

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปลานิลแดดเดียว  
ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง  
Optimization of Nile Tilapia Drying Using Solar Green House  
by Response Surface Methodology

ปรียา สฬา<sup>1</sup>, ปริฉัตร ปรากฏรัตน์<sup>1</sup> และ นงพงา แสงเจริญ<sup>1\*</sup>  
Preeya Sapa<sup>1</sup>, Parichat Prakotrat<sup>1</sup> and Nongpanga Sangcharoen<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup> Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiangmai 50290

\*Corresponding author: [nongpanga\\_sc@mju.ac.th](mailto:nongpanga_sc@mju.ac.th)

Received: May 9, 2023

Revised: Sep 14, 2023

Accepted: Sep 25, 2023

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปลานิลแดดเดียวด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) และออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ (1) ขนาดของปลา ( $X_1$ ) คือ 200, 300 และ 400 กรัม/ตัว (2) ความเข้มข้นของน้ำเกลือ ( $X_2$ ) คือ 0, 5 และ 10% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) และ (3) ระยะเวลาในการทำแห้ง ( $X_3$ ) คือ 5, 6 และ 7 ชั่วโมง ผลการศึกษาจากกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองพบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่เมื่อขนาดของปลาและความเข้มข้นของน้ำเกลือเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ปลานิลแดดเดียวที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 30 คนให้การยอมรับมากที่สุดคือปลานิลที่ผ่านการทำเค็มและมีขนาด 300 และ 400 กรัม/ตัว ทำให้สภาวะที่เหมาะสมในการทำปลานิลแดดเดียวคือ ใช้ปลานิลขนาด 400 กรัม น้ำเกลือความเข้มข้น 1.8% และระยะเวลาในการทำแห้ง 5.3 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ปลานิลแดดเดียวที่ได้มีความชื้นเท่ากับ 80.87% อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ปลานิลแดดเดียวที่ได้มีปริมาณความชื้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลานิลแดดเดียว (มผช. 298/2549) กำหนดคือไม่เกิน 65% จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งมากกว่า 8.2 ชั่วโมง ซึ่งคำนวณจากสมการที่ได้จากการทดลอง

**คำสำคัญ :** ปลานิลแดดเดียว, โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, พื้นที่ผิวตอบสนอง

## Abstract

This research aims to optimize the condition for Nile tilapia drying using solar green house by response surface methodology (RSM) and Box-Behnken Design. The independent variable factors included (1) fish size ( $X_1$ ): 200, 300, and 400 g/body (2) brine concentration ( $X_2$ ): 0, 5, and 10% (w/v) and (3) drying time ( $X_3$ ): 5, 6, and 7 hr. The results from the response surface revealed that when the drying time increased, the moisture content of semi-dried fish significantly decreased ( $p < 0.05$ ). Whereas when the fish size and brine concentration increased, the moisture content of semi-dried fish non-significantly increased ( $p > 0.05$ ). The sensory evaluation showed that 30 panelists accepted salted with 300 and 400 g/body of semi-dried Nile tilapia. The optimum condition for semi-dried Nile tilapia was 400 g/body, 1.8%, and 5.3 hr for fish size, brine concentration, and drying time, respectively. Under this condition, the moisture content of semi-dried Nile tilapia was 80.87%. However, to control the moisture content of semi-dried Nile tilapia specified by the Thai Community Product Standards for Dried Fish (no.298/2006) not more than 65%, the drying time was longer than 8.2 hr.

**Keywords :** Semi-dried Nile tilapia, Solar green house, Response surface methodology

## บทนำ

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจของไทย เนื่องจากสามารถสร้างอาชีพและรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ประกอบอาชีพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุดในกลุ่มสัตว์น้ำจืด ข้อมูลสถิติการเพาะเลี้ยงปลานิล ปี พ.ศ. 2564 พบว่ามีปริมาณผลผลิต 253,489 ตัน คิดเป็นมูลค่า 11,722 ล้านบาท เนื้อที่เลี้ยง 528,293 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 480 กิโลกรัม จำแนกเป็นปริมาณผลผลิตจากการเพาะเลี้ยง 218,329 ตัน คิดเป็น 91.92% ของผลผลิตทั้งหมด และผลผลิตจากการจับตามธรรมชาติ 19,181 ตัน คิดเป็น 8.08% ของผลผลิตทั้งหมด ปริมาณผลผลิตปลานิลที่ผลิตได้ส่วนใหญ่นำมาบริโภคภายในประเทศ 96.58% และส่งออกเล็กน้อย (3.42%) (Noorithi and Boonake, 2023) การบริโภคปลานิลภายในประเทศ ส่วนใหญ่เป็นการบริโภคสด (89%) ที่เหลือเป็นการนำมาแปรรูปโดยการทำเค็มและตากแห้ง (5%) นึ่งหรือย่าง (3%) และการแปรรูปในรูปอื่น ๆ (3%) เช่น ปลาข้าวปลาน้ำจืด (Inland Fisheries Research and Development Division, 2010) สำหรับการผลิตปลานิลแดดเดียวพบว่าวิธีการที่นิยมใช้คือการตากโดยใช้แสงอาทิตย์ เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่มักพบปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เช่น มีการปนเปื้อนของแมลง ไข่แมลงวัน และฝุ่นละออง แสงแดดไม่เพียงพอโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน (Tantipongarpa *et al.*, 2022) วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก หรือพาราโบลาโดม (parabola dome) ซึ่งเป็นระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยโครงเหล็กโค้งเป็นรูปพาราโบลา ยึดติดบนพื้นคอนกรีตและปิดคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ด้านหน้ามีประตูทางเข้าและช่องอากาศไหลเข้า ส่วนด้านหลังมีประตูทางออกและพัดลมระบายอากาศที่ทำงานโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ หากเป็นระบบขนาดใหญ่จะมีท่ออากาศจากเครื่องเผาไหม้แก๊ส (LPG gas burner) เพื่อให้ความร้อน

