

ผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของกุ้งกะต๋อม

Effect of Hot-air Temperature on Drying Kinetics and Quality of Dwarf Prawn

อมมี เบญจมะ* สุธา เกลาจิต และพายัพ มาศนิยม

Ommee Benjama* Sutha Klaocheed and Payap Masniyom

สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี 94000

Division of Fishery Technology, Faculty of Science and Technology,

Prince of Songkla University, Muang, Pattani Province, THAILAND, 94000

*Corresponding author: omme.b@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งกุ้งกะต๋อม และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และอัตราการดูดน้ำกลับ การอบแห้งแปรอุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที นำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณอัตราส่วนความชื้นที่เวลาในการอบแห้งต่างๆ และใช้วิธีการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงทดสอบความสอดคล้องของกราฟการอบแห้งจากการทดลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้แบบจำลองที่อธิบายผลเข้ากันได้ดีกับผลการทดลองประเมินได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าการลดลงไคสแควร์ (χ^2) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองของ Midilli *et al.* ให้ผลดีที่สุด

ผลของอุณหภูมิลมร้อนที่มีต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ที่น้อยที่สุด และค่า L^* สูงสุด ($P < 0.05$) เมื่อนำกุ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มาศึกษาการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ผลพบว่าค่าอัตราการดูดน้ำกลับ ค่าความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตี้ของกุ้งหลังดูดน้ำกลับไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ดังนั้นการอบแห้งกุ้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนระหว่าง 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส สามารถนำมาใช้เพื่อเก็บรักษากุ้งกะต๋อมได้ โดยส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของกุ้งเล็กน้อย ความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของกุ้งแห้งเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ TAS 7012-2008

คำสำคัญ: กุ้งกะต๋อม อุณหภูมิลมร้อน แบบจำลองการอบแห้ง คุณภาพ การดูดน้ำกลับ

Abstract

The aim of this research was to investigate the effect of hot-air temperature on drying kinetics of dwarf prawn and quality of products (moisture content, water activity, colour values (L^* , a^* and b^*) and rehydration rate. The prawn was subjected to convective drying at three different temperatures of 50, 60 and 70 °C with a constant air velocity of 1.5 m/s. The moisture ratio (MR) at different drying time was calculated from experimental data. A nonlinear regression procedure was used to fit

experimental drying curves with the most used mathematical models. The highest coefficient of determination (R^2) and the reduced chi-square (χ^2) were used to assess the goodness of fit for the model. It was found that the Midilli *et al.* model gave the best fit.

The influence of air drying temperature on chemical and physical quality of product showed that at 70°C, water activity and moisture content of the product were the lowest while its L^* value was the highest ($P < 0.05$). The dried prawn samples at 50, 60 and 70°C were allowed to rehydrate at 30°C in distilled water for 6 h. The results showed the rehydration ratio, moisture content and water activity of rehydrated samples had no significant values ($P \geq 0.05$). Therefore, the air drying temperature between 50–70°C could be able to preserve dwarf prawn with slightly effect on the quality of products. The moisture content and water activity of dried prawn products were consistent with Thai agricultural standard (TAS 7012–2008 Dried shrimp).

