

พฤติกรรมการคายน้ำของปลานิลบดแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ

Desorption behavior of Nile Tilapia fish-sheet at different temperatures

ณัฐพล พลวิบูลย์ (Nathapon Ponviboon)* ดร.ธนกร โรจนกร (Dr.Thanakorn Rojanakorn)**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหากราฟการคายน้ำของปลานิลบดแผ่นที่อุณหภูมิ 25 35 และ 50 องศาเซลเซียส ในช่วงค่ากิจกรรมของน้ำระหว่าง 0.33 ถึง 0.96 โดยใช้วิธีกำหนดให้ค่าความชื้นคงที่ (hygrometric method) จากผลการทดลองพบว่ากราฟการคายน้ำของปลานิลบดแผ่นเป็นแบบที่ 2 จากการจัดแบ่งของ BET และมีลักษณะคล้ายตัวเอส โดยที่ ณ.ความชื้นหนึ่งๆ ค่ากิจกรรมของน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สมการ Modified Oswin เหมาะสมที่สุดกับ ข้อมูลการคายน้ำที่ได้จากการทดลองเพราะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงสุด (0.998) รวมทั้งมี root mean square error (RMSE) และ standard error of estimate (SEE) ต่ำสุดเป็น 2.54% (d.b.) และ 2.75% (d.b.) ตามลำดับ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากปลานิลบดแผ่นซึ่งคำนวณจากสมการ Clausius-Clapeyron ลดลงจาก 358.43 kJ/mol เป็น 61.85 kJ/mol เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 7.52 % (d.b.) เป็น 163/64 % (d.b.)

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the desorption isotherms of the Nile tilapia fish-sheet using hygrometric method at 25, 35 and 50°C over a water activity (a_w) range of 0.33-0.96. It was found that desorption isotherms of the Nile tilapia fish-sheet behaved like a type II on BET classification and had a sigmoid form. At a given moisture content, a_w of the sample increased with increasing temperature. The Modified Oswin gave the best fit to the experimental desorption data because it provided the highest R^2 (0.998) and the lowest Root Mean Square Error (RMSE) and Standard Error of Estimate (SEE) as 2.54% (d.b.) and 2.75% (d.b.), respectively. The total heat of desorption of Nile tilapia fish-sheet calculated by Clausius-Clapeyron equation decreased from 358.43 kJ/mol to 61.85 kJ/mol as moisture content increased from 7.52 % (d.b.) to 163/64 % (d.b.).

คำสำคัญ: ปลานิล ปลานิลบดแผ่น กราฟการคายน้ำ พลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำ

Key Words: Nile tilapia, Fish-sheet, Desorption isotherms, Total heat of desorption

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ และสามารถเพาะเลี้ยงได้ในทุกฤดูกาลและทั่วทุกภาคของประเทศ เป็นปลาที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีโปรตีน 20.08 % ความชื้น 78.08% ไขมัน 1.70 % (กองโภชนาการ, 2530) เนื่องจากปลานิลสดมีความชื้นสูงและมีโปรตีนค่อนข้างสูงจึงทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการแปรรูปปลานิลให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดอายุการเก็บรักษา เนื้อปลาสดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ผลิตจากเนื้อปลาโดยนำเนื้อปลามาผสมกับส่วนผสมบางส่วนประกอบต่างๆ เช่น เกลือ น้ำตาล และพริกไทย เป็นต้น จากนั้นรีดให้เป็นแผ่นบางแล้วนำเข้าอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 14-16% จากนั้นนำมาทอดให้สุกก่อนบริโภค (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545) ในการศึกษาเรื่องกรอบแห้งอาหารซึ่งเป็นการกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหารออกไปโดยอาศัยความร้อนนั้น จำเป็นต้องศึกษาเรื่องกราฟการคายน้ำ (desorption isotherm) ของอาหารด้วย ทั้งนี้เพราะกราฟการคายน้ำเป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ ลดลงจนถึงจุดสมดุลกับสภาวะแวดล้อม (นิธิยา, 2549) ดังนั้นกราฟการคายน้ำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก เพราะสามารถใช้ระบุความชื้นสมดุลของอาหารที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ ได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลด้านกราฟการคายน้ำของผลิตภัณฑ์ปลาสดแผ่นยังมีจำกัดมาก ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงกราฟการคายน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสดแผ่นที่ผลิตจากเนื้อปลานิลสดที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ปลาสดแผ่นต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหากราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ

2. เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายและทำนายกราฟการคายน้ำของผลิตภัณฑ์

3. เพื่อหาพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำ (Total heat of desorption) จากปลานิลสดแผ่น

วิธีการวิจัย

การสร้างกราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่น

นำชิ้นปลานิลแล่มาแยกเอาเฉพาะส่วนเนื้อ จากนั้นนำไปบดละเอียดแล้วบรรจุเนื้อปลาบดละเอียดในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศถุงละ 500 กรัม แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปผลิตเป็นปลาสดแผ่นโดยผสมเนื้อปลาบดร้อยละ 77.2 กับส่วนผสมต่างๆ ซึ่งได้แก่ น้ำตาลทรายร้อยละ 9.27 น้ำสะอาดร้อยละ 7.72 ซีอิ้วขาวร้อยละ 4.63 ซีอิ้วดำร้อยละ 0.93 เกลือร้อยละ 0.31 ยี่ห่วยร้อยละ 0.15 ลูกผักชีร้อยละ 0.15 และพริกไทยป่นร้อยละ 0.15 ให้เข้ากัน ในเครื่องผสม แล้วรีดให้เป็นแผ่นบางหนาประมาณ 1.5 ± 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างไปปรับให้มีความชื้นที่แตกต่างกัน 7 ค่าโดยการอบตัวอย่างปลาสดแผ่นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C แล้วสุ่มตัวอย่างออกมา 7 ช่วงเวลา (Rojanakorn, 2004) นำตัวอย่างที่สุ่มออกมาแต่ละช่วงเวลาซึ่งทราบความชื้นที่แน่นอนไปวัดค่ากิจกรรมของน้ำที่อุณหภูมิ 25 35 และ 50°C ตามลำดับ โดยใช้เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (ยี่ห้อ Novasina รุ่น TH2/RTD33/B5 ประเทศสวีเดน) ตามวิธีที่เสนอแนะโดย Delgado, Sun (2002)

การหาสมการที่เหมาะสมเพื่ออธิบาย กราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่น

โดยการทดสอบ (fitting) ข้อมูลกราฟการคายน้ำที่ได้จากการทดลองกับสมการ 5 สมการซึ่งได้แก่ Mujica (สมการที่ 1) Modified Halsey (สมการที่

2) Modified Henderson (สมการที่ 3) Modified Oswin (สมการที่ 4) และ Modified Chung & Pfoest (สมการที่ 5) โดยใช้ Non-linear regression function ของโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows version 19 สมการทั้ง 5 ถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้เพราะสมการเหล่านี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุล ค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหรือค่ากิจกรรมของน้ำและอุณหภูมิ การพิจารณาความเหมาะสมของสมการกับข้อมูลการทดลองทำได้โดยใช้ค่าสถิติดังนี้คือ Coefficient of determination (r^2) Standard Error of Estimate (SEE) (สมการที่ 6) และ Root Mean Square Error (RMSE) (สมการที่ 7) (Rojanakorn, 2004)

$$M_e = \frac{1}{((C_1T + C_2) - (C_3T + C_4)RH_e)} \quad \text{(Comaposada et al., 2000)(1)}$$

$$M_e = \left[\frac{-\exp(C_1 + C_2T)}{\ln(RH_e)} \right]^{1/C_3} \quad \text{(ASAE, 1988)(2)}$$

$$M_e = \left[\frac{\ln(1 - RH_e)}{-C_1(T + C_2)} \right]^{1/C_3} \quad \text{(ASAE, 1988)(3)}$$

$$M_e = (C_1 + C_2T) \left(\frac{RH_e}{1 - RH_e} \right)^{C_3} \quad \text{(ASAE, 1988)(4)}$$

$$M_e = \frac{1}{-C_3} \ln \left[\frac{(T + C_2) \ln RH_e}{-C_1} \right] \quad \text{(ASAE, 1988)(5)}$$