เสริม ซึ่งระบบความร้อนเสริมนี้จะติดตั้งอยู่บนกระบอกแห้งทางด้านหลังโดยมีหลังคาคลุม (Mahayothee and Boonrawd, 2018) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกนี้จะใช้หลักการไหลเวียนอากาศร้อน เพื่อระบายความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ กล่าวคือ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบระบบอบแห้งจะส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ที่อยู่บนชั้นวาง บางส่วนจะตกกระทบพื้นของระบบอบแห้ง ทำให้ภายในระบบอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา แต่เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเป็นรังสีคลื่นยาวซึ่งส่วนมากไม่สามารถผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกไปภายนอกได้ จึงถูกกักเก็บอยู่ภายในระบบอบแห้ง อุณหภูมิภายในส่วนอบแห้งจึงสูงขึ้น ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา และถูกพัดลมดูดอากาศด้านหลังของระบบอบแห้งดูดออกไปภายนอก อากาศแวดล้อมจะไหลผ่านช่องอากาศด้านหน้าเข้ามาแทนที่ ความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงค่อย ๆ ลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังไม่มีปัญหาเรื่องแมลงรบกวนและการปนเปื้อนของฝุ่นละออง หรือการเปียกน้ำฝนด้วย (Mahayothee *et al.*, 2022) อย่างไรก็ตามการใช้งานโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกควรต้องมีการศึกษา สภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคหนึ่งที่น่าจะใช้คือวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เทคนิคทางสถิติและคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพในการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิม (Mahae *et al.*, 2015) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ดี โดย RSM สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น คือปัจจัยต่าง ๆ ต่อตัวแปรตาม คือค่าตอบสนอง (response variable) ค่าตอบสนองเป็นค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น ผลผลิต (yield) ค่าความแข็ง คະแนน ความชอบ ระดับความเข้ม (ทางประสาทสัมผัส) เป็นต้น โดยจะแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าการตอบสนอง เมื่อระดับของปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลง และสามารถหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม (optimum value) ที่จะทำให้ได้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุด หรือสามารถเลือกจุดที่เหมาะสมได้จากค่าตอบสนองหลาย ๆ ค่าได้ โดยในการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและค่าตอบสนองจะต้องมีการวางแผนและออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล (Box *et al.*, 2005) การออกแบบการทดลองที่นิยม ได้แก่ Central composite design (CCD) และ Box-Behnken design (BBD) สำหรับ CCD เป็นแผนการทดลองที่ดัดแปลงมาจากการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล ซึ่งเป็นการเพิ่มสิ่งทดลองระหว่างระดับของปัจจัย แต่เป็นการลดสิ่งทดลอง เช่น ถ้าในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ หากจัดสิ่งทดลองแบบ  $3^3$  factorial design จะได้สิ่งทดลองทั้งหมด 27 สิ่งทดลอง ในขณะที่แผนการทดลอง CCD 3 ปัจจัย จะมีระดับของปัจจัยเท่ากับ 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) ระดับสูง (+1) ระดับลบแอลฟา ( $-\alpha$ ) และระดับบวกแอลฟา ( $+\alpha$ ) และมีสิ่งทดลองทั้งหมด  $2^3 + (2 \times 3 + 1)$  โดยที่เทอม  $(2n+1)$  เป็นจุดพิเศษที่เพิ่มขึ้นมา และเพิ่มการทดลองที่จุดตรงกลาง 3 ถึง 5 จุด จะได้เท่ากับ 17 ถึง 20 สิ่งทดลอง ส่วน BBD เป็นการออกแบบที่คล้ายกับ CCD แต่ต่างกันที่จุดบนแกนจะอยู่ในระนาบเดียวกับจุดที่เป็น factorial และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลางแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (+1) BBD จึงมีจำนวนครั้งในการทดลองที่ลดลง รวมถึงมีต้นทุนที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบ CCD งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการทำปาลานิลแดดเดียวด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology; RSM) โดยนำมาใช้ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design (BBD) ต่อปริมาณความชื้นและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของปาลานิลแดดเดียว



## วิธีการดำเนินงาน

### 1. การเตรียมปลานิล

นำปลานิลที่มีขนาด 200, 300 และ 400 ( $\pm 25$ ) กรัมต่อตัว มาขอดเกล็ด ตัดหัว ควักไส้ ตัดครีบและหาง และ บั้งทั้งสองด้าน ล้างด้วยน้ำสะอาด กำจัดกลิ่นคาวและกลิ่นโคลนของปลานิลโดยแช่ในน้ำเกลือความเข้มข้น 4% (โดย น้ำหนัก) ด้วยอัตราส่วนปลาต่อน้ำเกลือเท่ากับ 1:1 (โดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาล้างปลาด้วยน้ำ สะอาด ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

### 2. การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design

ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งปลานิลด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design ที่มี 3 ตัวแปร คือ ขนาดของปลา ( $X_1$ ) ความเข้มข้นของน้ำเกลือ ( $X_2$ ) และระยะเวลาในการทำแห้ง ( $X_3$ ) แต่ละตัวแปรมี 3 ระดับ คือ ระดับ ต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) ดังแสดงใน Table 1 และมีการทดลองซ้ำที่ตำแหน่งกึ่งกลางจำนวน 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 15 ชุดการทดลอง ดัง Table 2 ผลิตปลานิลแดดเดียวตามสภาวะที่กำหนดในแต่ละชุดการทดลอง ชุดการ ทดลองละ 3 ซ้ำ โดยนำปลานิลที่ตัดแต่งแล้วในข้อ 1 แช่น้ำเกลือในอัตราส่วนปลาต่อน้ำเกลือเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำขึ้นทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำเข้าตากในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ กลับปลาทุก ๆ 1 ชั่วโมง

Table 1 Experimental ranges and level of independent variables in the experimental design

Factors	Level		
	-1	0	1
$X_1$ : Fish size (g/body)	200	300	400
$X_2$ : Salt concentration (% w/w)	0	5	10
$X_3$ : Drying time (hr)	5	6	7

Table 2 Experimental design for Nile tilapia drying using the Box-Behnken Design

Treatment	Coded values			Uncoded values		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Fish size (g/body)	Salt concentration (%)	Drying time (hr)
1	-1	-1	0	200	0	6
2	1	-1	0	400	0	6
3	-1	1	0	200	10	6
4	1	1	0	400	10	6
5	-1	0	-1	200	5	5
6	1	0	-1	400	5	5

Table 2 Continue.