Keywords: dwarf prawn, hot-air temperature, drying models, quality, rehydration

คำนำ

กุ้งกะต๋อม (Dwarf prawn) อยู่ในวงศ์ Palaemonidae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Macrobrachium equidens* มีขนาดเล็กความยาวประมาณ 5-6 เซนติเมตร รูปร่างคล้ายคลึงกับกุ้งก้ามกราม แต่ขนาดเล็กกว่า หัวค่อนข้างโตและลำตัวเรียวเล็ก นัยน์ตามีสีดำ กริแหลมหยักเป็นฟันเลื่อย ขาเดินคู่ที่สองมีขนาดใหญ่และยาวกว่าขาเดินคู่อื่น ๆ ส่วนปลายเป็นก้ามหนีบ เปลือกที่ปกคลุมค่อนข้างแข็ง มีสีเหลืองเหลืองหรือขาวนวล ลำตัวค่อนข้างใส อาศัยตามชายฝั่งทะเลในที่ดิน พื้นท้องทะเลเป็นโคลนโดยเฉพาะตามรากของต้นแสม ต้นโกงกาง หรือตามแอ่งน้ำที่น้ำทะเลซัง กินตัวอ่อนของแมลงน้ำเป็นอาหาร นิยมใช้ประกอบอาหารหรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเก็บรักษาให้นานขึ้น เช่น กุ้งหวาน กุ้งส้ม กุ้งแช่แข็ง และกุ้งแห้ง (Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2002) ทั้งนี้สัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นแหล่งของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด อีกทั้งมีวิตามินและแร่ธาตุ อย่างไรก็ตามสัตว์น้ำหลังจากตายมักเกิดการเน่าเสียได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีการแปรรูปอย่างรวดเร็วภายใน 1 ถึง 2 ชั่วโมง วิธีการที่ไม่ยุ่งยากและประหยัดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติ คือ การอบแห้ง (Toujani *et al.*, 2013)

การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีการทำแห้งที่นิยมใช้มากในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร รวมทั้งสาหร่ายและสัตว์น้ำ (Gupta *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2013; Toujani *et al.*, 2013) กระบวนการอบแห้งมีทั้งการถ่ายเทความร้อนและมวลสารพร้อมกัน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ ทั้งนี้อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง หากอุณหภูมิสูงมีผลต่อการเร่งอัตราการอบแห้ง แต่อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียการยอมรับทางประสาทสัมผัส การเกิดออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส สี รูพรุน (porosity) สมบัติเชิงหน้าที่ ลักษณะการดูดซับ (adsorption) รวมทั้งสูญเสียคุณค่าสารอาหารของผลิตภัณฑ์ (Gupta *et al.*, 2011) ดังนั้นการทราบถึงข้อมูลด้านจลนพลศาสตร์การอบแห้งและผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น สามารถนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อ

ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Gupta *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2013) ทั้งนี้แนวทางการศึกษาพฤติกรรมระหว่างกรอบแห้งผลิตผลต่าง ๆ สามารถใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งหรือการถ่ายเทมวลสารของน้ำและการศึกษาไอโซสแตอริกฮีท (isosteric heat) ของการดูดซับ สำหรับแบบจำลองศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของผลิตผลทางการเกษตรและสัตว์น้ำที่ใช้กันส่วนมาก เช่น แบบจำลอง Newton, Page, Henderson&Pabis, Logarithmic, Two terms, Diffusion approximation, Verma *et al.* และ Midilli *et al.* (Toujani *et al.*, 2013; Inyang *et al.*, 2018) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งกะต๋อมที่อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความเข้ากันได้ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ 10 แบบจำลองรวมทั้งศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพบางประการของกึ่งกะต๋อม ซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถทราบได้ว่าแบบจำลองใดอธิบายผลเข้ากันได้ดีกับผลการทดลอง อีกทั้งใช้เป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการอบแห้งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมาตรฐาน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

กึ่งกะต๋อม (Dwarf prawn) ที่เก็บเกี่ยวจากแหล่งน้ำชายฝั่ง บริเวณตำบลรูสะมิแล อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี นำกึ่งมาทำความสะอาด เอาสิ่งแปลกปลอมออก สุ่มตัวอย่างกึ่งนำมาวัดขนาด น้ำหนักตัว และเก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปศึกษาต่อไป

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำกึ่งกะต๋อมมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธี AOAC (2000) และวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีโดยใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี (Novasina รุ่น AW Sprint)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กระบวนการอบแห้งกึ่งกะต๋อม