เมื่อ M_e = ปริมาณความชื้นสมดุล (% d.b.)
 RH_e = ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหรือค่ากิจกรรมของน้ำ
 T = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
 C, C_1, C_2, C_3, k = ค่าพารามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในสมการต่างๆ

$$\text{Standard Error of Estimate : } SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - d_i)^2}{df}} \quad \text{.....(6)}$$

$$\text{Root Mean Square Error : } RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - d_i)^2}{n}} \quad \text{.....(7)}$$

เมื่อ m_i = ค่าที่พยากรณ์หรือทำนายได้จากแบบจำลอง
 d_i = ค่าที่ได้จากการทดลอง
 n = จำนวนข้อมูลหรือจุดที่มีการเปรียบเทียบ
 df = $n - N$
 N = จำนวนพารามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในแต่ละสมการหรือแบบจำลอง

การหาค่าพลังงานสุทธิและ พลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร

ในการหาพลังงานสุทธิที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร (net heat of desorption) ทำได้โดยการประยุกต์ใช้ Clausius-Clapeyron equation (สมการที่ 8) กับข้อมูลกราฟการคายน้ำ (DeIgado, Sun, 2002)

$$\ln a_w = -\frac{q_{st}}{R} \frac{1}{T_K} + C \quad \text{.....(8)}$$

โดยที่ a_w = ค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่าง
 T_k = อุณหภูมิ (K)
 q_{st} = พลังงานสุทธิที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร (net heat of desorption)
 R = ค่าคงที่ของก๊าซ (universal gas constant ; 8.31 k J/mol K)

จากนั้นหาค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร (Total heat of desorption) จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้ (Delgado, Sun, 2002)

$$Q_{st} = q_{st} + H_{vap} \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อ Q_{st} = ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร (total heat of desorption of water ; kJ/mol)

q_{st} = พลังงานสุทธิที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร (net heat of desorption ; kJ/mol)

H_{vap} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (latent heat of vaporization of water ; kJ/mol)

ผลการวิจัย

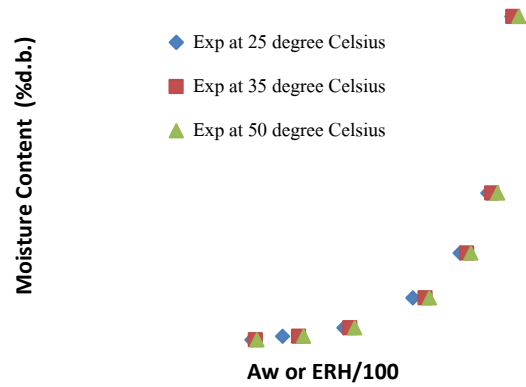
กราฟการคายน้ำของปลานิลบดแผ่น

กราฟการคายน้ำของปลานิลบดแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆแสดงในรูปที่ 1 กราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายตัวเอส (sigmoid) โดยที่ค่ากิจกรรมของน้ำจะสูงขึ้นเมื่อความชื้นสมดุลมีค่าเพิ่มขึ้นและที่ค่าความชื้นเดียวกันจะพบว่าค่ากิจกรรมของน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ในรูปที่ 1 ยังแสดงให้เห็นอีกว่า ณ.ค่ากิจกรรมของน้ำที่ต่ำกว่า 0.5 นั้นค่าความชื้นสมดุลค่อนข้างคงที่ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าน้ำที่อยู่ในอาหารในช่วงนี้เป็นน้ำที่ถูกดูดซับ (adsorb) อย่างเหนียวแน่นกับโครงสร้างแข็ง (solid matrix) ของอาหาร (Mittal, Usborne, 1985) แต่เมื่อค่ากิจกรรมของน้ำสูงกว่า 0.85

