหนดลำดับการทดลองและออกแบบการทดลองแบบบล็อกเบท์นเคน 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนระหว่างโซเดียมคลอไรด์และโพแทสเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาการทำเค็ม และอุณหภูมิการทำแห้ง โดยการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 3 ครั้ง จะได้จำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 15 หน่วยทดลอง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมของปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ที่สภาวะต่างๆ

Treatment	NaCl:KCl	Time (h.)	Temp.(°C)	Dry salting		Brine salting	
				K(%)	Na (%)	K(%)	Na (%)
1	60:40	12	50	3.8	5.06	3.64	5.54
2	100:0	12	50	0.84	9.37	0.64	8.46
3	60:40	36	50	4.29	7.04	4.38	5.8
4	100:0	36	50	0.85	11.72	0.22	12.2
5	60:40	24	40	3.63	6.01	3.92	5.55
6	100:0	24	40	0.85	10.5	0.25	11.56
7	60:40	24	60	3.78	6.12	4.09	5.63
8	100:0	24	60	0.97	10.64	0.19	10.43
9	80:20	12	40	4.39	8.79	3.96	6.98
10	80:20	36	40	3.61	10.41	4.09	9.42
11	80:20	12	60	4.59	9.31	3.59	6.48
12	80:20	36	60	3.79	10.68	4.21	9.24
13	80:20	24	50	3.24	9.38	3.96	8.29
14	80:20	24	50	3.66	8.88	3.75	8.88
15	80:20	24	50	3.18	10.96	3.96	8.83

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) เป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย จากผลการวิเคราะห์ estimated regression coefficients มีค่า R-Square ของตัวอย่าง brine salting มีค่าเท่ากับ 0.9977 0.9877 สำหรับปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมตามลำดับ และตัวอย่าง dry salting มีค่า 0.9721 และ 0.9549 สำหรับปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมตามลำดับ ค่า R-Square ของทุกการทดลองมีค่ามากกว่าร้อยละ 95 หมายความว่าตัวแปรอิสระสามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างตามได้ แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปใช้สร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบสนองได้อย่างเหมาะสม การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลอง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งพบว่าค่า P-value ของโมเดลมีค่าน้อยกว่า 0.01 ซึ่งแสดงว่ามีส่วนโค้งเกิดขึ้นที่พื้นผิวตอบสนอง จึงสามารถใช้

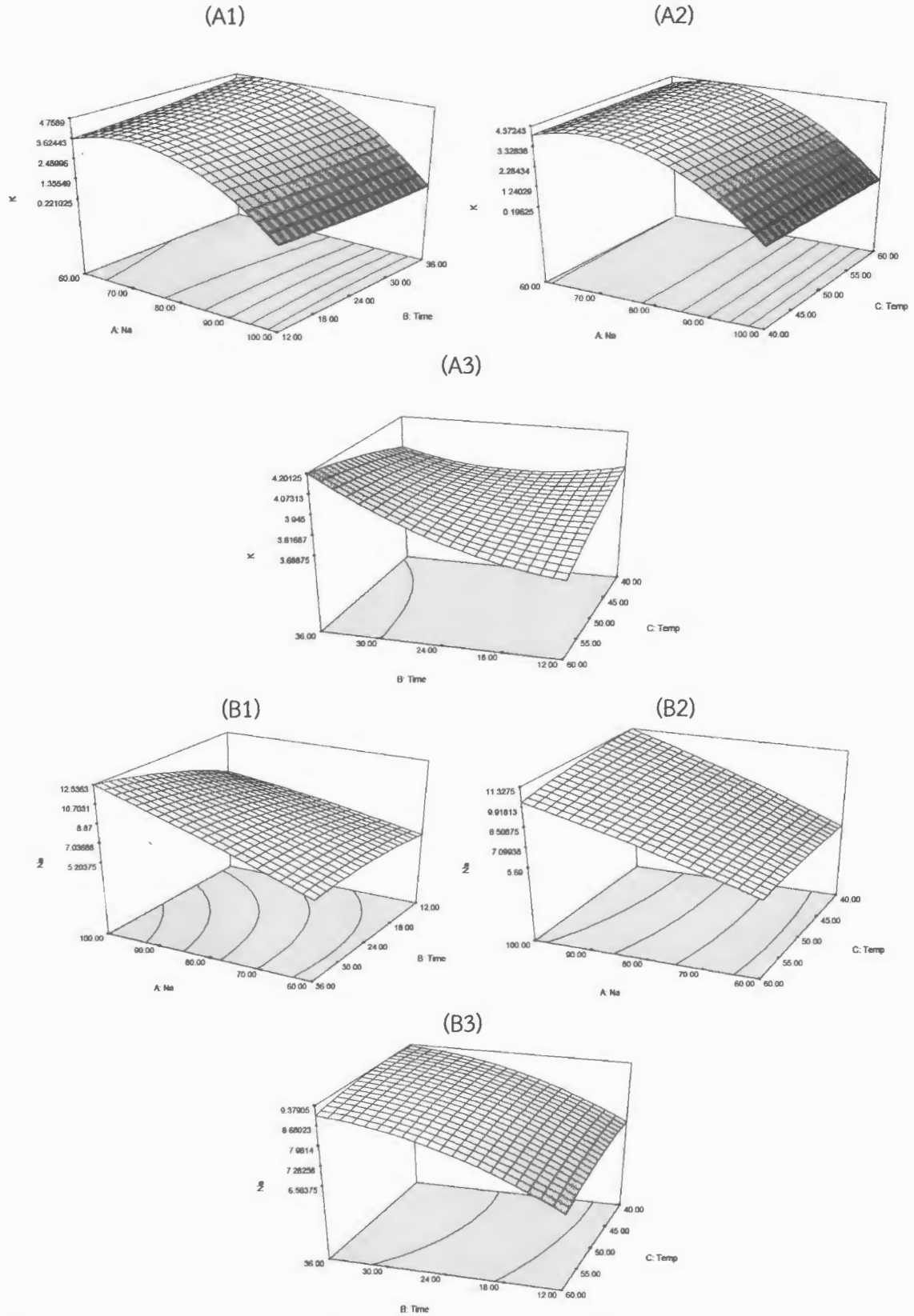
สมการแบบจำลองกำลังสองสำหรับทำนายปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมของปลาเค็มที่ผ่านการทำเค็มในสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้ การสร้างสมการทำนายปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมจากปลาเค็มในสภาวะต่างๆ โดยการนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมในตารางที่ 10 มาเขียนในรูปของสมการในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สมการทำนายปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมของปลาสวายที่ผ่านการทำเค็มในสภาวะต่างๆกัน