นำกึ่งกะต๋อมมาทำละลายและล้างทำความสะอาด นำไปลวกในน้ำเดือดนาน 2 นาที และสะเด็ดน้ำ จากนั้นนำไปซึ่งใส่ถาด (ขนาด 25X25 ตารางเซนติเมตร) น้ำหนัก 145 ± 2 กรัมต่อถาด เกลี่ยให้ทั่วถาดจำนวน 3 ถาด นำไปศึกษาการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งลมร้อน (Tray dryer รุ่น HT02) โดยแปรระดับอุณหภูมิจาก 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ควบคุมความเร็วลม 1.5 ± 0.1 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 5\%$ (ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์) ซึ่งน้ำหนักกึ่งระหว่างอบแห้งทุก 30 นาที และบันทึกอุณหภูมิลมร้อน โดยอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักของกึ่งมีค่าคงที่หรือเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งน้ำหนักแห้งของกึ่งและนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธีของ AOAC (2000)

3.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งกะต๋อมจากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

นำข้อมูลจากการทดลองการอบแห้งกึ่งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มาคำนวณอัตราส่วนความชื้นของกึ่ง (moisture ratio, MR) ที่เวลาในการอบแห้งต่าง ๆ โดย MR คำนวณจาก

$$MR = (W - W_e) / (W_0 - W_e) \quad (1)$$

เมื่อ W คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ W_e คือความชื้นสมดุล W_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น ทั้งนี้ค่าความชื้นคำนวณจากหน่วยกรัม (g) ของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักของแห้งแห้ง

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง ได้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบกึ่งทฤษฎี (semi-theoretical) 10 แบบจำลอง (Table 1) โดยนำผลอัตราส่วนความชื้นของกึ่ง (moisture ratio, MR) ที่เวลาในการอบแห้งจากการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าการลดลงไคสแควร์ (χ^2) (Toujani *et al.*, 2013) ที่คำนวณได้จากสมการ

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{exp,i} - MR_{pre,i})^2} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{n - m} \quad (3)$$

เมื่อ $MR_{exp,i}$, $MR_{pre,i}$ และ $\overline{MR}_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง การทำนาย และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยจากการทดลอง ส่วน N และ m คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดและจำนวนค่าคงที่ในแบบจำลอง ทั้งนี้ $\overline{MR}_{exp,i}$ คำนวณได้จากสมการ

$$\overline{MR}_{exp,i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n MR_{exp,i} \quad (4)$$

Table 1 Mathematical models of drying kinetic

Model Name	Equation
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Modified Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
Two terms	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$
Diffusion approximation	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$
Verma <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$

Source: Inyang *et al.* (2018)

3.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการดูดน้ำกลับ

3.3.1 ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของกุ้งกะต๋อมหลังอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- ความชื้นของกุ้งหลังอบแห้ง วิเคราะห์โดยวิธีอบแห้ง (AOAC, 2000)
- ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี วัดโดยใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี (Novasina รุ่น AW Sprint)
- ค่าสี วัดสีผิวของกุ้งแห้ง ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) สีเขียว-แดง (a^*) และสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) โดยสุ่มตัวอย่างกุ้ง 15 ตัว มาวัดด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab รุ่น Color Quest XE)

3.3.2 ทดสอบการดูดน้ำกลับ (rehydration test) ของผลิตภัณฑ์โดยนำตัวอย่างกุ้งแห้งประมาณ 5 กรัม นำไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) จากนั้นชั่งน้ำหนักกุ้งในช่วงเวลาต่าง ๆ และคำนวณอัตราส่วนการดูดน้ำกลับจากสมการ

$$\text{Rehydration ratio } (R_o) = W_t / W_d \quad (5)$$

เมื่อ W_t คือ น้ำหนักตัวอย่างกุ้งหลังการดูดน้ำกลับ (กรัม) ที่เวลาใดๆ และ W_d คือ น้ำหนักตัวอย่างกุ้งแห้งก่อนดูดน้ำกลับ (กรัม)

3.3.3 นำตัวอย่างกุ้งหลังทดสอบการดูดน้ำกลับ ไปวิเคราะห์ความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตี

3.3.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การอบแห้งกุ้งกะต๋อม

ผลการศึกษาขนาด น้ำหนัก และองค์ประกอบทางเคมีของกุ้งกะต๋อมสด พบว่า มีขนาดยาว 5.5 – 7.0 เซนติเมตร น้ำหนัก 1.0 – 1.7 กรัมต่อตัว ความชื้น 78.59 ± 0.19 % โดยน้ำหนักฐานเปียก (wb) หรือ 290.12 ± 8.65 % โดยน้ำหนักฐานแห้ง (db) และมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.995 ± 0.000 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า เท่ากับ 56.91 ± 0.39 3.72 ± 0.39 และ 27.76 ± 0.89 % (db) ตามลำดับ

ผลการทดลองอบแห้งกุ้งกะต๋อมที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR) กับเวลาในการอบแห้ง (Figure 1) พบว่าช่วงเริ่มต้นปริมาณความชื้นในกุ้งสูง ทำให้มีการถ่ายเทมวลน้ำจากตัวกุ้งไปยังผิวหน้าเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว เมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้น ความชื้นบริเวณผิวและภายในตัวกุ้งจะมีค่าต่ำลง จึงส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำจากตัวกุ้งไปยังผิวหน้าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการอบแห้งปลา silverside (Toujani *et al.*, 2011) และขึ้นปลาแอตแลนติก (Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) (Ortiz *et al.*, 2013) ทั้งนี้อัตราส่วนความชื้นของกุ้งกะต๋อมกับเวลาในการอบแห้งมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล

จากการเปรียบเทียบการอบแห้งกุ้งที่อุณหภูมิร้อนทั้ง 3 ระดับ จากการทดลองพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 42.1 และ 10.5% ตามลำดับ (Figure 1) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมากกว่าทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทมวลของน้ำที่ชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้เร็ว ดังนั้นจึงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

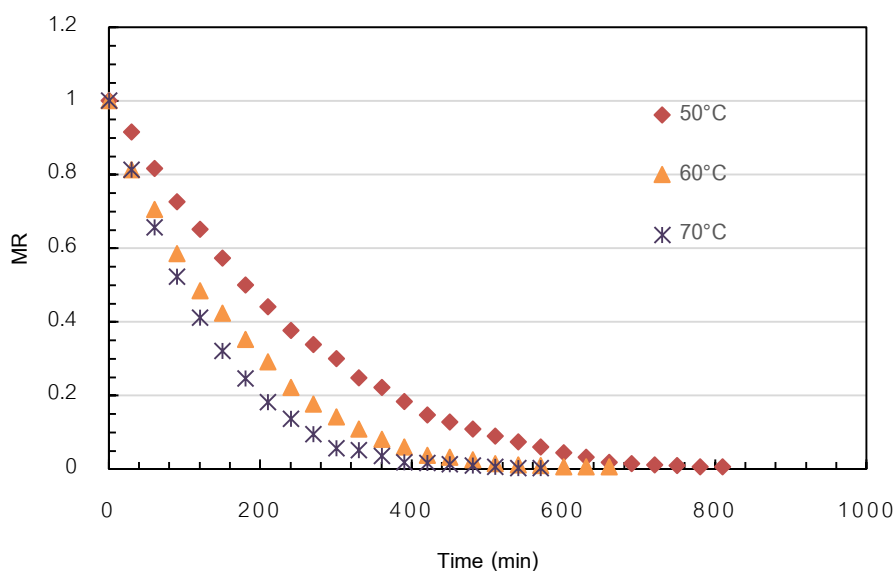


Figure 1 Moisture ratio versus drying time of Dwarf Prawn at different drying temperature