นั้นพบว่าค่าความชื้นของกราฟจะสูงขึ้นอย่างเด่นชัด ทั้งนี้เพราะในช่วงนี้น้ำในตัวอย่างอาหารจะเป็นน้ำอิสระ (free water) ที่อยู่ในส่วนที่เป็นรูพรุน (pore) ของอาหาร (Mittal, Usborne, 1985) ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่ากราฟการคายน้ำที่ได้ในการทดลองครั้งนี้จัดว่าเป็นแบบที่ 2 (type II) ตามการจัดแบ่งของ BET (Brunauer et al., 1938) ซึ่งได้อธิบายว่ากราฟลักษณะนี้แสดงให้เห็นถึงการดูดซับ โมเลกุลของน้ำกับโครงสร้างของอาหารอย่างเหนียวแน่นเมื่ออาหารมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำๆ

ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hadrich et al. (2008) ซึ่งได้รายงานว่ากราฟการคายน้ำ (desorption isotherms) ของปลาจารีดินในช่วงอุณหภูมิ 25 35 และ 50 องศาเซลเซียส มีลักษณะคล้ายตัวเอสและเป็นแบบที่ 2 (type II) ตามการจัดแบ่งของ BET นอกจากนี้แล้ว Clemente et al. (2009) พบว่ากราฟการคายน้ำ (desorption isotherms) ของเนื้อสุกรในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส มีลักษณะคล้ายตัวเอสและเป็นแบบที่ 2 (type II) ตามการจัดแบ่งของ BET เช่นกัน Singh et al. (2006) สรุปว่ากราฟการคายน้ำ (desorption isotherms) ของเนื้อแพะดิบในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 50 องศาเซลเซียส ก็มีลักษณะคล้ายตัวเอสและเป็นแบบที่ 2 (type II) เช่นเดียวกัน



รูปที่ 1 กราฟการคายน้ำของปลานิลบดแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 1 ผลของการ fit กราฟการคายน้ำของเนื้อปลาสดแผ่นที่ได้จากการทดลองกับ สมการต่างๆ

Model	Parameter							RSME (%d.b.)	SEE (%d.b.)	R ²	C4	C3	C2	C1
	C4	C3	C2	C1										
Mujica	0.1157	0.0006	0.1143	0.0006	2.6410	0.0006	4.6564	5.1753	0.992	-	-	-	-	-
Mod.Halsey	-	1.0110	-0.0140	1.0110	-0.0140	2.6410	3.9831	4.3023	0.994	-	-	-	-	-
Mod.Henderson	-	-21.4535	546927.61	-21.4535	546927.61	-652.6077	23.9229	25.8396	0.796	-	-	-	-	-
Mod.Oswin	-	0.9020	-0.0917	0.9020	-0.0917	14.0954	2.5474	2.7516	0.998	-	-	-	-	-
Mod. Chung-Pfost	-	0.0217	132.2590	0.0217	132.2590	137.4921	19.5078	21.0708	0.863	-	-	-	-	-