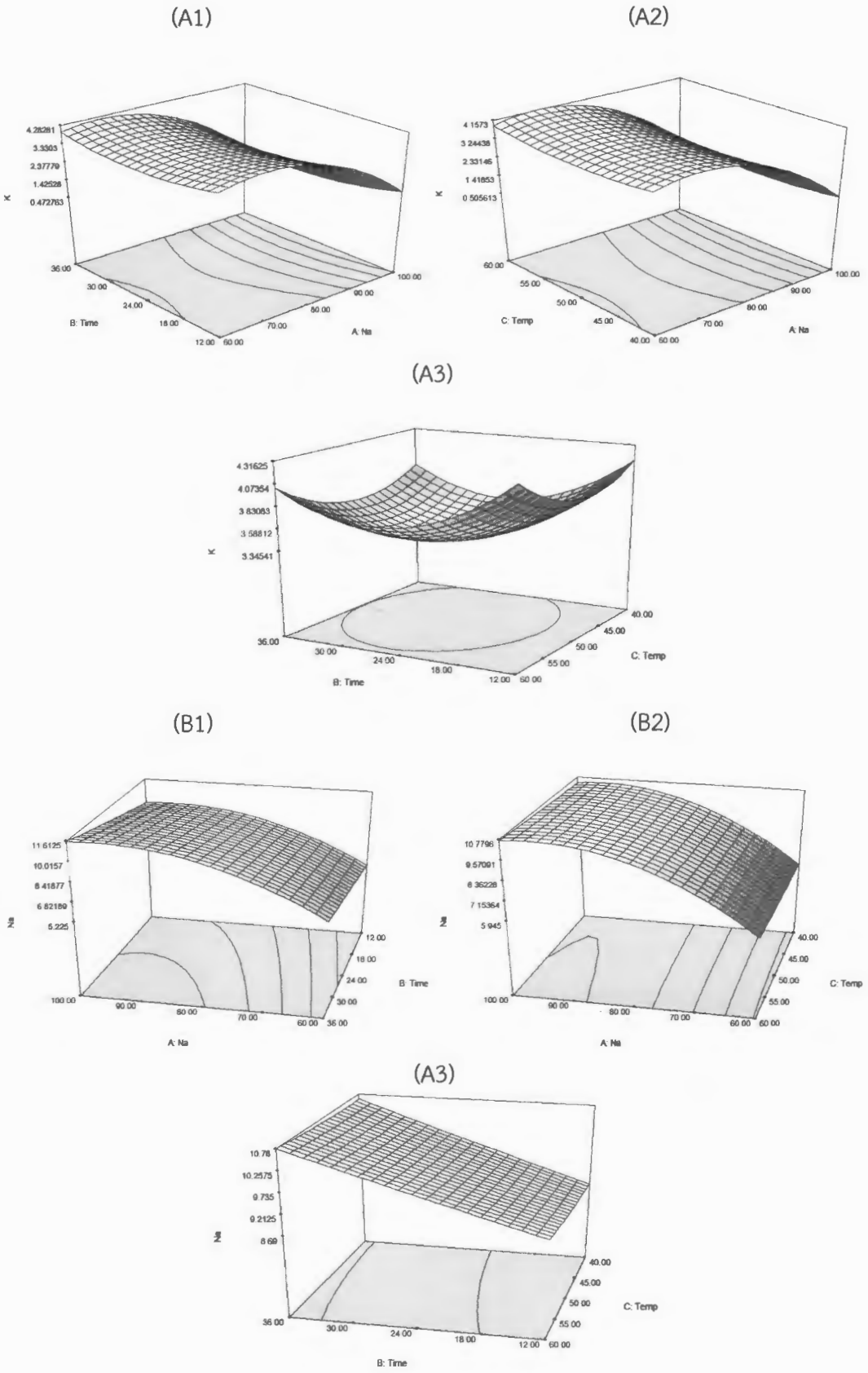
Salting method	สมการ
Dry salting	$K = -4.3475 + 0.4794 * Na - 0.1146 * Time - 0.2866 * Temp - 0.0034 * Na^2 + 0.0030 * Time^2 + 0.0030 * Temp^2 - 0.0005 * Na * Time - 0.00 * Na * Temp - 0.00 * Time * Temp$
	$Na = -23.8113 + 0.6859 * Na + 0.06521 * Time - 0.01625 * Temp - 0.00365 * Na^2 + 0.00013 * Time^2 + 0.00039 * Temp^2 + 0.000385 * Na * Time + 0.00* Na * Temp - 0.00052 * Time * Temp$
Brine salting	$K = -19.4075 + 0.6553 * Na + 0.0268 * Time + 0.01425 * Temp - 0.0044 * Na^2 + 0.000625 * Time^2 - 0.00017 * Temp^2 - 0.00121 * Na * Time - 0.00029 * Na * Temp + 0.001021 * Time * Temp$
	$Na = -10.3008 + 0.195271 * Na - 0.07264 * Time + 0.255458 * Temp - 0.00051 * Na^2 - 0.00323 * Time^2 - 0.00172 * Temp^2 + 0.003625 * Na * Time - 0.00151 * Na * Temp + 0.000667 * Time * Temp$

