ผลของสภาวะการอบแห้งต่อปริมาณสารให้กลิ่นในเห็ดหอม

กิตติ แซ่โง้ว [1] ยุทธนา เกติพันธ์ [1] วรวรรณ สุทธิธนาเลิศ [1]
ทิพาพร อยู่วิทยา [2] และ นภาพร รัตนสมบูรณ์ [3]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพ ฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่นในเห็ดหอม (Lenthionine) ที่สภาวะการอบแห้งแบบไม่คงที่เปรียบเทียบกับสภาวะการอบแห้งคงที่ โดยมีค่าปัจจัยร่วมคือ ความชื้นและอุณหภูมิในเห็ดหอม

จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสาร Lenthionine ในระหว่างการอบแห้งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับทุกสภาวะการทดลอง ทั้งการอบแห้งคงที่ (70 °ซ 9 ชั่วโมง) และการอบแห้งแบบไม่คงที่ (40 °ซ 6 ชั่วโมง ตามด้วย 60 °ซ 6 ชั่วโมง และ การอบแห้งแบบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช่วงละ 3 ชั่วโมง 20 นาที โดยเพิ่มอุณหภูมิช่วงละ 10 °ซ จาก 40 °ซ ไปจนถึง 70 °ซ อบแห้งโดยใช้เวลาทั้งหมด 13 ชั่วโมง 20 นาที) ได้ปริมาณสาร Lenthionine สูงสุดในแต่ละสภาวะการอบแห้ง ที่เวลาอบแห้ง 9, 6 และ 11.67 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยได้ค่าความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 13% มาตรฐานแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ นภาพร รัตนสมบูรณ์ สามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณสาร Lenthionine ได้ดีสำหรับการอบแห้งเห็ดหอมที่อุณหภูมิคงที่เท่านั้น เนื่องจากไม่สามารถคำนวณหาค่า Critical time ของสภาวะการอบแห้งแบบไม่คงที่ สมการนี้จะสามารถใช้ในการทำนายได้เมื่อนำค่า Critical time จากผลการทดลองมาใช้โดยตรง นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Exponential ทำนายความชื้นและอุณหภูมิภายในเห็ดหอมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : เห็ดหอม / เลนธิโอนิน / การอบแห้ง / แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

[1] *นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี*

[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร*

[3] *อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร*

Effect of Drying Condition on Shiitake Mushroom Flavor

Kitti Saengow [1] Yutana Katipun [1] Worawan Suttithanalert [1]
Tipaporn Yoovidhya [2] and Naphaporn Rattanasomboon [3]
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

The aim of this work was to study the occurrence of Lenthionine of Shiitake mushroom at chosen drying conditions with the influence of two different parameters: moisture and temperature of the mushroom.

The results showed that the exponential models used for predicting of moisture and temperature fit reasonably well with the experimental data. The similar pattern of the changes in Lenthionine content was found in all conditions used i.e. 70 °C for 9 h; 40 °C for 6 h and changed to 60 °C for 6 h; 10 °C step change from 40 °C to 70 °C (3 h 20 min time interval) for total of 13 h 20 min. The maximum amount of Lenthionine for each condition was at 9, 6 and 11.67 h, respectively, with less than 13% moisture content (db) of products. Semi-empirical of exponential model developed by Rattanasomboon gave the good prediction for Lenthionine amount only at constant drying temperature. Critical time, a significant parameter, could not be calculated when the drying temperatures were changed during the process. This subsequently resulted in unpredictable Lenthionine content. However, this model could predict the intensity of mushroom flavor when critical times were obtained from the experimental data.

Keywords : Shiitake Mushroom / Lenthionine / Drying / Mathematical Model

[1] *Undergraduate Student, Department of Chemical Engineering.*

[2] *Assistant Professor, Department of Food Engineering.*

[3] *Lecturer, Department of Food Engineering.*

1. บทนำ

เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) หรือ Shiitake mushroom เป็นที่นิยมบริโภคอย่างมากในแถบเอเชีย โดยทั่วไปนิยมบริโภคในรูปของเห็ดหอมแห้งเนื่องจากสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานาน นอกจากนี้ ยังมีกลิ่นหอม รสชาติดี และคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย ซึ่งสารให้กลิ่นในเห็ดหอมคือ Lenthionine [2] เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น Lenthinic acid ในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งสารนี้มีมากที่บริเวณหมวกดอก โดยการทำงานของเอนไซม์ภายในตัวเห็ดหอม [3][4]