Treatment	Coded values			Uncoded values		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Fish size (g/body)	Salt concentration (%)	Drying time (hr)
7	-1	0	1	200	5	7
8	1	0	1	400	5	7
9	0	-1	-1	300	0	5
10	0	1	-1	300	10	5
11	0	-1	1	300	0	7
12	0	1	1	300	10	7
13	0	0	0	300	5	6
14	0	0	0	300	5	6
15	0	0	0	300	5	6

### 3. การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในปลานิลแดดเดียว

#### 3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสปลานิลแดดเดียว

นำปลานิลแดดเดียวมาทอดในน้ำมันปาล์ม โดยใช้ไฟปานกลางเพื่อไม่ให้บริเวณผิวหนังของปลาแห้งกรอบ ใช้ระยะเวลาในการทอดประมาณ 10 นาที สะเด็ดน้ำมัน แกะเนื้อปลาเป็น 2 ซีก แล้วตัดเป็นชิ้นให้มีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อนำเสนอให้กับผู้ทดสอบ โดยผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้ชิ้นปลาส่วนเดียวกันจากทุกชุดการทดลอง ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลานิลแดดเดียวทั้ง 15 ชุดการทดลอง ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ใช้แบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale โดยมีระดับความชอบคือ 1 ไม่ชอบมากที่สุด 2 ไม่ชอบมาก 3 ไม่ชอบปานกลาง 4 ไม่ชอบเล็กน้อย 5 เฉย ๆ 6 ชอบเล็กน้อย 7 ชอบปานกลาง 8 ชอบมาก และ 9 ชอบมากที่สุด เนื่องจากตัวอย่างปลานิลแดดเดียวมีจำนวนมาก จึงแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ครั้ง ๆ ละ 5 ชุดการทดลอง โดยใช้ผู้ทดสอบกลุ่มเดียวกัน นำผลการทดสอบที่ได้มาคำนวณและแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 3.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในปลานิลแดดเดียว

นำตัวอย่างปลานิลแดดเดียวทั้ง 15 ชุดการทดลองมาหาความชื้นด้วยวิธี AOAC (2005) โดยอบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก (ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ดำเนินการซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม หลังจากนั้นชั่งตัวอย่างปลาที่สับละเอียดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 3-5 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำอีกครั้ง ๆ ละประมาณ 30 นาที และ

ทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ซึ่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม นำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W1 - W2)}{W2} \times 100 \quad \text{---- (1)}$$

โดย W1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

#### 4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปลานิลแดดเดียวด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

การวิเคราะห์ผลทดลองที่ออกแบบด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) (Mahae *et al.*, 2015) นำค่าที่ได้มาสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดของปลานิล ความเข้มข้นของน้ำเกลือ และระยะเวลาในการทำแห้ง ต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว ดังสมการที่ (2)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad \text{---- (2)}$$

โดยที่ Y คือ ปริมาณความชื้น (%) ของปลานิลแดดเดียว  $X_1$  คือ ขนาดของปลานิล  $X_2$  คือ ความเข้มข้นของน้ำเกลือ และ  $X_3$  คือ ระยะเวลาในการทำแห้ง ส่วนค่า  $\beta$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficients)

นำสมการที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (response surface plot) ที่แสดงค่าปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวในแนวแกนตั้งและแสดงระดับของขนาดปลานิล ความเข้มข้นของน้ำเกลือ และระยะเวลาในการทำแห้งในแนวระนาบ และสร้างกราฟโครงร่าง (contour plot) ที่แสดงค่าปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวกับระดับของขนาดปลานิล ความเข้มข้นของน้ำเกลือ และระยะเวลาในการทำแห้ง หลังจากนั้นหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำแห้งปลานิล โดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย



## ผลการดำเนินงาน

### 1. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสปลาเนื้แดดเดียว

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปลาเนื้แดดเดียวที่ผลิตด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) ในปลาเนื้แดดเดียวจากชุดการทดลองที่ 15 ซึ่งมีขนาดของปลาเนื้ 300 กรัม/ตัว ความเข้มข้นของน้ำเกลือ 5% และระยะเวลาในการทำแห้ง 6 ชั่วโมง โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละด้านเท่ากับ 7.8, 7.8, 7.0, 7.2, 7.5 และ 7.8 ตามลำดับ ส่วนปลาเนื้แดดเดียวที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบน้อยที่สุด ( $p < 0.05$ ) คือปลาเนื้แดดเดียวจากชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งมีขนาดของปลาเนื้ 200 กรัม/ตัว ความเข้มข้นของน้ำเกลือ 0% และระยะเวลาในการทำแห้ง 6 ชั่วโมง โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละด้านเท่ากับ 6.4, 6.8, 6.5, 5.4, 5.2 และ 5.9 ตามลำดับ ผู้ทดสอบระบุว่าปลาเนื้แดดเดียวจากชุดการทดลองที่ 15 มีความเค็มปานกลาง เนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่แห้งหรือแฉะเกินไป ในขณะที่ปลาเนื้แดดเดียวจากชุดการทดลองที่ 1 มีรสจืด ลักษณะปรากฏเป็นแผ่นบาง เนื้อสัมผัสแข็งและเหนียว ทั้งนี้เนื่องจากปลาเนื้แดดเดียวจากชุดการทดลองที่ 1 ใช้ปลาเนื้ที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ 200 กรัม/ตัว จึงทำให้เนื้อปลาแห้งมากกว่าปลาเนื้แดดเดียวที่ผลิตจากปลาที่มีขนาด 300 และ 400 กรัม/ตัว (Table 3) นอกจากนี้ หากพิจารณาจากคะแนนความชอบรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 7 คะแนน ในตัวอย่างปลาเนื้แดดเดียวที่ผลิตจากปลาเนื้ที่มีขนาด 300 กรัม/ตัว ที่ผ่านการทำเค็มด้วยน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 5% และ 10% และปลาเนื้ที่มีขนาด 400 กรัม/ตัว ที่ผ่านการทำเค็มด้วยน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 5%

