



ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเททา

Effect of Drying Temperature on Quality of *Spirogyra* sp.

อาภัสสร ศิริจรรย์วัตร^{1*} สุธิชา พิษสิงห์¹ และ ชาตีสยาม ผลวิไลย์¹

บทคัดย่อ

การศึกษาไอโซเทอร์มของสาหร่ายเททาในช่วงค่าแอกติวิตี 0.2 – 0.8 โดยใช้แบบจำลองในการศึกษา 3 แบบจำลอง คือ แบบจำลอง GAB แบบจำลอง Halsey และแบบจำลอง Oswin แบบจำลอง GAB เป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายไอโซเทอร์มของสาหร่ายเททาได้ดีที่สุด การศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งสาหร่ายเททาด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 50 -70 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปสาหร่ายเททา คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยสาหร่ายเททาแห้งมีลักษณะเนื้อสัมผัส และปริมาณเบต้าแคโรทีนไม่ต่างจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีค่าสีใกล้เคียงกับสาหร่ายเททาสด และมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ABSTRACT

Desorption isotherm of *Spirogyra* sp. was studied at the water activity range of 0.2 - 0.8. The data were fitted to 3 desorption isotherm models which were GAB, Halsey and Oswin models. GAB model was the best model to describe desorption isotherm of *Spirogyra* sp. The temperature of hot air drying process was studied in the range of 50 – 70°C. The result showed drying temperature at 60°C was the suitable condition to process dried *Spirogyra* sp. The texture and β -carotene content of the dried sample at 60°C were not significantly different from the dried sample at 50°C but the drying time at 60°C was shorter. Moreover, the dried sample at 60°C showed the lowest color difference from the fresh sample and had significantly higher β -carotene content than the dried sample at 70°C.

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร 47000

*Corresponding Author, E-mail: csnap@ku.ac.th

คำสำคัญ: สาหร่ายเทา ดีซอร์พชันไอโซเทอร์ม การทำแห้ง สี เบต้าแคโรทีน

Keywords: *Spirogyra* sp., Desorption isotherm, Drying, Color, β -carotene

บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนหันมาให้ความสนใจกับสุขภาพของตัวเองเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ อาหารเสริมสุขภาพชนิดต่าง ๆ จึงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย อาหารเสริมสุขภาพหลายชนิดผลิตขึ้นจากสาหร่าย เช่น จากสาหร่ายสีเขียว คลอเรลลา หรือดูนาไลเอลลา ซึ่งเป็นแหล่งของเบต้าแคโรทีน สาหร่ายเหล่านี้ส่วนใหญ่ผลิตจากสาหร่ายของต่างประเทศ รวมทั้งสาหร่ายแผ่นซึ่งผลิตออกมาในรูปของขนมขบเคี้ยว ก็เป็นสาหร่ายที่ผลิตจากต่างประเทศเช่นกัน

เทา หรือ เต่า เป็นสาหร่ายน้ำจืด พบมากที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในแหล่งน้ำนิ่ง สะอาด มีรูปร่างเป็นเส้นยาวคล้ายผม ไม่มีก้าน มีสีเขียว เมื่อสัมผัสจะเป็นเมือกสีน้ำตาลเนื่องจากมีสารเมือกหุ้มอยู่นอกผนังเซลล์ ชาวบ้านนิยมนำมารับประทาน โดยนำมารับประทานในรูปของเทาสด นำมาทำเป็นลาบเทา หรือยำเทา เนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่าย จุดเด่นของสาหร่ายชนิดนี้อยู่ที่คุณค่าทางโภชนาการ คือ มีโปรตีน แคลเซียม และเบต้าแคโรทีน อยู่สูง (กัญจนนา, 2541; ยิวดี, 2546) มีกรดอะมิโน วิตามิน และแร่ธาตุอีกหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (พงศเทพ, 2545) ดังนั้นหากมีการนำสาหร่ายเทามาแปรรูปโดยมีการศึกษาถึงสภาวะในการแปรรูปที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะที่สามารถเก็บรักษาได้นาน รับประทานได้สะดวก และยังคงคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ไว้ได้ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสาหร่ายเทาซึ่งเป็นพืชพื้นบ้านที่มีอยู่มากในท้องถิ่น

การทำแห้ง เป็นกระบวนการถนอมและแปรรูปอาหาร โดยกำจัดน้ำออกจากอาหาร เพื่อหยุดหรือชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการ

เปลี่ยนแปลงทางเคมี ช่วยลดน้ำหนักและปริมาณของอาหาร มีผลให้ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่งลดลง เป็นการเพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค (วิล, 2547) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาดีซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Desorption isotherm) ของสาหร่ายเทา และผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเทาอบแห้ง

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาดีซอร์พชันไอโซเทอร์มของสาหร่ายเทา

นำสาหร่ายเทาที่เตรียมไว้มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประเมินค่าสังเกตเมื่อสาหร่ายเทามีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.2 - 0.8 โดยนำตัวอย่างสาหร่ายเทามาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Ambient temperature) ด้วยเครื่อง Novasina (AW SPRINT TH500, Novasina, Switzerland)

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ใช้ Nonlinear regression ในการสร้างแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทอร์มจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบจำลองที่ใช้ ได้แก่

แบบจำลอง GAB (Van den Berg, 1985)

$$M = \frac{M_0 C a_w}{[(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)]}$$

แบบจำลอง Halsey (Halsey, 1948)

$$M = \left(\frac{-k}{\ln a_w} \right)^{\frac{1}{n}}$$

แบบจำลอง Oswin (Oswin, 1946)

$$M = k \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)^n$$

เมื่อ C, K, k, n คือ ค่าคงที่ของแบบจำลอง

M_0 คือ Monolayer moisture content (g/g dry solids)

M คือ ปริมาณความชื้นสมดุล (g/g dry solids)

a_w คือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (M_m - M_p)^2}{df}}$$

เมื่อ m คือ จำนวนข้อมูล

M_m คือ ปริมาณความชื้นจากการทดลอง

M_p คือ ปริมาณความชื้นจากการทำนาย

2. การศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเทอบแห้ง

ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำสาหร่ายเทามาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด บีบน้ำออกจากสาหร่ายเทาชั่งน้ำหนักสาหร่ายเทาค้างละ 400 กรัม บดด้วยเครื่องปั่นผสม 40 วินาที ซังสาหร่ายเทที่ผ่านการบดแล้วใส่ถาด (ถาดขนาด 9x19 ซม.²) ถาดละ 44 กรัม นำถาดเข้าอบในเครื่องทำแห้งความเร็วลม 0.23 เมตร/วินาที ตามอุณหภูมิที่กำหนด (50 60 และ 70 องศาเซลเซียส) ทำแห้งจนกระทั่งสาหร่ายเทามีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ประมาณ 0.2 (คำนวณปริมาณความชื้นได้จากแบบจำลองดิซอร์พชั่นไอโซเทอร์มที่สร้างได้จากการทดลองที่ 1) นำสาหร่ายเทออกจากเครื่องทำแห้ง และเก็บสาหร่ายเทอบแห้ง

ในถุงพลาสติกป้องกันความชื้น และบรรจุในกล่องพลาสติกป้องกันความชื้นและแสง

วัดระยะเวลาในการทำแห้ง ปริมาณความชื้น ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าสีและปริมาณเบต้าแคโรทีน ของสาหร่ายเท โดยมีวิธีการในการวิเคราะห์ ดังนี้

ปริมาณความชื้น วัดปริมาณความชื้นของสาหร่ายเทสดและสาหร่ายเทที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยวิธีอบตรงที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (AOAC., 2005)

ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของสาหร่ายเทที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA.XT.Plus, Stable Micro Systems, UK) โดยใช้หัววัดชนิด Spherical Probe P/2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. Load cell 25 กก. ใช้ความเร็วของหัววัดระหว่างการทดสอบ (Test Speed) 2 มม./วินาที เพื่อวัดค่าแรงสูงสุดที่กดผ่านตัวอย่าง

ค่าสี วัดค่าสีของสาหร่ายเทสดและสาหร่ายเทที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab (Miniscan XE plus, Hunter Associates Laboratory, USA) ใช้การวัดสีในระบบ CIE Lab เพื่อวัดค่า $L^* a^* b^*$

ปริมาณเบต้าแคโรทีน วัดปริมาณเบต้าแคโรทีนของสาหร่ายเทสดและสาหร่ายเทที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี (Cyanotech Corporation, 2008)

การวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาดิซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS ด้วยการใช้ Nonlinear regression ในการสร้างแบบจำลองดิซอร์พชั่นไอโซเทอร์มจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard error of

estimate, SEE) เป็นค่าตรวจสอบการศึกษาสภาวะในการทำแห้ง วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