ได้มีรายงานว่า การผลิตเห็ดหอมเพื่อให้ได้คุณภาพดีนั้น ควรอบแห้งเห็ดหอมที่อุณหภูมิไม่คงที่ [5]-[7] โดยเริ่มจากที่อุณหภูมิ 35-40 °ซ ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิตลอดการอบแห้งไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 60-70 °ซ จึงได้ เห็ดหอมแห้งที่มีกลิ่นหอมและรสชาติดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้เป็นการทดสอบคุณลักษณะของเห็ดหอมที่ได้โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่านั้น ในงานวิจัยขั้นต่อมาได้มีการวิเคราะห์คุณภาพของเห็ดหอมโดยการใช้ปริมาณสาร Lenthionine เป็นตัวกำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์ [1][8] พบว่า การอบแห้งเห็ดหอมที่อุณหภูมิคงที่ ที่ 70 °ซ เป็นเวลา 9 ชั่วโมง [1] ตรวจพบปริมาณสาร Lenthionine มากกว่า การใช้สภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และอบต่อที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง [8] อย่างไรก็ตามยังไม่มีการรายงานปริมาณสาร Lenthionine ที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้งที่อุณภูมิไม่คงที่ โดยการเพิ่มความถี่ในการปรับอุณหภูมิตลอดช่วงการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร Lenthionine ที่สภาวะการอบแห้งแบบเปลี่ยนอุณภูมิเป็นช่วงๆ เพื่อให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดหอม เพื่อให้ได้ปริมาณกลิ่นสูงสุด เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงกระบวนการอบแห้งในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์และวัตถุดิบ

1. เครื่องอบแห้งชนิดถาด (Tray dryer)

2. เครื่องวัดความเร็วลมแบบขดลวดร้อน (Hot wire anemometer) ยี่ห้อ Kanomax รุ่น 26-111 วัดได้ในช่วง 0-50 เมตร/วินาที ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 0-80 °ซ ความละเอียดของเครื่องมือ ±5 เปอร์เซ็นต์

3. เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Yokogawa รุ่น HR 1300 ใช้บันทึกและแสดงค่าอุณหภูมิที่ได้จากการใช้เทอร์โมคัปเปิล สามารถอ่านค่าได้ละเอียด ±0.1 °ซ

4. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec) ยี่ห้อ Tecator System HT6, Extraction unit รุ่น HI 1043, Service unit รุ่น HI 1046 และ Sample mill รุ่น HI 1093

5. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gas chromatograph) ประเภท FID (Flame ionization detectors) ยี่ห้อ Shimudzu model 94 และ Integrator ยี่ห้อ Shimudzu model CR-34 ใช้วิเคราะห์

ปริมาณสารที่อยู่ในรูปสารละลาย คอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นคอลัมน์แก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 มม. ความยาว 1.6 เมตร บรรจุด้วย 3% ของ OV-17 บน Chromosorb WAW/DCMS 80/100 mesh บรรจุโดยบริษัทพาราวินเซอร์ จำกัด

6. สาร Lenthionine มาตรฐาน (1,2,3,5,6-Pentathiepene)

7. เห็ดหอมสด จากปากคลองตลาด กรุงเทพ ฯ

วิธีการทดลอง

คัดขนาดของหมวกดอกเห็ดหอมให้อยู่ในช่วง 4-6 ซม. นำเรียงในถาดอบแห้ง โดยเสียบเทอร์โมคัปเปิลที่กลางหมวกดอกเห็ดหอม บันทึกอุณหภูมิตลอดการอบแห้ง เก็บตัวอย่างเป็นช่วงเวลา แล้วนำตัวอย่างมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ความชื้น โดยการอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และอีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ปริมาณสาร Lenthionine ตามวิธีของ นภาพร [1]

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการทดลองอบแห้งเห็ดหอมสดที่สภาวะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสาร Lenthionine ที่เกิดขึ้น สภาวะที่เลือกใช้คือ

1. อบที่อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

2. อบที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และอบต่อที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3. อบที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °ซ ช่วงละ 3 ชั่วโมง 20 นาที รวมเวลาอบแห้งทั้งหมด 13 ชั่วโมง 20 นาที