Table 3 Sensory properties of the semi-dried Nile tilapia using solar green house

Treatment	Fish size (g/body)	Salt concentration (%)	Drying time (hr)	Sensory scores (Mean $\pm$ SD)					
				Appearance	Color	Odor	Texture	Taste	Overall
1	200	0	6	6.4 $\pm$ 1.5 <sup>d</sup>	6.8 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	6.5 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	5.4 $\pm$ 1.8 <sup>e</sup>	5.2 $\pm$ 2.0 <sup>fg</sup>	5.9 $\pm$ 1.8 <sup>e</sup>
2	400	0	6	7.0 $\pm$ 1.3 <sup>abcd</sup>	7.0 $\pm$ 1.3 <sup>ab</sup>	6.2 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>	5.6 $\pm$ 1.9 <sup>de</sup>	5.0 $\pm$ 1.9 <sup>g</sup>	5.9 $\pm$ 1.7 <sup>e</sup>
3	200	10	6	6.6 $\pm$ 1.5 <sup>bcd</sup>	7.2 $\pm$ 1.6 <sup>ab</sup>	6.6 $\pm$ 1.7 <sup>ab</sup>	6.6 $\pm$ 1.6 <sup>abc</sup>	6.0 $\pm$ 1.9 <sup>def</sup>	6.5 $\pm$ 1.6 <sup>cde</sup>
4	400	10	6	7.0 $\pm$ 1.3 <sup>abcd</sup>	7.4 $\pm$ 1.1 <sup>ab</sup>	7.3 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 1.6 <sup>bcd</sup>	6.4 $\pm$ 1.9 <sup>cde</sup>	6.9 $\pm$ 1.4 <sup>bcd</sup>
5	200	5	5	6.5 $\pm$ 1.6 <sup>cd</sup>	6.8 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	6.7 $\pm$ 1.7 <sup>ab</sup>	6.7 $\pm$ 1.3 <sup>abc</sup>	6.9 $\pm$ 1.5 <sup>abcd</sup>	6.9 $\pm$ 1.0 <sup>bcd</sup>
6	400	5	5	7.4 $\pm$ 1.4 <sup>ab</sup>	7.5 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	7.0 $\pm$ 1.2 <sup>ab</sup>	6.5 $\pm$ 1.4 <sup>abcd</sup>	6.9 $\pm$ 1.7 <sup>abc</sup>	7.2 $\pm$ 1.1 <sup>abc</sup>
7	200	5	7	7.0 $\pm$ 1.5 <sup>abcd</sup>	7.0 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	6.4 $\pm$ 1.6 <sup>ab</sup>	5.9 $\pm$ 1.6 <sup>cde</sup>	6.5 $\pm$ 1.5 <sup>bcd</sup>	6.6 $\pm$ 1.4 <sup>cde</sup>
8	400	5	7	7.4 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 1.4 <sup>ab</sup>	7.0 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	7.0 $\pm$ 1.0 <sup>ab</sup>	7.0 $\pm$ 1.4 <sup>abc</sup>	7.2 $\pm$ 1.2 <sup>abc</sup>
9	300	0	5	7.2 $\pm$ 1.6 <sup>abc</sup>	7.2 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	6.4 $\pm$ 1.7 <sup>ab</sup>	6.6 $\pm$ 1.5 <sup>abc</sup>	5.5 $\pm$ 1.6 <sup>efg</sup>	6.3 $\pm$ 1.4 <sup>de</sup>
10	300	10	5	7.6 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	7.6 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	7.1 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	6.9 $\pm$ 1.9 <sup>ab</sup>	6.7 $\pm$ 1.7 <sup>abcd</sup>	7.1 $\pm$ 1.6 <sup>abc</sup>
11	300	0	7	7.2 $\pm$ 1.5 <sup>abc</sup>	7.7 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	6.6 $\pm$ 1.8 <sup>ab</sup>	6.4 $\pm$ 1.7 <sup>abcd</sup>	6.3 $\pm$ 1.5 <sup>cde</sup>	6.6 $\pm$ 1.3 <sup>cde</sup>
12	300	10	7	7.5 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	7.1 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	7.1 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	6.9 $\pm$ 1.8 <sup>abcd</sup>	7.2 $\pm$ 1.3 <sup>abc</sup>
13	300	5	6	7.5 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	7.7 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	7.0 $\pm$ 1.6 <sup>ab</sup>	7.1 $\pm$ 1.4 <sup>ab</sup>	7.4 $\pm$ 1.3 <sup>ab</sup>	7.6 $\pm$ 1.2 <sup>ab</sup>
14	300	5	6	7.5 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	7.7 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	7.0 $\pm$ 1.4 <sup>ab</sup>	7.2 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	7.2 $\pm$ 1.3 <sup>abc</sup>	7.2 $\pm$ 1.4 <sup>abc</sup>
15	300	5	6	7.8 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	7.8 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	7.0 $\pm$ 1.7 <sup>ab</sup>	7.2 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	7.8 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>

Different letters within the same column represent significant differences ( $p < 0.05$ ).