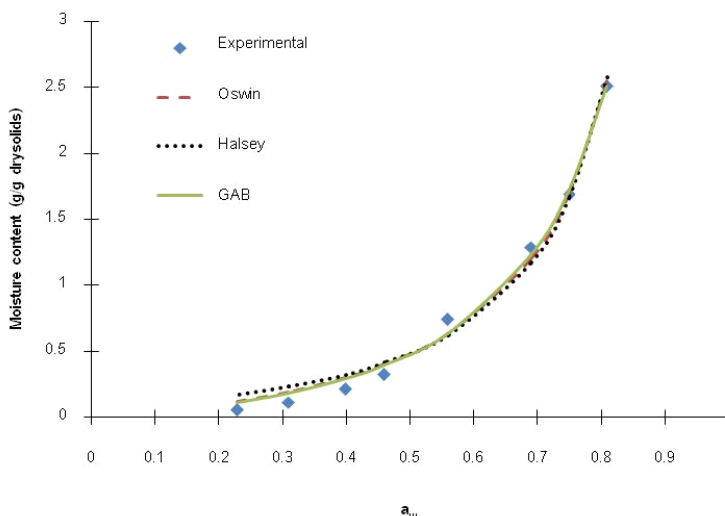
1. การศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม

อาหารแต่ละชนิดจะมีดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มต่างกัน แต่โดยทั่วไปจะเป็นรูปซิกมอยด์ (Sigmoid) (Shafiur, 1995) ซึ่งดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายทะเลที่ได้จากการศึกษาก็อยู่ในรูปซิกมอยด์ แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ แบบจำลอง Guggenheim-Andersen-de Boer (GAB), แบบจำลอง Halsey และ

แบบจำลอง Oswin ซึ่งเป็นแบบจำลองทางทฤษฎีแบบจำลองแบบกึ่งทฤษฎี และแบบจำลองที่ได้จากการทดลอง ตามลำดับ แบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองนี้มีนักวิจัยหลายท่านเลือกมาใช้อธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของอาหารหลากหลายชนิด (อาภัสสร และคณะ, 2548; Prothon and Ahrne, 2004; Arslan and Togrul, 2005; Samapundo et al., 2007; Iguedjal et al., 2008) ค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายทะเลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 และกราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายทะเลเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง GAB, Halsey และ Oswin แสดงดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายทะเล

Model	Constant					SEE (d.b.)	R ²
	k	n	M ₀	C	K		
GAB	-	-	12.418	0.03	0.854	0.073	0.994
Halsey	0.411	0.707	-	-	-	0.111	0.985
Oswin	0.476	1.156	-	-	-	0.082	0.992



รูปที่ 1 กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายทะเลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง

จากตารางที่ 1 แสดงค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายทะเล เมื่อพิจารณาที่

ค่า SEE และ R² พบว่าแบบจำลอง GAB มีค่า SEE ต่ำที่สุดและมีค่า R² สูงที่สุดคือมีค่า SEE (d.b.) 0.073

และ R^2 0.994 ดังนั้นแบบจำลอง GAB จึงเป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของสาหร่ายเตาได้ดีที่สุดในช่วง A_w 0.2 – 0.8 แบบจำลอง GAB เป็นแบบจำลองที่มีการนำมาใช้อธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของอาหารหลากหลายชนิด (Panchariya et al., 2001; Park et al., 2002; McMinn and Magee, 2003; Kaymak-Ertekin and Gedik, 2004; Prothon and Ahne, 2004; Samapundo et al., 2007; Iquedjal et al., 2008) และมีนักวิจัยหลายท่านรายงานว่าแบบจำลอง GAB เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของอาหาร โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ในช่วงของค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่มีค่าสูงถึง 0.9 (Tsami et al., 1999; Timmermann et al., 2001)

แบบจำลอง GAB สำหรับสาหร่ายเตาสามารถแสดงได้ดังนี้

$$M = \frac{0.372a_w}{(1 - 0.854a_w)(1 - 0.828a_w)}$$

จากแบบจำลองดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มที่ได้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีของสาหร่ายเตา และสามารถใช้แบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการทำแห้งสาหร่ายเตา โดยปกติค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.60 ก็สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้แต่ยังอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี (Fellows, 2000) ในการศึกษานี้จะทำแห้งสาหร่ายเตาจนกระทั่งมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีประมาณ 0.2 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สาหร่ายเตาอบแห้งที่มีความกรอบ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และ

ชะลอการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา, 2545)