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อยืนยันผล

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในเห็ดหอม

จากการนำเห็ดหอมสดซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 525-790 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง มาทำการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิช่วง 40-70 °ซ ความเร็วลม 2.57 เมตร/วินาที และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า 60-80 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งเห็ดหอมจนได้ความชื้นสุดท้าย 13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ตามมาตรฐานโคเด็กซ์ พบว่า ความชื้นของเห็ดหอมแปรผกผันกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ทุกสภาวะการทดลอง (รูปที่ 1) จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการอบแห้ง และลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งความชื้นเริ่มคงที่ จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1][8] พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Exponential เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมและสามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณความชื้นของเห็ดหอมในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

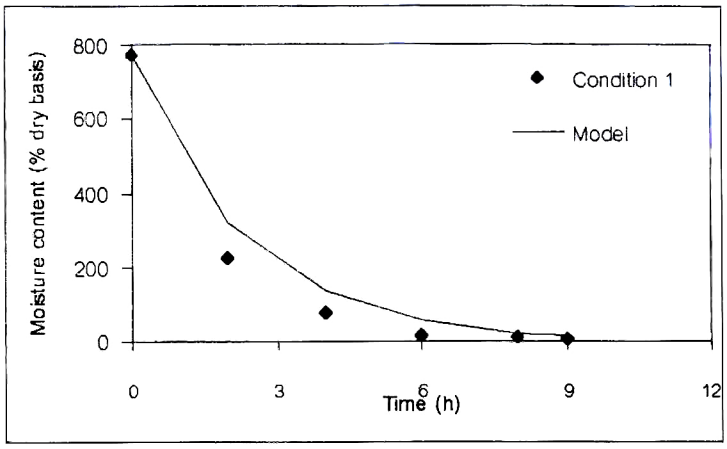
$$M = M_0 \exp(-ct) \qquad (1)$$

ซึ่ง M = ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ, มาตรฐานแห้ง

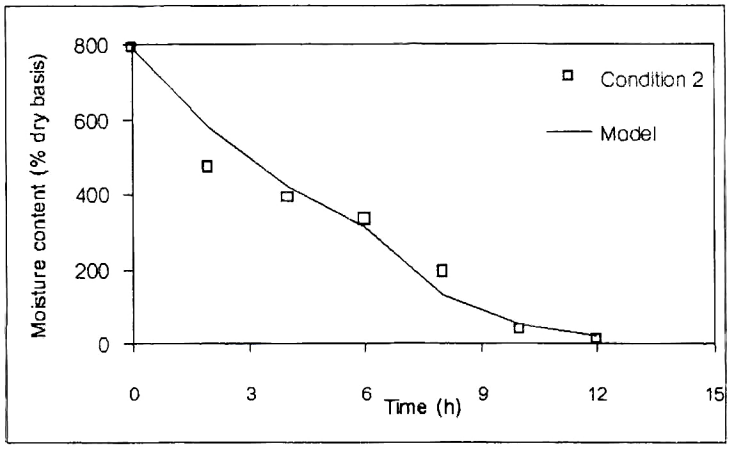
M_0 = ปริมาณความชื้นที่เวลาเริ่มต้น, มาตรฐานแห้ง

c = ค่าคงที่ของการอบแห้ง

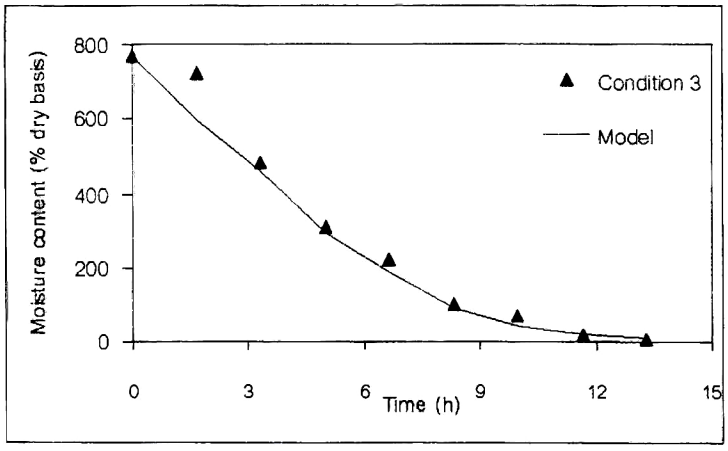
t = เวลา, ชั่วโมง



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอบแห้งที่สภาวะ: (a) 70 °ซ 9 ชั่วโมง, (b) 40 °ซ 6 ชั่วโมง และ 60 °ซ 9 ชั่วโมง และ (c) 40-50-60-70 °ซ 13 ชั่วโมง 20 นาที