2. จลนพลศาสตร์การอบแห้งกุ้งกะต่อมจากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของกุ้ง (moisture ratio, MR) กับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิตอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะถูกนำมาเขียนกราฟและศึกษาความเข้ากันได้โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ 10 แบบจำลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่าง ๆ ในแบบจำลองที่อุณหภูมิตอบแห้งทั้ง 3 ระดับ แสดงใน Table 2 และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าการลดลงไคสแควร์ (χ^2) เพื่อประเมินแบบจำลองที่เหมาะสมในการอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกุ้งกะต่อม พบว่าแบบจำลอง Midilli *et al.* มีความเหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่า แบบจำลอง Diffusion approximation, Two-term exponential, Logarithmic และ Verma *et al.* สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกุ้งเช่นกัน เนื่องจากมีค่า $R^2 > 0.990$ และมีค่า χ^2 ค่อนข้างต่ำ ซึ่งตัวอย่างกราฟแสดงค่าอัตราส่วนความชื้นของกุ้งอบแห้งที่อุณหภูมิตอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส กับเวลาในการอบแห้งจากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 10 สมการ แสดงดัง Figure 2

3. ผลของอุณหภูมิตอบแห้งต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของกุ้งกะต่อม

คุณภาพทางเคมีและกายภาพของกุ้งแห้งแสดงดัง Table 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกุ้งแห้ง โดยกำหนดให้มีความชื้นไม่เกิน 30% และวอเตอร์แอกทิวิตีไม่เกิน 0.75 (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standard, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2008) ทั้งนี้กุ้งที่อบแห้งอุณหภูมิตอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส มีความชื้นและวอเตอร์

แอมพลิจูดที่น้อยที่สุด ส่วนค่าสี (L^* และ b^*) ของกุ้งแห้งที่อบแห้งอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ซึ่งเป็นผลจากระดับความชื้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของกุ้งที่แตกต่างกัน

Table 2 Values of the parameters of the models for drying dwarf prawn at 50, 60 and 70°C

Models	T (°C)	Parameters of the models							Statistic parameters		
		k	n	a	b	c	k_0	k_1	g	χ^2	R^2
Newton	50	0.0053								0.003550	0.9534
	60	0.0072								0.001677	0.9700
	70	0.0091								0.000865	0.9841
Page	50	0.0007	1.3236							0.000524	0.9919
	60	0.0018	1.2401							0.000615	0.9944
	70	0.0037	1.1616							0.000168	0.9967
Modified Page	50	0.0036	1.4625							0.003530	0.9534
	60	0.0053	1.3481							0.001635	0.9700
	70	0.0073	1.2526							0.000965	0.9841
Henderson and Pabis	50	0.0057		1.1718						0.002940	0.9682
	60	0.0075		1.1086						0.001740	0.9766
	70	0.0095		1.089						0.000877	0.9886
Logarithmic	50	0.0040		1.1012		-0.064				0.000607	0.9940
	60	0.0056		1.0436		-0.0450				0.000227	0.9977
	70	0.0080		1.0383		-0.0206				0.000241	0.9976
Two terms	50			0.5322	0.5322		0.0047	0.0047		0.001269	0.9880
	60			0.5091	0.5091		0.0064	0.0064		0.000630	0.9939
	70			0.5136	0.5136		0.0085	0.0085		0.000370	0.9962
Two-term exponential	50	0.0061		1.7861						0.000398	0.9960
	60	0.0078		1.5924						0.000289	0.9969
	70	0.0104		1.6186						0.000167	0.9985
Diffusion approximation	50	0.0078		-36.816	0.9821					0.000369	0.9964
	60	0.0094		-32.517	0.9864					0.000278	0.9971
	70	0.0126		-17.322	0.9739					0.000139	0.9986
Verma <i>et al.</i>	50	0.0049		1.112					1.6017	0.000931	0.9909
	60	0.0065		1.0385					0.8739	0.000562	0.9942
	70	0.0089		1.0746					1.2646	0.000269	0.9974
Midilli <i>et al.</i>	50	0.0011	1.2418	0.9864	-1.53E-05					0.000345	0.9968
	60	0.0038	1.0869	0.9824	-3.955E-05					0.000234	0.9978
	70	0.0046	1.1163	0.996	-8.64E-06					0.000182	0.9985