2. การศึกษาสภาวะในการทำแห้ง

การศึกษาการทำแห้งสาหร่ายเตาโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำนายปริมาณความชื้นสุดท้ายของสาหร่ายเตาอบแห้งที่ต้องการโดยใช้แบบจำลอง GAB เพื่อให้สาหร่ายเตาอบแห้งมีความคงตัวในการเก็บรักษา โดยกำหนดให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่ต้องการ คือ 0.2 ดังนั้นปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ คือ ร้อยละ 10.75 (มาตรฐานแห้ง) หรือร้อยละ 9.71 (มาตรฐานเปียก) ปริมาณความชื้นของสาหร่ายเตาอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ แสดงดังตารางที่ 2

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเพื่อให้สาหร่ายเตามีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 9 (มาตรฐานเปียก) แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในการทำแห้งลดลงตามอุณหภูมิในการทำแห้งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนในการทำแห้งส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นอาหารและตัวกลางในการทำแห้งมีมากขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราเร็วในการทำแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น

ลักษณะเนื้อสัมผัส การศึกษาการทำแห้งสาหร่ายเตาโดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสาหร่ายเตามีความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกัน คือประมาณ 9 %w.b. จากนั้นนำสาหร่ายเตาอบแห้งจากทั้ง 3 อุณหภูมิมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้นและระยะเวลาในการทำแห้งสาหร่ายทะเล

Temperature (°C)	Moisture (%w.b.)	Time (min.)
50	8.88±0.29	460
60	7.79±0.23	300
70	7.74±0.56	240

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย±SD

ตารางที่ 3 ค่าแรงเจาะทะลุของสาหร่ายทะเลอบแห้ง

Temperature (°C)	Force ^{ns} (N)
50	1.14±0.04
60	0.96±0.08
70	1.14±0.19

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$); ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย±SD

ตารางที่ 4 ค่าสีของสาหร่ายทะเลอบแห้ง

Temperature (°C)	L*	a*	b* ^{ns}
50	22.40±0.40 ^{ab}	-0.19±0.11 ^a	1.25±0.37
60	22.57±0.10 ^{ab}	-0.51±0.01 ^b	1.92±0.16
70	23.15±0.68 ^a	0.09±0.33 ^a	2.05±0.46
Fresh	21.66±0.53 ^b	-0.55±0.03 ^b	1.75±0.18

หมายเหตุ: ^{a, b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$); ^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$); ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย±SD

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่มีผลต่อค่าแรงเจาะทะลุ ($p>0.05$) โดยสาหร่ายทะเลที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าแรงอยู่ในช่วง 0.96 – 1.14 นิวตัน เนื่องจากการศึกษานี้ได้กำหนดความชื้นสุดท้ายของสาหร่ายทะเลอบแห้งให้มีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณร้อยละ 9 (มาตรฐานเปียก) ดังนั้นสาหร่ายทะเลอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งจากทั้ง 3 อุณหภูมิจึงมีค่าแรงเจาะทะลุไม่แตกต่างกัน

ค่าสี การศึกษาสมบัติทางกายภาพของสาหร่ายทะเล โดยการวัดค่าสีของสาหร่ายทะเลซึ่งผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 4 โดยค่า L* คือ ค่าความสว่าง a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน

จากตารางที่ 4 พบว่าสาหร่ายทะเลซึ่งผ่านการทำแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน ค่า a* ของสาหร่ายทะเลสดมีค่าติดลบ คือ มีสีอยู่ในโทนสีเขียว การทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียสยังส่งผลให้ค่า a* ของสาหร่ายทะเลมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายทะเลสด แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากโทนสีเขียวไปอยู่ในโทนสีแดงมากขึ้น การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสส่งผลให้ค่า a* ไม่แตกต่างจากสาหร่ายทะเลสด ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลืองของสาหร่ายทะเลทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

สาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้ง คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) ซึ่งในระหว่างการทำ

แห้งค่าออกเตอร์แอกติวิตี้ในสาหร่ายเทายังมีค่าสูง ดังนั้น ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงสามารถเกิดขึ้นได้ และอาจเกิดจากปฏิกิริยาฟีโอโฟติไนเซชัน (Pheophytinization) คือ แมกนีเซียมไอออนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอโฟติน (Pheophytin) และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวมะกอกปนน้ำตาล (Olive-brown) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อน (นิริยา, 2545)

โดยปกติอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีขึ้น ดังนั้นสาหร่ายเทาซึ่งผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจึงมีการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด และสาหร่ายเทาซึ่งผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสน่าจะมีความเป็นสีแดงมากกว่าสาหร่ายเทาซึ่งผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม สาหร่ายเทาซึ่งผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มความเป็นสีเขียวและมีสีใกล้เคียงกับสาหร่ายเทาสดมากกว่าสาหร่ายเทาซึ่งผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำให้แห้งนานกว่าที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาถึง 160 นาที จึงมีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยานานกว่า ดังนั้นจึงมีค่าความเป็นสีแดงมากกว่าการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมในการทำให้แห้งสาหร่ายเทาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด

การเปลี่ยนแปลงสีของอาหารในระหว่างการทำแห้งนอกจากขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำให้แห้งแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น เช่น ระยะเวลาในการทำให้แห้ง ขนาดของตัวอย่าง ชนิดและองค์ประกอบของตัวอย่าง Demir et al. (2004) ได้ศึกษาการทำแห้งใบลอเรล

(Laurel, Bay leaf) ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรมีใบสีเขียวและมีกลิ่นหอม โดยใช้อุณหภูมิลมร้อน 40 – 60 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าการใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ใบลอเรลมีค่าความแตกต่างของสีรวมไม่แตกต่างกับการใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และยังลดระยะเวลาในการทำแห้งลงได้ถึง 4 เท่า Desmorieux and Decaen (2005) ศึกษาการทำแห้งสาหร่ายเกลียวทองโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส ได้เสนอว่าการใช้อุณหภูมิเกิน 60 องศาเซลเซียส จะเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ Therdthai and Zhou (2009) พบว่าการทำให้แห้งใบมินท์โดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีผลต่อค่าสี (L^* , a^* , b^* , ΔE^*) ของใบมินท์ไม่แตกต่างกัน โดยใบมินท์อบแห้งมีสีเขียวปนน้ำตาล อารักษ์สรและคณะ (2557) พบว่าการทำให้แห้งเกสรบัวโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีผลต่อค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเกสรบัวไม่แตกต่างกัน โดยทำให้เกสรบัวมีค่าความสว่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเกสรบัวสด

ปริมาณเบต้าแคโรทีน การวัดปริมาณเบต้าแคโรทีนของสาหร่ายเทา ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 5 ปริมาณเบต้าแคโรทีน มีความสำคัญเนื่องจากเป็นสารต้านออกซิเดชัน และสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้

จากการทดลองพบว่า สาหร่ายเทาอบแห้งมีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงร้อยละ 38.42 – 47.98 เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายเทาสด อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้แห้งมีผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนที่คงเหลืออยู่ในสาหร่ายเทาอบแห้ง ($p \leq 0.05$) โดยการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้สาหร่ายเทาอบแห้งมีปริมาณเบต้าแคโรทีนคงเหลืออยู่มากที่สุดและไม่แตกต่างจากการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเบต้าแคโรทีนไม่คงตัวต่ออากาศ แสง และ

ความร้อน การสลายตัวของเบต้าแคโรทีนอาจเกิดขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยา ไอโซเมโรเซชัน (นิธิยา, 2545) ซึ่งในระหว่าง กระบวนการทำแห้งสำหรับยาสูบต้องสัมผัสกับอากาศ

แสง และความร้อน ดังนั้นจึงสามารถเกิดการสูญเสียได้ ในระหว่างกระบวนการทำแห้ง

ตารางที่ 5 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของสำหรับยาสูบ (มิลลิกรัม ในตัวอย่าง 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

Temperature (°C)	β -carotene (mg/100 g d.b.)
50	9.89±0.31 ^{bc}
60	10.89±0.38 ^b
70	9.20±0.42 ^c
Fresh	17.69±0.69 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b,c} ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย±SD

Karabulut et al. (2007) พบว่า การทำแห้ง แอปพลิเคชันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (50 องศาเซลเซียส) ทำให้ตัวอย่างเกิดการสูญเสียเบต้าแคโรทีนสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง (80 องศาเซลเซียส) โดยให้เหตุผลว่าการใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ใช้เวลานานในการทำแห้งจึงเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเกิดออกซิเดชันทำให้เกิดการสูญเสียเบต้าแคโรทีนมาก โดยการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้ง 55 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้งเพียง 13.75 ชั่วโมง