เมื่อพิจารณาการขาดความเหมาะสมของสมการ (lack of fit) พบว่าค่า lack of fit ของทุกการทดลองไม่มีนัยสำคัญทางสถิต การทำเค็มแบบ brine salting และ dry salting ค่าปริมาณโพแทสเซียม และโซเดียม มีค่า lack of fit เท่ากับ 0.9685 0.9571 0.4279 และ 0.4487 ตามลำดับ ค่าดังกล่าวมีค่ามากกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความพอเพียงของตัวแปรในสมการ ดังนั้นจึงสามารถนำสมการข้างต้นใช้ในการทำนายปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมในตัวอย่างปลาเค็มได้

เมื่อได้สมการทำนายจึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองดังภาพที่ 13-14 จากภาพพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับเวลา พบว่า การลดปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์และทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ร่วมกับระยะเวลาการทำเค็มมีผลให้ปริมาณโซเดียมลดลงและโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นทั้งการทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ปัจจัยปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับเวลาในการทำเค็มแบบ dry salting พบว่าเมื่อกำหนดปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์อยู่ในระดับกลาง ปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเกลือโซเดียมคลอไรด์และระยะเวลาการทำเค็มอยู่ในระดับต่ำ ระยะเวลาการทำเค็มและอุณหภูมิในการทำแห้งส่งผลต่อปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียม ปัจจัยระยะเวลาการทำเค็มระดับกลางมีผลต่อการลดลงของโพแทสเซียมเมื่อร่วมกับการอบแห้งที่อุณหภูมิระดับกลางสำหรับการทำเค็มแบบ dry salting อุณหภูมิการทำแห้งระดับสูงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโซเดียมเมื่อร่วมกับระยะเวลาการทำแห้งในระดับต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำในตัวอย่างระเหยอย่างรวดเร็ว ขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำน้ำในตัวอย่างจะมีระยะเวลาในการกลายเป็นไอที่ผิวหน้าอาจส่งเสริมให้เกิดการซึมผ่านของเกลือสู่ตัวอย่างอาหารมากขึ้นมีผลให้ปริมาณโซเดียมสูงขึ้น



ภาพที่ 13 พื้นที่ผิวตอบสนองปริมาณโพแทสเซียม (A) และโซเดียม (B) ของปลาสวายทำเค็มแบบ brine salting

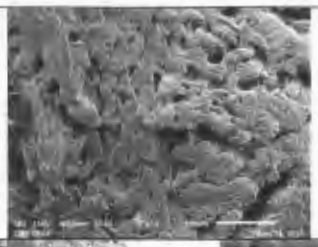
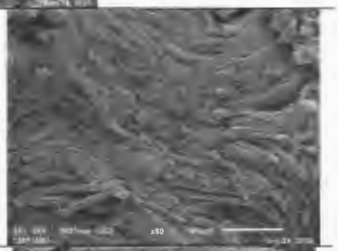
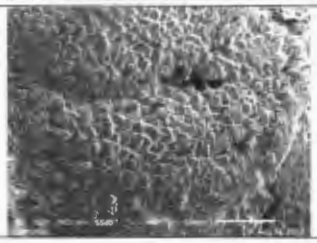
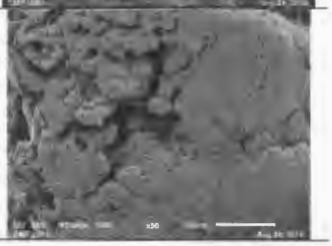


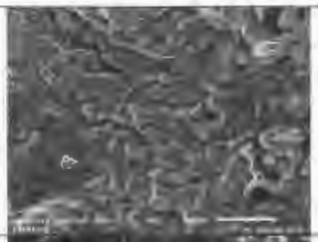
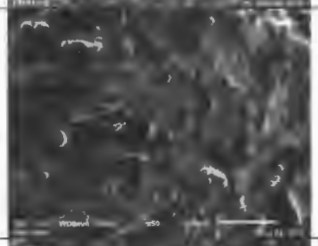
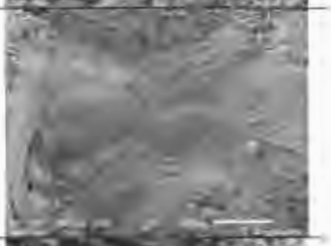
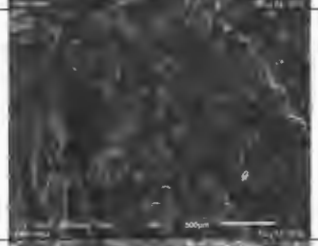
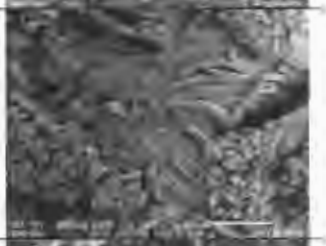
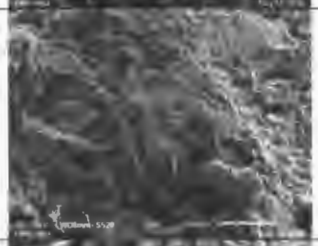
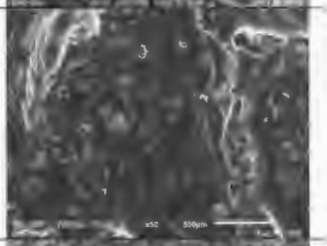
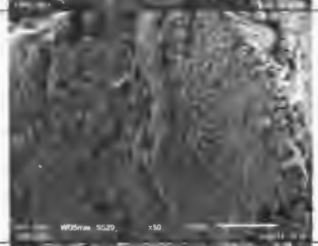
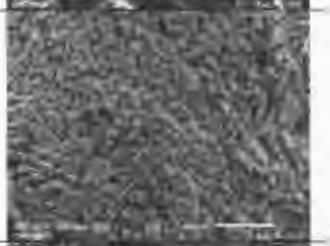
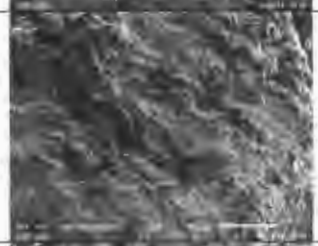
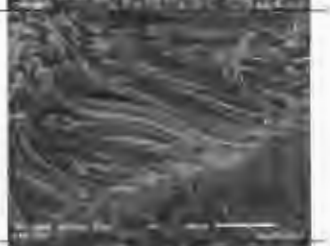
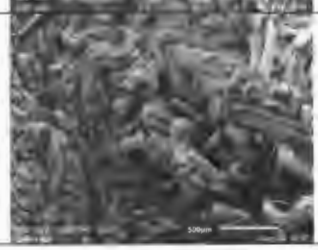
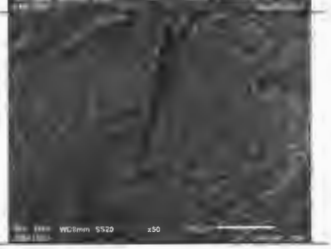
ภาพที่ 14 พื้นที่ผิวตอบสนองปริมาณโพแทสเซียม (A) และโซเดียม (B) ของปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting

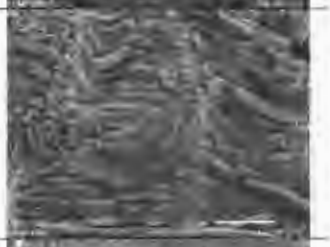
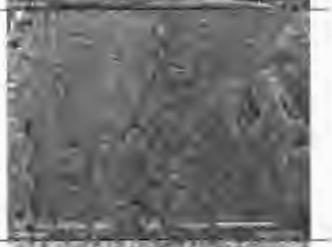
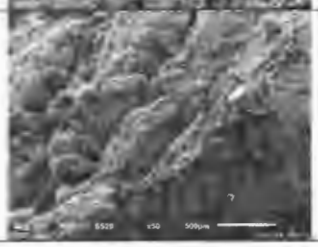
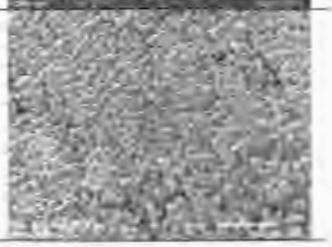
การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการลดปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยการทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียม เพื่อให้ได้ปริมาณโซเดียมต่ำและโพแทสเซียมในระดับต่ำ โดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer ผลการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมพบว่า สภาวะที่เหมาะในการทำเค็มปลาสวายแบบ brine salting คือ อัตราส่วนโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 60:40 ระยะเวลาการทำเค็ม 12 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้ง 58 องศาเซลเซียส และ dry salting คือ อัตราส่วนโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 60:40 ระยะเวลาการทำเค็ม 22.62 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้ง 48 องศาเซลเซียส จะทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมเท่ากับร้อยละ 3.50 และ 5.90 ตามลำดับสำหรับการทำแห้งแบบ dry salting และร้อยละ 3.56 และ 5.11 ตามลำดับสำหรับการทำเค็มแบบ brine salting และเมื่อพิจารณาร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับการทำเค็มด้วยโซเดียมคลอไรด์ต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ 60:40 ไม่แตกต่างจากการใช้เกลืออัตราส่วน 100:0

การทำเค็มยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของปลาเค็ม จะเห็นได้จากตัวอย่างที่ผ่านการทำเค็มดังตารางที่ 12 สภาวะการทำเค็มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาค โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังการทำเค็มด้วยเกลือโซเดียมร่วมกับโพแทสเซียมที่ระยะเวลาการทำเค็ม 12-36 ชั่วโมง และยังมีอิทธิพลของการทำแห้งร่วมด้วย จากภาคโครงสร้างพบว่า อัตราส่วนเกลือโซเดียมร้อยละ 100 ส่งผลรุนแรงกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ สูญเสียน้ำและเกิดการรวมตัวกัน ระยะเวลาการทำเค็มที่นานขึ้นและเวลาการอบแห้งนานขึ้นส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีนในทำนองเดียวกัน การทำแห้งแบบ dry salting มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาพของปลาที่รุนแรงและชัดเจนกว่าการทำแห้งแบบ brine salting

ตารางที่ 12 โครงสร้างจุลภาคของปลาสวายทำเค็มแบบ dry salting และ brine salting ที่สภาวะต่างๆ

Treatment	NaCl:KCl	Time (h.)	Temp. (°C)	Dry salting	Brine salting
control	-	-	-		
1	60:40	12	50		
2	100:0	12	50		

Treatment	NaCl:KCl	Time (h.)	Temp. (°C)	Dry salting	Brine salting
3	60:40	36	50		
4	100:0	36	50		
5	60:40	24	40		
6	100:0	24	40		
7	60:40	24	60		
8	100:0	24	60		
9	80:20	12	40		

Treatment	NaCl:KCl	Time (h.)	Temp. (°C)	Dry salting	Brine salting
10	80:20	36	40		
11	80:20	12	60		
12	80:20	36	60		
13	80:20	24	50		