## 2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในปลานิลแดดเดียว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในปลานิลแดดเดียวที่ผลิตด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าปลานิลแดดเดียวทั้ง 15 ชุดการทดลอง มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 72.75 – 80.36% โดยตัวอย่างปลานิลแดดเดียวจากชุดการทดลองที่ 12 ซึ่งมีขนาดของปลานิล 300 กรัม/ตัว ความเข้มข้นของน้ำเกลือ 10% และระยะเวลาในการทำแห้ง 7 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) คือ 72.75% ในขณะที่ตัวอย่างปลานิลแดดเดียวจากชุดการทดลองที่ 13 ซึ่งมีขนาดของปลานิล 300 กรัม/ตัว ความเข้มข้นของน้ำเกลือ 5% และระยะเวลาในการทำแห้ง 6 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) คือ 80.36% (Table 4) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ปลานิลแดดเดียวที่มีระยะเวลาในการทำแห้งนานที่สุด คือ 7 ชั่วโมง (ชุดการทดลองที่ 7, 8, 11 และ 12) มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าปลานิลแดดเดียวที่มีระยะเวลาในการทำแห้ง 5 และ 6 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความชื้นอยู่ระหว่าง 72.75 – 73.98%

**Table 4** The moisture contents of dried Nile tilapia generated from Box-Behnken Design

Treatment	Fish size (g/body)	Salt concentration (%)	Drying time (hr)	Moisture content of semi-dried fish (%) (Mean $\pm$ SD)
1	200	0	6	78.50 $\pm$ 0.51 <sup>b</sup>
2	400	0	6	80.17 $\pm$ 2.11 <sup>b</sup>
3	200	10	6	78.26 $\pm$ 0.27 <sup>b</sup>
4	400	10	6	79.21 $\pm$ 1.22 <sup>b</sup>
5	200	5	5	79.98 $\pm$ 1.02 <sup>b</sup>
6	400	5	5	80.24 $\pm$ 1.67 <sup>b</sup>
7	200	5	7	73.11 $\pm$ 1.26 <sup>a</sup>
8	400	5	7	73.98 $\pm$ 0.74 <sup>a</sup>
9	300	0	5	79.94 $\pm$ 0.72 <sup>b</sup>
10	300	10	5	80.13 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>
11	300	0	7	73.98 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup>
12	300	10	7	72.75 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>
13	300	5	6	80.36 $\pm$ 0.54 <sup>b</sup>
14	300	5	6	79.28 $\pm$ 1.00 <sup>b</sup>
15	300	5	6	78.63 $\pm$ 2.33 <sup>b</sup>

Different letters within the same column represent significant differences ( $p < 0.05$ ).



### 3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปลานิลแดดเดียวด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร กับปริมาณความชื้นในปลานิลแดดเดียวที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงใน Table 5 พบว่าแบบจำลองมีค่านัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.000$ ) แสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่ศึกษามีผลต่อค่าการตอบสนอง (ปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่า  $R^2 = 88.14\%$  ซึ่งควรมีค่ามากกว่า 80% จะแสดงให้เห็นว่าค่าการตอบสนองที่ได้เป็นผลมาจากตัวแปรที่ศึกษาถึง 80% ส่วนที่เหลือนั้นเป็นผลมาจากตัวแปรอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ และ lack of fit ของแบบจำลองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.896$ ) แสดงว่าผลการศึกษานี้สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวได้

เมื่อวิเคราะห์สมการถดถอยในรูปแบบของสมการกำลังสองของสภาวะการทำแห้งปลานิลต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้แสดงถึงขนาดและทิศทางของตัวแปรต่าง ๆ และอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรที่มีผลต่อค่าการตอบสนอง จาก Table 6 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังสองของระยะเวลาในการทำแห้ง ( $X_3$  และ  $X_3^2$ ) มีผลต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังสองขนาดของปลาและความเข้มข้นของน้ำเกลือ ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_1^2$  และ  $X_2^2$ ) รวมทั้งรวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ตัวแปร ( $X_1X_2$ ,  $X_1X_3$  และ  $X_2X_3$ ) ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดนำมาใช้ในการสร้างสมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปลานิล ( $X_1$ ) ความเข้มข้นของน้ำเกลือ ( $X_2$ ) และระยะเวลาในการทำแห้ง ( $X_3$ ) ต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวได้ดังสมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = 8.004 + 0.005 X_1 + 0.582 X_2 + 26.180 X_3 - 0.010 X_2^2 - 2.466 X_3^2 + 0.002 X_1 X_3 - 0.071 X_2 X_3 \dots (3)$$

Table 5 ANOVA of quadratic polynomial model of the moisture content in semi-dried Nile tilapia using solar green house

Source	DF	Seg SS	Adj MS	F-value	P-value
Model	9	339.270	37.6967	28.89	0.000
Lack-of-fit	3	0.839	0.2798	0.20	0.896
Pure error	32	44.827	1.4009		
Total	44	384.937			

$$R^2 = 88.14\%, \text{ Adj-}R^2 = 85.09\%$$

**Table 6** Regression coefficients for the model fitted to the moisture content of semi-dried Nile tilapia using solar green house

Term	coefficient	SE coefficient	F-value	P-value
Constant	8.0042	14.3214	28.89	0.000
Fish size ( $X_1$ )	0.0052	0.0288	0.03	0.857
Salt concentration ( $X_2$ )	0.5819	0.4655	1.56	0.229
Drying time ( $X_3$ )	26.1795	4.2548	37.86	0.000
Fish size <sup>2</sup> ( $X_1^2$ )	-0.0000	0.0000	0.15	0.704
Salt concentration <sup>2</sup> ( $X_2^2$ )	-0.0103	0.0137	0.56	0.458
Drying time <sup>2</sup> ( $X_3^2$ )	-2.4657	0.3432	51.61	0.000
Fish size * Salt concentration ( $X_1X_2$ )	-0.0004	0.0007	0.30	0.589
Fish size *Drying time ( $X_1X_3$ )	0.0015	0.0033	0.21	0.647
Salt concentration*Drying time ( $X_2X_3$ )	-0.0711	0.0659	1.16	0.288

สมการสำหรับทำนายค่าปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวที่ได้ สามารถนำมาสร้าง response surface plot และ contour plot ได้ดัง Figure 1 ซึ่ง response surface plot และ contour plot ที่ได้ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปลานิล ความเข้มข้นของน้ำเกลือ และระยะเวลาในการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว โดยมีรายละเอียดดังนี้