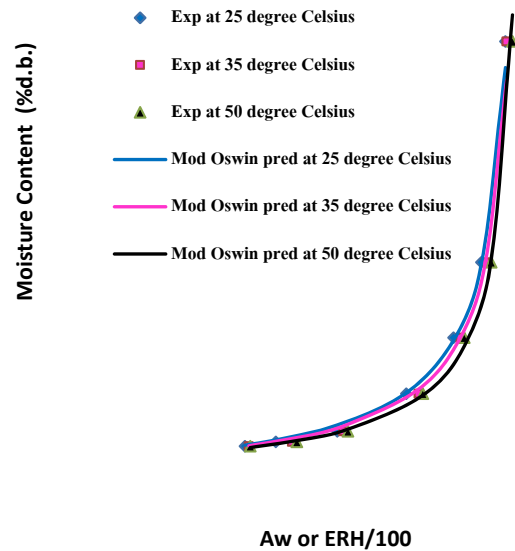
สำหรับผลของการ fit กราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่นที่ได้จากการทดลองกับสมการต่างๆ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในสมการแสดงดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าสมการ Modified Oswin เป็นสมการที่สามารถอธิบายกราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ดีที่สุดทั้งนี้เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) สูงสุด คือ 0.998 และมีค่า RMSE และ SEE ต่ำสุด คือ 2.5474 และ 2.7516 (% d.b.) ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อใช้สมการของ Modified Oswin ทำนายกราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ ก็พบว่าผลที่ได้จากการทำนายมีความ

สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในกราฟรูปที่ 2

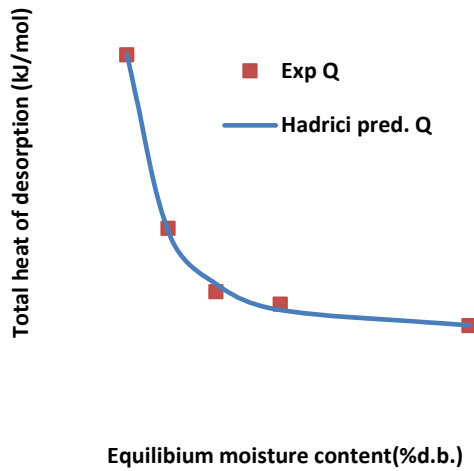
ดังนั้นรูปแบบสมการ Modified Oswin ที่ใช้อธิบายกราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่นในช่วงอุณหภูมิและค่ากิจกรรมของน้ำที่ศึกษาจึงมีรูปแบบดังนี้

$$M_e = (14.0954 - 0.0917 T) \left(\frac{RH_e}{1 - RH_e} \right)^{0.9020} \dots\dots\dots(10)$$



รูปที่ 2 ความสอดคล้องของกราฟการคายน้ำของปลานิลสดแผ่นที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ Modified Oswin ที่อุณหภูมิต่างๆ

สำหรับค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร (Total heat of desorption) ที่แปรตามค่าความชื้นสมดุลของเนื้อปลาสดแผ่นซึ่งประมาณจาก Clausius-Clapeyron equation แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากเนื้ปลานิลบดแผ่น (Total heat of desorption)

จากรูปที่ 3 พบว่าค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากเนื้ปลานิลบดแผ่น (Total heat of desorption) ได้ลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 358.43 kJ/mol เป็น 61.85 kJ/mol เมื่อปริมาณความชื้นสมดุลของตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 7.52 % (d.b.) เป็น 163.64 % (d.b.) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดึงน้ำที่เชื่อมยึดกับโครงสร้างแข็งของอาหารออกไปจะต้องใช้พลังงานมากกว่าการดึงน้ำอิสระออกจากอาหาร Laksasni et al. (2004) กล่าวว่า การที่ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหาร มีค่าสูงเมื่อค่าความชื้นของอาหารมีค่าต่ำนั้นเนื่องจากมี active polar sites อยู่ที่บริเวณผิวของวัสดุอาหารซึ่งเป็นบริเวณ ที่มี น้ำชั้น แรกเกาะอยู่ (monolayer water) นอกจากนี้จากรูปที่ 3 ยังพบอีกว่าที่ค่าความชื้นประมาณ 163.64% (d.b.) ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากอาหารมีค่าประมาณ 61.85 kJ/mol ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอเฉลี่ยของน้ำบริสุทธิ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.436 kJ/mol (Hadrich et al., 2008) ผลงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hadrich et al. (2008) ซึ่งพบว่าค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำ

ออกจากเนื้ปลาซาร์ดีนได้ลดลงจากประมาณ 108 kJ/mol เป็นประมาณ 47 kJ/mol เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 5 % (d.b.) เป็น 20 % (d.b.) นอกจากนี้ Djendoubi et al. (2009) พบว่าค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากเนื้ปลาซาร์ดีนได้ลดลงจากประมาณ 100 kJ/mol เป็นประมาณ 50 kJ/mol เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 4 % (d.b.) เป็น 30 % (d.b.)