สรุปผลการทดลอง

การทำเค็มปลาสวายด้วยวิธี dry salting และ brine salting ด้วยการทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียม ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการทำแห้งต่างกัน ส่งผลให้ปลาเค็มมีค่า a_w ≤0.85 ตามมาตรฐาน สภาวะการทำเค็มส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีนทำให้โปรตีนเกิดการรวมตัวมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของปลาเค็ม และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาค และส่งผลต่อค่าสีด้วยการลดค่าความเป็นสีแดงของปลาเค็ม โดยเฉพาะปลาเค็มที่มีระยะเวลาการทำเค็มนานร่วมกับอุณหภูมิการทำแห้งสูง การทดแทนเกลือโซเดียมด้วยเกลือโพแทสเซียมมีผลต่อการลดปริมาณเกลือโซเดียมในปลาเค็ม การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ตอบสนองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในการทำเค็มปลาสวาย พบว่า ปัจจัยด้านอัตราส่วนเกลือโซเดียมต่อเกลือโพแทสเซียม ระยะเวลาการทำเค็ม และอุณหภูมิการทำแห้ง มีผลต่อปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม ทั้งการทำเค็มแบบ brine salting และ dry salting โดยทั้ง 3 ปัจจัยมีผลเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน สามารถแสดงในรูปสมการสำหรับทำนายปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม ของการทำแห้งทั้ง 2 แบบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากว่า 0.9 เมื่อนำมาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการทำเค็มปลาสวายเพื่อลดปริมาณโซเดียม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนเกลือโซเดียมต่อเกลือโพแทสเซียม 60:40 ระยะเวลาการทำเค็มที่ระดับต่ำ-กลาง (12-24 ชั่วโมง) และ อุณหภูมิการทำแห้งระดับกลาง-สูง (50-60 องศาเซลเซียส) สำหรับการทำเค็มแบบ brine salting และ dry salting ซึ่งสภาวะดังกล่าวสอดคล้องกับการยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2552. กินเค็มเสี่ยงตาย อันตรายไม่ลดเกลือ. แหล่งที่มา: http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/files/ลดความมันเค็ม/003.pdf. 4 สิงหาคม 2556

ไทยรัฐ. 2556. เพิ่มโปแตสเซียม ลดเกลือหนีอัมพาต. ไทยรัฐออนไลน์. แหล่งที่มา: www.thairath.co.th/content/edu/337796. 4 สิงหาคม. 2556.

นงนุช รักสกุลไทย. 2538. กรรมวิธีแปรรูปสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 135 หน้า.

ปิยชาติ ไชยเสนา. 2553. สถานการณ์ปลาสวายไตรมาส1 ปี 2553. จุลสารเศรษฐกิจการประมง. แหล่งที่มา: http://fishco.fisheries.go.th/fisheconomic/fish_magazine_1_53.html. 30 กรกฎาคม 2553.

ปัญญ์ พรหมโชติ, 2556. การผลิตปลาสวายเค็มรมควัน. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (อยู่ระหว่างการตรวจสอบจากกรรมการ). ทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ปัทมพรรณ โลมะรัตน์. 2554. 10 อันดับอาหารที่มีโปแทสเซียมสูงกับประโยชน์ที่มีต่อสุขภาพ. แหล่งที่มา: http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/thai/knowledgeinfo.php?id=84. 15 สิงหาคม 2556.

ชมรมป้องกันโรคไต, 2556. โปแตสเซียมกับโรคไต. แหล่งที่มา: http://www.b-herb.com/โรคไต/โปแตสเซียมกับโรคไต.html. 15 สิงหาคม 2556.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 302 หน้า.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน : ปลาเค็ม. มผช. 312/2547.

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์บริษัทเท็กซ์ แอน เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2536. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปลาเค็ม: ปลาอินทรี. มอก. 1204-2536.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติการเกษตรของประเทศไทย. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 174 หน้า.

สุปราณี เกิดวาจา. 2544. การผลิตและการเก็บรักษาปลาอินทรีเค็ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 134 หน้า.

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2546. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร.แหล่งที่มา: http://www.phtnet.org/article/view-article.asp?aID=12. 29 มกราคม 2554.

Alino, M., Grau, R., Fuentes, A. and Barat, J.M. 2010a. Influence of low-sodium mixture of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process. Journal of Food Engineering. 99:198-205.

Alino, M., Grau, R., Fuentes, A. and Barat, J.M. 2010b. Physicochemical changes in dry-cured hams salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride. Meat Science. 86:331–336.

Andres, A.I., Cava, R., Ventanas, J., Muriel, E., and Ruiz, J. 2004. Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salt contents and processing conditions. Food Chemistry. 84:375-381.

A.O.A.C. 2000. Official method of analysis. Gaithersberg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Ascherio, A., Rimma, E.B., Hernan, M.A. Giovannucci, E.L., Kawachi, I., Stampfer, M.J., and Willett, W.C. 1998. Intake of potassium, magnesium, calcium, and fiber and risk of stroke among US men. Circulation. 98: 1198-1204.

Bellagha S., Sahli A., Farhat A., Kechaou N., and Glenza A. 2007. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinell aurita*): Experimental kinetic and modeling. Journal of Food Engineer. 78: 947-952.

Blesa, E., Alino, M., Barat, J. M., Grau, R., Toldra, F. and Pagan, M. J. 2008. Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts. Meat Science, 78, 135–142.

Bras, A. and Costa, R. 2010. Influence of brine salting prior to pickle salting in the manufacturing of various salted-dried fish specis. Journal of Food Engineering. 100: 490-495.

Buemi, M., Senatore, M., Corica, F., Aloisi, C., Romeo, A., Tramontana, D., and Frisina, N. 2002. Diet and arterial hypertension: Is the sodium ion alone important. Medicinal Research Reviews. 22(4): 419–428.

Desmond, E. 2006. Reducing salt: A challenge for the meat industry. Meat Science. 74:188-196.

Geleijnse, J. M., Witteman, C. M., Witteman, C. M., Stijnen, T., Kloos, M. W., Hofman, A., and Grobbee, D.E. 2007. Sodium and potassium intake and risk of cardiovascular events and all-cause mortality: the Rotterdam study. European Journal of Epidemiology. 22: 763–770.

Guardia, M.D., Guerrero, L. Gelabert, J., Gou, P., and Arnau, J. 2006. Consumer attitude towards sodium reduction in meat products and acceptability of fermented sausages with reduced sodium content. Meat Science. 73: 484-490.