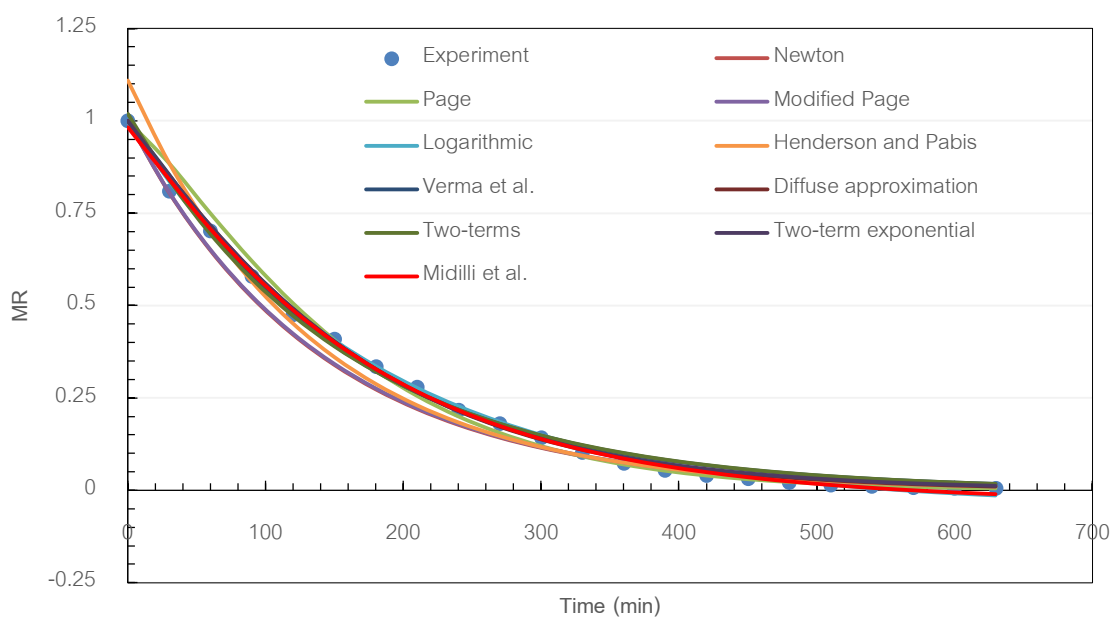


Figure 2 Comparisons of the experimental data and semi-theoretical models for drying dwarf prawn at 60°C

4. ผลการดูดน้ำกลับของกุ้งกะต๋อมแห้ง

ผลการทดสอบการดูดน้ำกลับของกุ้งแห้งทั้ง 3 ทรีทเมนต์ (Figure 3) พบว่า ระยะเวลาที่ทำให้กุ้งมีอัตราการดูดน้ำกลับมากที่สุดใช้เวลาประมาณ 300 นาที (6 ชั่วโมง) ซึ่งหลังทดสอบการดูดน้ำกลับ พบว่า อัตราส่วนการดูดน้ำกลับ ความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของกุ้งทั้ง 3 ทรีทเมนต์ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระดับอุณหภูมิร้อน 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่ได้มีผลให้ลักษณะเนื้อเยื่อของกุ้งแห้งแตกต่างกัน ซึ่งอัตราส่วนการดูดน้ำกลับเป็นตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของอาหารแห้งในด้านการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการอบแห้ง ซึ่งความร้อนในการอบแห้งอาจส่งผลให้การดูดน้ำกลับและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ลดลง เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนจับตัวกัน ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง การใช้อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดความเสียหายน้อยและสามารถดูดน้ำกลับได้เร็วกว่า (Ortiz *et al.*, 2013) (Table 3)