Figure 1(a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปลานิลและความเข้มข้นของน้ำเกลือต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว โดยมีระยะเวลาในการทำแห้งอยู่ที่ระดับกลางคือ 6 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของปลานิลเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) โดยเมื่อความเข้มข้นของน้ำเกลือเป็น 0% ทำให้ปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวเพิ่มขึ้นจาก 78.50% เป็น 80.17% ส่วนที่ความเข้มข้นของน้ำเกลือเป็น 10% ทำให้ปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวเพิ่มขึ้นจาก 78.26% เป็น 79.21% เมื่อขนาดของปลานิลเพิ่มขึ้นจาก 200 กรัม/ตัว เป็น 400 กรัม/ตัว ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของน้ำเกลือเพิ่มขึ้นพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว ( $p>0.05$ ) โดยปลานิลที่มีขนาด 200 กรัม/ตัว ปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวเท่ากับ 78.50% และ 78.26% และปลานิลที่มีขนาด 400 กรัม/ตัว ปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียวเท่ากับ 80.17% และ 78.26% เมื่อความเข้มข้นของน้ำเกลือเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 10% ตามลำดับ

Figure 1(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปลาชนิดและระยะเวลาในการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียว โดยมีความเข้มข้นของน้ำเกลืออยู่ที่ระดับกลางคือ 5% จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยปลาชนิดที่มีขนาด 200 กรัม/ตัว ปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวลดลงจาก 79.98% เป็น 73.11% ส่วนปลาชนิดที่มีขนาด 400 กรัม/ตัว ปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวเท่ากับ 80.24% เป็น 73.98% เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 5 ชั่วโมง เป็น 7 ชั่วโมง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าขนาดของปลาชนิดที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียว ( $p > 0.05$ ) โดยเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากับ 5 ชั่วโมง ความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวเท่ากับ 79.98% และ 80.24% และเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากับ 7 ชั่วโมง ความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวเท่ากับ 73.11% และ 73.98% เมื่อขนาดของปลาชนิดเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 400 กรัม/ตัว ตามลำดับ

Figure 1(c) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเกลือและระยะเวลาในการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียว โดยมีขนาดของปลาชนิดอยู่ที่ระดับกลางคือ 300 กรัม/ตัว จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยที่ความเข้มข้นของน้ำเกลือเท่ากับ 0% ปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวลดลงจาก 79.94% เป็น 73.98% ส่วนที่ความเข้มข้นของน้ำเกลือเท่ากับ 10% ปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวเท่ากับ 80.13% เป็น 72.75% เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 5 ชั่วโมง เป็น 7 ชั่วโมง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของน้ำเกลือที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของปลาชนิดแดดเดียว ( $p > 0.05$ ) โดยเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากับ 5 ชั่วโมง ความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวเท่ากับ 79.94% และ 80.13% และเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากับ 7 ชั่วโมง ความชื้นของปลาชนิดแดดเดียวเท่ากับ 73.98% และ 72.75% เมื่อความเข้มข้นของน้ำเกลือเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 10% ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยฟังก์ชัน response optimizer ร่วมกับการนำผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสมาใช้ในการพิจารณา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปลาชนิดแดดเดียวด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์คือใช้ปลาชนิดที่มีขนาด 400 กรัม/ตัว ทำเค็มในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 1.8% และมีระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากับ 5.3 ชั่วโมง โดยภายใต้สภาวะการผลิตดังกล่าวจะทำให้ได้ปลาชนิดที่มีความชื้นเท่ากับ 80.87%