He, F.J. and MacGregor, G.A. 2003. Reducing population salt intake worldwide: From evidence to implementation. Progress in Cardiovascular Diseases. 52: 363-382.

Ismail, N. and Wootton, M. 1992. Fish salting and drying: a review. ASEAN Food Journal. 7(4): 175-183.

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

Kimura, M., Lu, X., Skurnick, J., Awad, G., Bogden, J., Kemp, F., and Aviv, A. 2004. Potassium chloride supplementation diminishes platelet reactivity in humans. Hypertension, 44(6): 969–973.

Lowry, Q. H., Rosebrough, N. J., Farr, L. A., and Randall, R. J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent.Journal of Biological Chemistry. 193: 256–275.

Matthews, K., and Strong, M. 2005. Salt-its role in meat products and the industry's action plan to reduce it. British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin. 30: 55–61.

Martin, L., Cordoba, J. J., Antequera, T., Timon, M. L., and Ventanas, J. 1998. Effects of salt and temperature on proteolysis during ripening of Iberian ham. Meat Science. 49(2): 145–153.

Obarzanek, E., Proscham, M. A., Vollmer, W. M., Moore, T. J., Sacks, F. M., Appel, L. J., Svetkey, L. P., Most-Windhauser, M.M. and Cutler, J.A. 2003. Individual blood pressure responses to changes in salt intake: Results from the DASH-sodium trial. Hypertension. 42: 459–467.

Omodara M.A. and Olaniyan A.M. 2012. Effects of Pre-Treatments and Drying Temperatures on Drying Rate and Quality of African Catfish (*Clarias gariepinus*). Journal of Biology, Agriculture and Healthcare .2(4): 1-11.

Reddy, K. A., and Marth, E. H. 1991. Reducing the sodium content in foods: A review. Journal of Food Protection, 54(2), 138–150.

Ripolles, S., Campagnol, P.C.B, Armenteros, M., Aristory, M-C., Toldar, F. 2011. Influence of partial replacement of NaCl with KCl, $CaCl_2$ and $MgCl_2$ on lipolysis and lipid oxidation in dry-cured ham. Meat Science. 89:58-64.

Sankatand, C.K and Mujaffar, S. 2006. Modelling the drying behavior of salted catfish fillets. 15th International Drying Symposium (IDS 2006) Budapest, Hungary, 20-23 August 2006.

Sobukola, O.P., Dairo, O.U. and Odunewu, V.A. 2008. Conventive hot air drying of blanched yam slices. Internatioinal Journal of Food Science and Technology. 43: 1233-1238.

Sobukola, O.P and Olatunde, S.O. 2011. Effect of salting techniques on salt uptake and drying kinetic of African catfish (*Clarias garipinus*). Food and Bioproducts Processing. 89 (3): 170-177.

Toldra, F., Aristoy, M. C., and Flores, M. (2000). Contribution of muscle aminopeptidases to flavour development in dry-cured ham. Food Research International. 33: 181–185.

www. Bryancavesemimar.com/demo/downloadfile/07_TPSO_Rev- Final_Chap5Fishery_v4.pdf

www.voathai.com/articleprinview/1650599.html

ประวัตินักวิจัย

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล นางปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ
2. ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
   สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
3. คุณวุฒิ

ระดับปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่สำเร็จ	สถาบันที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต	เทคโนโลยีอาหาร	พ.ศ. 2552	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	ผลิตภัณฑ์ประมง	พ.ศ. 2546	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คหกรรมศาสตรบัณฑิต	อาหารและโภชนาการ-(พัฒนาผลิตภัณฑ์)	พ.ศ. 2542	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

4. จำนวนผลงานทางวิชาการ

ผลงาน 5 ปีย้อนหลัง 2560-2556	งานวิจัย	ตำรา/หนังสือ	การตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย		ผลงานอื่นๆ เช่น นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์
			ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ	นำเสนอในการประชุมวิชาการ Conference/Abstract/ Proceedings	
2560	3		1	1	
2559	1				
2558	2				
2557	2			1	
2556	1			1	

5. รายละเอียดผลงานทางวิชาการ *(ชี้แจงรายละเอียดของข้อ4)*

5.1 วิจัย

ปี พ.ศ.	โครงการวิจัย (ชื่อโครงการ)	หน่วยงานที่ได้รับทุนสนับสนุน	ปีงบประมาณ
2560	การเพิ่มอายุการเก็บรักษาปลาร้าบองด้วยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล (หัวหน้าโครงการ)	ว.ช.	2560
2560	คุณลักษณะและปริมาณสารสำคัญที่มีอยู่ในหอมแดงงอกที่ผลิตในอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกัน (ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 40 %)	ว.ช.	2560
2560	สารออกฤทธิ์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ทางชีวภาพในใบมะละกอ (ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 30 %)	ว.ช.	2560
2559	การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากกุ้งฝอย (หัวหน้าโครงการ)	อุทยานวิทยาศาสตร์ ม.อุบล	2559

2558	การผลิตปลาสวายเค็มโซเดียมต่ำ(หัวหน้าโครงการ)	ว.ช.	2558
	การพัฒนาผลิตภัณฑ์และยืดอายุการเก็บรักษาปลาร้าบองเพื่อเพิ่มศึกยภาพทางการตลาด ปีที่ 2 (ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 40 %)	ว.ช.	2558
2557	การผลิตและการประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสทจากเศษปลาสวาย ปีที่ 2 (หัวหน้าโครงการ)	ว.ช.	2557
	การพัฒนาผลิตภัณฑ์และยืดอายุการเก็บรักษาปลาร้าบองเพื่อเพิ่มศึกยภาพทางการตลาด ปีที่ 1 (ผู้ร่วมโครงการ สัดส่วน 40 %)	ว.ช.	2557
2556	การผลิตและการประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสทจากเศษปลาสวาย ปีที่ 1 (หัวหน้าโครงการ)	ว.ช.	2556

5.2 ตำรา/หนังสือ

-

5.3 บทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ (ย้อนหลัง 5 ปี)

ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ. 2560. องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของปลาร้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 19(2): 161-174.