จากรูปที่ 3 ยังแสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากเนื้ปลานิลบดแผ่น (Total heat of desorption) ซึ่งแปรตามความชื้นสมดุล สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 11 (Hadrich et al., 2008)

$$Q_{st} = \frac{1}{1 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-3} M_e - 6.5 \times 10^{-7} M_e^2} \quad (R^2=0.998)$$

.....(11)

สรุปผลการวิจัย

กราฟการคายน้ำของปลานิลบดแผ่นที่อุณหภูมิ 25 35 และ 50 องศาเซลเซียส ในช่วงค่ากิจกรรมของน้ำระหว่าง 0.33 ถึง 0.96 เป็นแบบที่ 2 จากการจัดแบ่งของ BET และมีลักษณะคล้ายตัวเอสและสมการ Modified Oswin เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลการคายน้ำที่ได้จากการทดลอง ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการคายน้ำออกจากปลานิลบดแผ่นลดลงเมื่อค่าความชื้นสมดุลเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยบางส่วน

เอกสารอ้างอิง

กองโภชนาการ.กรมอนามัย.ตารางแสดงคุณค่าอาหาร
ไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม.กรุงเทพฯ;
2530.

นิธิชา รัตนาปนนท์. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2549.

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การแปรรูป
ผลิตภัณฑ์จากปลาน้ำจืด. กรุงเทพฯ; 2545.

American Society of Agricultural Engineering.
Standard-88., St. Joseph, MI. ASAE; 1988.

Brunauer S, Emmett PH, Teller E. Adsorption of
gases in multimolecular layers. J Am Soc
1938; 62: 1723-1732.

Clemente G, Bon J, Benedito J, Mulet A. Desorption
isotherms and isosteric heat of desorption of
previously frozen raw pork meat. Meat Sci
2009; 82:413-418.

Comaposada J, Gou P, Pakowski Z, Arnau J.
Desorption isotherms for pork meat at
different NaCl contents and temperatures.
Drying Tech 2000; 18(3): 723-746.

Delgado AE, Sun Da-Wen. Desorption isotherms for
cooked and cured beef and pork. J Food
Eng 2002; 51(1): 163-170.

Djendoubi N, Boudhrioua N, Bonazzi C, Kechaou N.
Drying of sardine muscles: Experimental
and mathematical investigations. Food
Bioprod Process 2009; 87: 115-123.

Hadrich B, Boudhrioua N, Kechaou N. Experimental
and mathematical study of desorption
isotherm of Tunisian Sardine
(*Sardinella aurita*). Food Bioprod Process
2008; 86: 242-247.

Lahsasni S, Kouhila M, Mahrouz M. Adsorption-
desorption isotherms and heat of sorption of
prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*).
Energ Conseerv and Manag 2004; 45:
249-261.

Mittal GS, Usborne WR. Moisture isotherms for
uncooked meat emulsions of different
composition. J Food Sci 1985; 50:
1576-1579.

Rojanakorn T. Desorption isotherms and drying
characteristics of Khun Chiang.[PhD
Thesis in Agricultural Engineering]
Newcastle Upon Tyne :The Graduate
School ,University of Newcastle Upon Tyne
UK; 2004.

Singh RRB, Rao KH, Anjaneyulu ASR, Patil GR.
Water desorption characteristics of raw goat
mea : Effect of temperature. J food Eng
2006; 75:228-36.