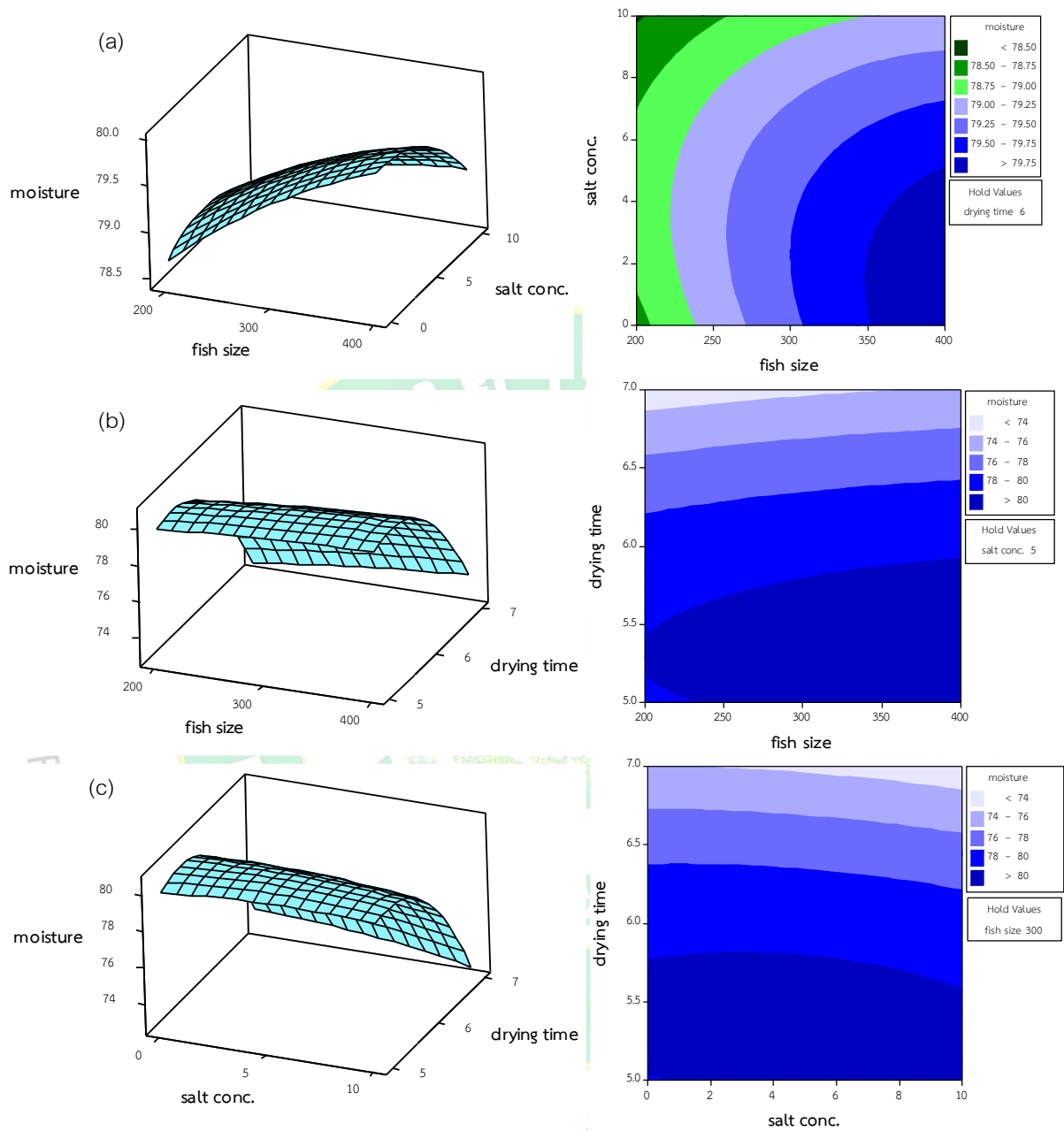


Figure 1 Response surface plot (left) and contour plot (right) for the combined effect of (a) fish size (g/body) and salt concentration (% w/w) (b) fish size and drying time (hr) (c) salt concentration and drying time on the moisture content (%) of semi-dried Nile tilapia using solar green house

## วิจารณ์ผลการดำเนินงาน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาแดดเดียว (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2004) กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ปลาแดดเดียวต้องมีความชื้นไม่เกิน 65% แต่จากผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลานิลแดดเดียวด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธี RSM ร่วมกับ BBD พบว่าปลานิลแดดเดียวที่ได้มีความชื้นสูงกว่ามาตรฐานกำหนด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 72.75 – 80.36% ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างการทำแห้งค่อนข้างต่ำ คือ 32 – 45 องศาเซลเซียส อันเกิดจากการศึกษาในช่วงที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ งานวิจัยส่วนใหญ่มีอุณหภูมิในการทำปลาแดดเดียวสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส โดย Kanpairo (2016) พบว่าการอบแห้งปลาจารีดินแดดเดียวที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ปลาจารีดินแดดเดียวที่ได้มีความชื้น 30 – 40% ส่วน Pansawat *et al.* (2017) ผลิตปลาสดลิดหอมในตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าปลาสดลิดหอมที่ได้มีความชื้น 63.92 – 70.67% จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำปลาแดดเดียวสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 65% สอดคล้องตามมาตรฐานกำหนด นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่านอกเหนือจากความชื้นแล้ว ปริมาณน้ำอิสระ (water activity;  $a_w$ ) ในปลาแดดเดียวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาปลาแดดเดียว ซึ่ง Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry (2006) กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ปลาแดดเดียวต้องมีค่า  $a_w$  ไม่เกิน 0.85 อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาค่า  $a_w$  ที่มีในปลานิลแดดเดียวที่ผลิตได้ แต่หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา จากงานวิจัยของ Tantipongarpa *et al.* (2022) ได้อบปลานิลด้วยกระโจมตากปลาพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส พบว่าภายหลังการอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ความชื้นในปลานิลค่อย ๆ ลดลงจาก 69.16% เป็น 47.72% ในขณะที่ค่า  $a_w$  ลดลงจาก 0.94 เป็น 0.78 แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  ต่ำ ตรงกันข้ามกับผลการศึกษาของ Nanthajirapong *et al.* (2019) ซึ่งพบว่าปลาสดแดดเดียวที่ตากด้วยตู้อบแห้งอุณหภูมิ 35 และ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับมีค่า  $a_w$  เท่ากับ 0.99 ทั้ง 2 สภาวะ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานกำหนด แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิลดลงต่ำกว่า (ต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส) จะส่งผลให้ค่า  $a_w$  ในผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นสูง ค่า  $a_w$  ที่สูงกว่ามาตรฐานกำหนดอาจเกิดจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบที่มีค่าสูงถึง 60% และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบดังกล่าวเป็นช่วงอุณหภูมิที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดี จากการที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  ในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ Obayopo and Alonge (2018) จึงแนะนำว่าอุณหภูมิที่จะใช้ในการทำแห้งปลานั้น ควรมีความสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกไม่น้อยกว่า 35 องศา ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้อัตราเร็วในการทำแห้งสูงกว่าตามไปด้วย (Reza *et al.*, 2009) นอกเหนือจากอุณหภูมิแล้ว จากการนำ RSM มาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ พบว่าระยะเวลาในการทำแห้งมีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นของปลานิลแดดเดียว สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ikrang and Umani (2019) ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิ ความหนาของชั้นปลา ความเข้มข้นของเกลือ และระยะเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสมต่อความชื้นของปลาตุ๋นตากแห้งด้วย RSM พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งมีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าความหนาของชั้นปลาและความเข้มข้นของเกลือ

อย่างไรก็ตามในการผลิตปลาแดดเดียวเพื่อจำหน่าย หากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ แม้จะส่งผลดีต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ แต่จะทำให้ผู้ประกอบการมีปริมาณผลผลิตลดลงและต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้น จึงพบว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่มีการทำแห้งปลาแดดเดียวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อรักษาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ Waiprib *et al.* (2017) รายงานว่าปลาสดแดดเดียวที่รวบรวมจากผู้ผลิตในจังหวัดสมุทรปราการ สุพรรณบุรี และสมุทรสาคร มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 68.54 – 78.87% และมีค่า  $a_w$  ระหว่าง 0.978 – 0.995 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานกำหนด และทั้งหมดเป็นปลาสดแดดเดียวชนิดเค็มน้อย เนื่องจากมีปริมาณเกลือน้อยกว่า 5.0% สอดคล้องกับผลการศึกษางานวิจัยนี้ที่พบว่าความเข้มข้นของน้ำเกลือที่เหมาะสมในการทำปลานิลแดดเดียวคือ 1.8%