5.4 บทความวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ (Conference/Abstract/Proceedings)

ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ, เมทินี มาเวียง และธิดารัตน์ จุทอง. (2560). การลดปริมาณจุลินทรีย์ในปลาร้าบองโดยวิธีทางกายภาพ. การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 11, อุบลราชธานี, 13-14 กรกฎาคม 2559: 204-211.

Promchote, P. Phoommingsri, W., Sudsang, W. & Chanangklang, P. (2014). Antioxidants in Pla-ra: Indigenous fermented fish product. 18th World Congress on Clinical Nutrition 2014: Agriculture, Food and Nutrition for Health and Wellness, 1-3 December 2014. Sunee Grand Hotel & Convention Center, Ubon Ratchathani, Thailand. Pp 99.

ประวัติและผลงานอาจารย์

ประวัติผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล นางสาววิริยา พรมกอง

2. ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. คุณวุฒิ

ระดับปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่สำเร็จ	สถาบันที่สำเร็จการศึกษา
Doctor of Philosophy	Food Science and Technology	พ.ศ. 2549	The University of New South Wales, Australia
ปริญญาโท	วิศวกรรมอาหาร	พ.ศ.2543	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปริญญาตรี	เทคโนโลยีอาหาร	พ.ศ.2539	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

4. จำนวนผลงานทางวิชาการ

ผลงาน 5 ปีย้อนหลัง 2560-2556	งานวิจัย	ตำรา/หนังสือ	การตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย		ผลงานอื่นๆ เช่น นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์
			ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ	นำเสนอในการประชุมวิชาการ Conference/Abstract/ Proceedings	
2560	2	-	1	-	2
2559	1	-	1	1	-
2558	2	-	3	-	-
2557	1	-	-	1	-
2556	1	-	-	-	-

5. รายละเอียดผลงานทางวิชาการ

5.1 วิจัย

ปี พ.ศ.	โครงการวิจัย (ชื่อโครงการ)	หน่วยงานที่ได้รับทุนสนับสนุน	ปีงบประมาณ
2560	1. โครงการการพัฒนากระบวนการผลิตไซรัปจากขนุนที่มีสมบ เชิงหน้าที่ 2. การขยายขนาดกำลังการผลิตและควบคุมคุณภาพข้าวเม่าแห้ง	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.)	2560 2558
2559	1. การขยายขนาดกำลังการผลิตและควบคุมคุณภาพข้าวเม่าแห้ง	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.)	2558
2558	1. การขยายขนาดกำลังการผลิตและควบคุมคุณภาพ	สำนักงานพัฒนาการวิจัย	2558

	ข้าวเม่าแห้ง 2. การผลิตปลาสวายเค็มโซเดียมต่ำ	การเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	2558
2557	1. การพัฒนากระบวนการผลิตและการประยุกต์ใช้ข้าวเม่าเพื่อประโยชน์เชิงสุขภาพ	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.)	2556
2556	1. การพัฒนากระบวนการผลิตและการประยุกต์ใช้ข้าวเม่าเพื่อประโยชน์เชิงสุขภาพ	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.)	2556

5.2 ตำรา/หนังสือ

-

5.3 บทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

Wiriya Phomkong, Ekasit Onsaard, Dherapol Bansiddhi, Ram B. Singh, Buncha Ooraikul, Arunporn Ithharat, Fabien De Meester. Jagdish P. Sharma, rana G. Singh, Usha Singh, Harpal S. Buttar, Istvan G. Telessy, Toru Takahashi, Lech Ozimek, Jae-Kwan Hwang, Kohei Oda and Douglas W. Wilson. 2017. The Thailand Declaration of the International College of Nutrition; Can Functional Foods and Functional Crops Decrease the Risk of Chronic Diseases and Provide Wellness? Reprints, Doi:10.20944/preprints201705.0200.v1.

Ekpong A., **Phomkong, W.**, & Onsaard, E. (2016). The effects of maltodextrin as a drying aids and drying temperature on production of tammatind poeder and consumer acceptance of the powder. *International Food Research Journal*. 23(1): 300-308.

Singh, R.B. Takahashi, T., Shastun, S., Elkilany, G., Hristova, K., Shehab A., **Onsaard**, E., Phomkong, W., Chaves, H., Singh, M., Srivastava, R.K., Srivastav, M. & Singh. R.G. (2015). The Concept of Functional Foods and Functional Farming (4 F) in the Prevention of Cardiovascular Diseases: *A Review of Goals from 18th World Congress of Clinical Nutrition*. Vol 2, No 4. Journal of Cardiology and Therapy.

Phomkong, W., Wachum, M & Inree, R. (2015). Quality Jackfruit Syrup using Different Jackfruit varieties. *Journal of Science and Technology*, Ubon Ratchathani University. 17(2): 10-17.

Supakot, P. **Phomkong**, W, Onsaard, E and Wiset, L. (2015). Effect of Two-stage Drying on Physical Properties of Chilli (*Capsicum anuum* cv. Haurou Yon). *Journal of Science and Technology*, Ubon Ratchathani University. 17(2): 41-47.

5.4 บทความวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ (Conference/Abstract/Proceedings)

Siriporn Junin, Wiriya Phomkong and Ekasit Onsaard. 2016. Effects of Freezing Storage on Bioactive Compounds of Flattened Young Rice (Khao-Mao). 20th World Congress on Clinical Nutrition (WCCN), December14-16, 2016, Bangkok, THAILAND.

Phomkong,W., Wiset, L., Poomsa-ad, N., & Ekpong, A. (2014). Replacing the traditional roasting process with fluidized bed drying technique for processing immature green paddy. 19th International Drying Symposium (IDS2014). 24-27 August 2014. Lyon, France.