สรุปผลการวิจัย

แบบจำลอง GAB เป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายดีซอร์พชันไอโซเทอร์มของสำหรับยาสูบได้ดีที่สุดในช่วงค่าพารามิเตอร์แอกติวิตี้ 0.2 – 0.8 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสำหรับยาสูบ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยสำหรับยาสูบแห้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณเบต้าแคโรทีนไม่ต่างจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีค่าสีใกล้เคียงกับสำหรับยาสูบสด และมี

ปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- กัญญา ตวีเศษ, บรรณาธิการ. (2541). ผักพื้นบ้านภาคอีสาน. กรุงเทพฯ: สถาบันการแพทย์แผนไทย กระทรวงสาธารณสุข.
- นิธิยา รัตนพนธ์. (2545). เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พงศ์เทพ อันตะริกานนท์. (2545). การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสำหรับยาสูบและดอกดาวเรือง. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2546). สำหรับยาสูบ. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิไล รังสาดทอง. (2547). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- อาภัสสร ศิริจริยวัตร, สิงหนาท พวงจันทร์แดง และ บวรศักดิ์ ธีรนาถนันท. (2548). ดีซอร์พชันไอโซเทอร์มและแบบจำลองการทำแห้งของตะไคร้โดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 5(1): 59-69.
- อาภัสสร ศิริจริยวัตร, ัญญานันท์ วีรียาภักคันธ์ และภักจรีรา รูปคม. (2557). ผลของสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพซากเกสรบัว. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24, สงขลา. 1048-1055.
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 18th ed. Maryland: Association of Official Analytical Chemists.
- Arslan, N. and Togrul, H. (2005). Moisture sorption isotherms for crushed chillies. Biosystems Engineering 90(1): 47-61.
- Cyanotech Corporation. (2008). Analysis of beta-carotene and total carotenoids from spirulina (Spectrophotometric method). Spirulina Pacifica technical bulletin #003b. Available source: <http://www.cyanotech.com/pdfs/spirulina/spbul3.pdf>, April 3, 2008.
- Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. and Degirmencioglu, A. (2004). Mathematical modeling and determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. Biosystems Engineering 88(3): 325-335.
- Desmoriexu, H. and Nadege, D. (2005). Convective drying of spirulina in thin layer. Journal of Food Engineering 66: 497-503.
- Fellow, P. (2000). Food processing technology principles and practice. 2nd ed. Abington: Woodhead Publishing Limited.
- Halsey, G. (1948). Physical adsorption on non-uniform surfaces. Journal of Chemistry and Physics 16: 931-937.
- Iguedjal, T., Louka, N. and Allaf, K. (2008). Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression. Journal of Food Engineering 85: 180-190.
- Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A., Turan, S. and Ozturk, B. (2007). Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.). Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 40: 753-758.
- Kaymak-Ertekin, F. and Gedik, A. (2004). Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 37: 429-438.
- McMinn, W.A.M. and Magee, T.R.A. (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. Journal of Food Engineering 60: 157-165.
- Oswin, C.R. (1946). The kinetics of package life III: The isotherm. Journal of Chemical Industry 65:419-423.
- Panchariya, P.C., Popovic, D. and Sharma, A.L. (2001). Modeling of desorption isotherm of black tea. Drying Technology 19(6): 1177-1188.
- Park, K.J., Vohnikova, Z. and Brod, F.P.R. (2002). Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). Journal of Food Engineering 51: 193-199.
- Prothon, F. and Ahme, L.M. (2004). Application of the Guggenheim, Anderson and De Boer model to correlate water activity and moisture content during osmotic dehydration of apples. Journal of Food Engineering 61: 467-470.
- Samapundo, S., Devlieghere, F., De Meulenaer, B., Atukwase, A., Lamboni, Y. and Debevere, J.M. (2007). Sorption isotherms and isosteric

- heats of sorption of whole yellow dent corn. *Journal of Food Engineering* 79: 168-175.
- Shafiur, R. (1995). *Food properties handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Therdthai, N. and Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering* 91: 482-489.
- Timmermann, E.O., Chirife, J. and Iglesias, H.A. (2001). Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters. *Journal of Food Engineering* 48: 19-31.
- Tsami, E., Krokida, M.K. and Drouzas, A.E. (1999). Effect of drying method on the sorption characteristics of model fruit powders. *Journal of Food Engineering* 38: 381-392.
- Van den Berg, C. (1985). Development of B.E.T. like models for sorption of water of foods; theory and relevance, *In* Simatos, D. and Multon, J.L., Eds. *Properties of water in foods*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.