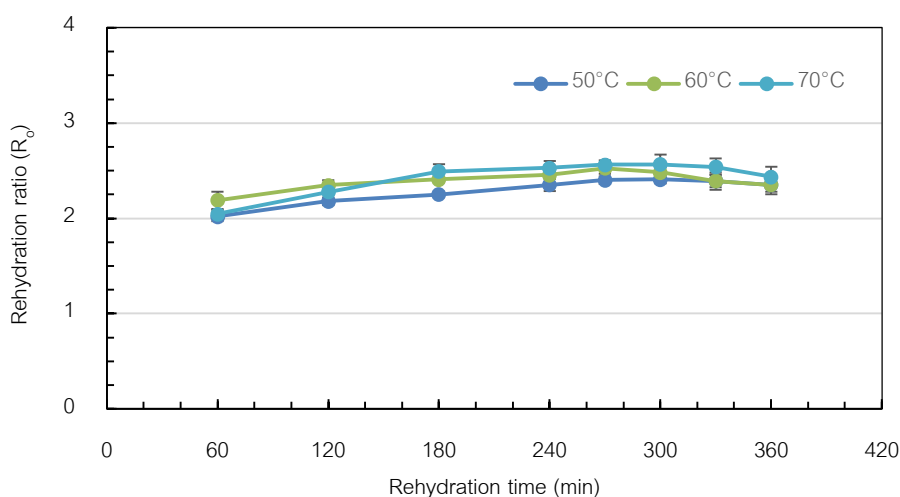


Figure 3 Rehydration ratio (R_0) of dried Dwarf Prawn

Table 3 Chemical and physical quality of dried and rehydrated of dwarf prawn

Quality parameters	Drying Temperature (°C)		
	50	60	70
Dried Sample			
Moisture content (% wb)	10.05±0.07 ^a	9.98±0.14 ^a	7.82±0.20 ^b
Water activity	0.558±0.014 ^a	0.516±0.013 ^b	0.504±0.010 ^b
Colour L*	52.49±1.44 ^b	53.5±2.46 ^{ab}	55.71±3.18 ^a
a*	5.91±0.67 ^a	7.21±1.67 ^a	6.37±1.38 ^a
b*	14.86±1.76 ^b	17.09±2.04 ^a	14.27±2.34 ^b
Rehydrated Sample			
Moisture content (% wb)	69.85±0.29 ^a	69.56±0.22 ^a	68.62±0.48 ^a
Water activity	0.991±0.001 ^a	0.992±0.001 ^a	0.992±0.001 ^a

Means with different superscript letters on the same row differ significantly ($P < 0.05$)

สรุปผลการศึกษา

การอบแห้งกุ้งกะต๋อมโดยแปรอุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมิมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นและใช้เวลาอบแห้งลดลง กราฟลักษณะการอบแห้งกุ้งกะต๋อมพบว่าค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบเอกซโพเนนเชียล ซึ่งแบบจำลองที่อธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งได้เหมาะสมมากที่สุด คือ แบบจำลอง Midilli *et al.* การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งพบว่า มีค่าความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อทดสอบการดูดน้ำกลับของกุ้งแห้งทั้ง 3 ทรีทเมนต์ พบว่าระยะเวลาที่ทำให้กุ้งมีอัตราการดูดน้ำกลับมากที่สุดใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนการดูดน้ำกลับ ความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีของกุ้งหลังดูดน้ำกลับทั้ง 3 ทรีทเมนต์ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง ภาควิชาเทคโนโลยีและการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington VA, U.S.A.
- Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2002. Figures of Thai fish and aquatic animals. 4th ed. Business Organization of the Office of Welfare Promotion Commission for Teachers and Educational Personnel. Bangkok. 323 p. [in Thai]
- Gupta, S., Cox, S. and Abu-Ghannam, N. 2011. Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical constituents of edible Irish brown seaweed. LWT - Food Science and Technology. 44: 1266–1272.
- Inyang, U., Oboh, I. and Etuk, B. 2018. Kinetic models for drying techniques - Food materials. Advances in Chemical Engineering and Science. 8: 27–48.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standard, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2008. Thai agricultural standard TAS 7012-2008 Dried shrimp. Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok. 11 p.
- Ortiz, J., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Puente-Díaz, L., Zura-Bravo, L. and Aubourg, S. 2013. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. Food Chemistry. 139: 162–169.
- Toujani, M., Hassini, L., Azzouz, S. and Belghith, A. 2013. Experimental study and mathematical modeling of silverside fish convective drying. Journal of Food Processing and Preservation. 37: 930–938.