5.5 ผลงานอื่นๆ

อภิญญา เอกพงษ์ วิริยา พรมกอง และเอกสิทธิ์ อ่อนสอาด (2560) กรรมวิธีการเตรียมข้าวเม่าผงและผลิตภัณฑ์ดังกล่าว อนุสิทธิบัตร No. 12776

วิริยา พรมกอง ณัฐพล ภูมิสะอาด ละมุล วิเศษ และอภิญญา เอกพงษ์ (2560) กรรมวิธีการผลิตข้าวเม่าแห้งคืนรูปและผลิตภัณฑ์ดังกล่าว อนุสิทธิบัตร No. 12977

ประวัติและผลงานอาจารย์

ประวัติผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสุธี วังเตือย
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Sutee Wangtueai
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
   คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับปริญญา ตรี โท เอก	อักษรย่อ ปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2542	ปริญญาตรี	วทบ. เกียรตินิยมอันดับสอง (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	คณะเกษตรศาสตร์ นครศรีธรรมราช สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	ประเทศไทย
2546	ปริญญาโท	วท.ม. (ผลิตภัณฑ์ประมง)	ผลิตภัณฑ์ประมง	ผลิตภัณฑ์ประมง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ประเทศไทย
2552	ปริญญาเอก	Ph.D. (Food Engineering and Bioprocess Technology)	Food Engineering and Bioprocess Technology	Food Engineering and Bioprocess Technology	Asian Institute of Technology (AIT)	ประเทศไทย

4. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   Food Processing, Waste utilization, Fish gelatin technology
5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

5.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย :

-

5.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อโครงงานวิจัย	แหล่งทุน	ระยะเวลา/ปีที่ได้รับทุน
1. การศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊บ ของชมรมผู้ผลิตและจำหน่ายกะหรี่ปั๊บ อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี	จังหวัดสระบุรี	1 ปี/ 2547-48
2. การผลิตเต้าหู้ปลาจากซูริมิปลานิล	เครือข่ายวิจัยภาคกลางตอนบน สกอ.	1 ปี/ 2548-2549
3. ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเจลาตินไฮโดรไลเสตที่ได้จากเจลาตินจากเกล็ดปลาปากคม	คณะเทคโนโลยีการเกษตร ม.บูรพา วิทยาเขตสระแก้ว	1 ปี/ 2553-2554
4. ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเจลาตินไฮโดรไลเสตที่ได้จากเจลาตินจากเกล็ดปลาทรายแดง	คณะเทคโนโลยีการเกษตร ม.บูรพา วิทยาเขตสระแก้ว	1 ปี/ 2555-2556
5. The preparation of fish scales gelatin hydrolysates with antioxidative activity	the Austrian Government and the Austrian Academic Exchange Service ÖAD through a Technology Southeast Asia Grant	6 เดือน/ ก.พ.- ก.ค. 2554

5.3 ผลงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

ชื่อโครงงานวิจัย	แหล่งทุน	ระยะเวลา/ปีที่ได้รับทุน
1. การศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊บ ของชมรมผู้ผลิตและจำหน่ายกะหรี่ปั๊บ อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี	จังหวัดสระบุรี	1 ปี/ 2547-48

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2. การผลิตเต้าหู้ปลาจากซูริมิปลานิล	เครือข่ายวิจัยภาคกลางตอนบน สกอ.	1 ปี/ 2548-2549
3. ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเจลาตินไฮโดรไลเสตที่ได้จากเจลาตินจากเกล็ดปลาปากคม	คณะเทคโนโลยีการเกษตร ม.บูรพา วิทยาเขตสระแก้ว	1 ปี/ 2553-2554
4. ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเจลาตินไฮโดรไลเสตที่ได้จากเจลาตินจากเกล็ดปลาทรายแดง	คณะเทคโนโลยีการเกษตร ม.บูรพา วิทยาเขตสระแก้ว	1 ปี/ 2555-2556
5. The preparation of fish scales gelatin hydrolysates with antioxidative activity	the Austrian Government and the Austrian Academic Exchange Service ÖAD through a Technology Southeast Asia Grant	6 เดือน/ ก.พ.- ก.ค. 2554
6. ผลของชนิดฟอสเฟต เกลือ และความเป็นกรดด่างต่อผลผลิตและคุณภาพของเนื้อปลานิลแล่แช่แข็ง	วช.	1 ปี/ 2554

-ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

Sutee Wangtueai, Athapol Noomhorm and Joe M. Regenstein. 2010. Effect of Microbial Transglutaminase on gel properties and Film Characteristics of Gelatin from Lizardfish (*Saurida* spp.) Scales. **Journal of Food Science.** 75(9): c731-c739.

Sutee Wangtueai and Athapol Noomhorm. 2009. Processing optimization and characterization of gelatin from lizardfish (*Saurida* spp.) scales. **LWT - Food Science and Technology**. 42(4): 825-834.

Sutee Wangtueai, W. Worawattanamateekul, M. Sangjindavong, N. Naranong, and S. Sirisansaneeyakul. 2007. The Production of Chitosanases from a Newly Isolated *Bacillus cereus*. **Kasetsart Journal (Sci.)**. 41(2): 346-355.

Sutee Wangtueai, W. Worawattanamateekul, M. Sangjindavong, N. Naranong, and S. Sirisansaneeyakul. 2006. Isolation and screening of chitosanase producing microorganisms. **Kasetsart Journal (Sci.)**. 40(4): 944-948.

Book Chapter:

Sutee Wangtueai, Athapol Noomhorm, Joe M. Regenstein, and Anil K. Anal. 2013. Value-Added Bioprocessing of Fish Waste to Gelatin. (G. Boran, Ed.). *In* Gelatin: Production, Applications and Health Implications. Nova Science Publishers, Inc., New York, USA. 185-211 pp.