แนวทางในการนำผลการศึกษานี้ไปใช้ประโยชน์สามารถทำได้ใน 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้ปลานิลที่มีขนาด 400 กรัม/ตัว ทำเค็มในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 1.8% และมีระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากับ 5.3 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ปลานิลแดดเดียวที่มีความชื้นสูง (80.87%) สอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบสูง ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการได้ผลผลิตปริมาณมากและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เหมาะสำหรับผู้ประกอบการที่เป็นรายย่อยที่ไม่ต้องการขอมาตรฐานผลิตภัณฑ์ และ 2) การใช้ปลานิลที่มีขนาด 400 กรัม/ตัว ทำเค็มในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 1.8% และมีระยะเวลาในการทำแห้งมากกว่า 8.2 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ปลานิลแดดเดียวที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 65% โดยระยะเวลาดังกล่าวได้จากการนำสมการที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองมาใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาในการทำแห้ง

#### กิตติกรรมประกาศ:

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเพื่อโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ห้องปฏิบัติการแปรรูปทางการประมง และห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์น้ำ สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2005. Determination of Moisture. In Official Methods of Analysis of AOAC International (18<sup>th</sup> ed). AOAC, Washington DC.
- Box, G. E. P., Hunter, J. S. and Hunter, W. G. 2005. Statistics for Experimenters: Design, innovation, and discovery. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Ikrang, E. G. and Umani, K. C. 2019. Optimization of process conditions for drying of catfish (*Clarias gariepinus*) using response surface methodology (RSM). Food Science and Human Wellness. 8, 46 – 52. Available from doi.org/10.1016/j.fshw.2019.01.002.
- Inland Fisheries Research and Development Division. 2010. A Guide for Nile Tilapia Farming. Department of Fisheries, Bangkok. 36 p. [in Thai].
- Kanpairo, K. (2016). The development of intermediate moisture Pacific sardines (*Sardinops sagax*) by hot air oven. YRU Journal of Science and Technology. 1(2): 7 – 21. [in Thai].



- Mahae, N. , Awapak, D. and Pitchairat, D. 2015. Optimization of high protein content protein hydrolysate extraction from hard clam (*Meretrix casta*) using response surface methodology. *KKU Science Journal* 43(3): 425 – 438. [in Thai].
- Mahayothee, B. and Boonrawd, Y. 2018. Manual of Solar Dryer Subsidy Program. Phetkasem Printing Group. Nakhon Pathom. 58 p. [in Thai].
- Mahayothee, B., Khuwijtjaru, P., Phupaichitkun, S., Boonrawd, Y. and Kanjina, S. 2022. Quality Improving of Dried Fish and Processing of Local Fruits Using a Parabolic Type Solar Dryer. National Research Council of Thailand, Bangkok. 181 p. [in Thai].
- Nanthajirapong, N. , Sirinam, S. and Konkanatnikorn, R. 2019. Factors that affect the quality of the *Trichogaster pectoralis* dried fish by the solar dried oven. *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal* 5(2): 72 – 83. [in Thai].
- Noorritthi, K. and Boonake, P. 2023. Situation Report of Nile Tilapia in 2022 and 2023 Trend. Fisheries Development Policy and Planning Division, Department of Fisheries, Bangkok. [Online]. Available from <https://www.fisheries.go.th/strategy/fisheconomic/Monthly%20report/tilapia/3.%E0%B8%AA%E0%B8%96%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%A5%20Q4%2064.pdf> [2023, April 5] [in Thai].
- Obayopo, S.O.O. and Alonge, O.I. 2018. Development and quality analysis of a direct solar dryer for fish. *Food and Nutrition Science*. 9, 474 – 488. Available from [doi.org/10.4236/fns.2018.95037](https://doi.org/10.4236/fns.2018.95037).
- Pansawat, N., Mookdasanit, J. and Maneerote, J. 2017. Preparation and storage of raw materials that suitable for salted snakeskin gourami (*Trichogaster pectoralis* Regan) products. In: Enhancing Aquaculture Potential and Quality and Safety of Processed Snakeskin Qourami Fish (*Tricogaster pectoralis* Regan) Products. Agricultural Research Development Agency (Public Organization), Bangkok. pp. 200 – 263. [in Thai].
- Reza, M.D.S., Bapary, M.D.A.J., Islam, M.D.N. and Kamal, M.D. 2009. Optimization of marine fish drying using solar tunnel dryer. *Journal of Food Processing and Preservation*. 33, 47 – 59. Available from [doi:10.1111/j.1745-4549.2008.00236.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00236.x).
- Tantipongarpa, J. , Thipmonta, N. , Podkumnerd, N. , Wijitphan, D. , Rattanapon, R. , Chupul, N. and Thipjumnong, A. 2022. The Development of Processing Technology and Innovation of Nile Tilapia Product in Kho Yai Sub-district, Krasae Sin District, Songkhla Province. Program Management Unit on Area Based Development, Bangkok. 150 p. [in Thai].

Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry. 2004. Thai Community Product Standards for Dried Fish (no.298/2547). Ministry of Industry, Bangkok. [in Thai].

Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry. 2006. Thai Community Product Standards for Dried Fish (no.298/2549). Ministry of Industry, Bangkok. [in Thai].

Waiprib, Y. , Na-Nakorn, U. , Runglerdkriangkrai, J. , Pansawat, N. , Maneerote, J. , Mookdasanit, J. , Jintasataporn, O., Jintasataporn, O. and Thaitongchin, C. 2017. Enhancing aquaculture potential and quality and safety of processed Snakeskin gourami fish (*Tricogaster pectoralis* Regan) products. Agricultural Research Development Agency (Public Organization). Bangkok. 342 p. [in Thai].