ตารางที่ 1 แสดงค่าคงที่ของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °ซ อ้างอิงจาก นภาพร [1]

อุณหภูมิอบแห้ง (°ซ)	ค่าคงที่ (c)
40	0.1564
50	0.2689
60	0.4371
70	0.4397

สำหรับการทดลองนี้ ได้นำค่าคงที่จากงานวิจัยของ นภาพร [1] ดังแสดงค่าในตารางที่ 1 มาใช้ในการทำนาย ปรากฏว่าสามารถใช้ค่าคงที่เหล่านี้ในการทำนายปริมาณความชื้นในเห็ดหอม สำหรับทุกๆ สภาวะการทดลอง ($R^2 > 0.85$) (รูปที่ 1)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเห็ดหอมระหว่างการอบแห้ง

นภาพร [1] ได้เสนอการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเห็ดหอมว่า เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นแบบ Exponential และมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (T_D, °C) และเวลา (t, h) ดังนี้

$$T = (T_D - T_0)\exp(-0.2574t) \quad (2)$$

จากการคำนวณพบว่า สมการนี้สามารถใช้ทำนายอุณหภูมิภายในเห็ดหอมได้แม่นยำหลังจากการอบแห้งผ่านไป 4 ชั่วโมง สำหรับสภาวะในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นเวลา 9 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามสมการนี้ไม่สามารถนำมาใช้ในการทำนายอุณหภูมิภายในเห็ดหอม สำหรับสภาวะการอบแห้งไม่คงที่ (40 °ซ 6 ชั่วโมงและ 60 °ซ 6 ชั่วโมง และ อบแห้งที่ 40, 50, 60 และ 70 °ซ ช่วงละ 3 ชั่วโมง 20 นาที) เนื่องจากสมการนี้สร้างขึ้นจากข้อมูลการอบแห้งที่สภาวะคงที่ และอุณหภูมิเริ่มต้นภายในเห็ดหอมค่อนข้างต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลอง ทั้งนี้การอบแห้งแบบอุณหภูมิไม่คงที่ อุณหภูมิเริ่มต้นของเห็ดหอมที่แต่ละช่วงของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้สมการนี้ทำนายได้ข้อมูลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงรูปแบบของสมการดังแสดงในสมการที่ 3

$$T = T_D - (T_D - T_0)\exp(-A - Bt) \quad (3)$$

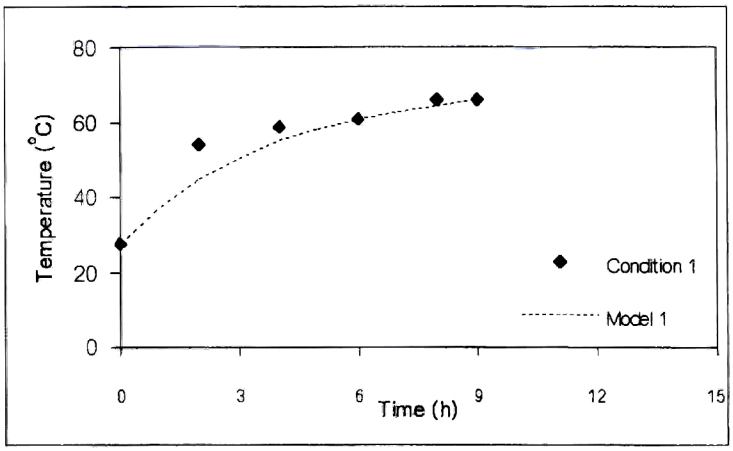
ตารางที่ 2 แสดงค่าคงที่ A และ B ของการอบแห้งที่อุณหภูมิที่สภาวะต่างๆ

สภาวะการอบแห้ง	อุณหภูมิ (°ซ)	ค่า A	ค่า B
อบแห้งที่ 40°ซ 6 ชั่วโมง และ 60 °ซ 6 ชั่วโมง	40	0.1545	0.0604
	60	0.2755	0.0727
อบแห้งที่ 40-50-60-70°ซ ช่วงละ 3 ชั่วโมง 20 นาที	40	0.0805	0.0770
	50	0.1152	0.1094
	60	0.1145	0.1413
	70	0.1537	0.1146

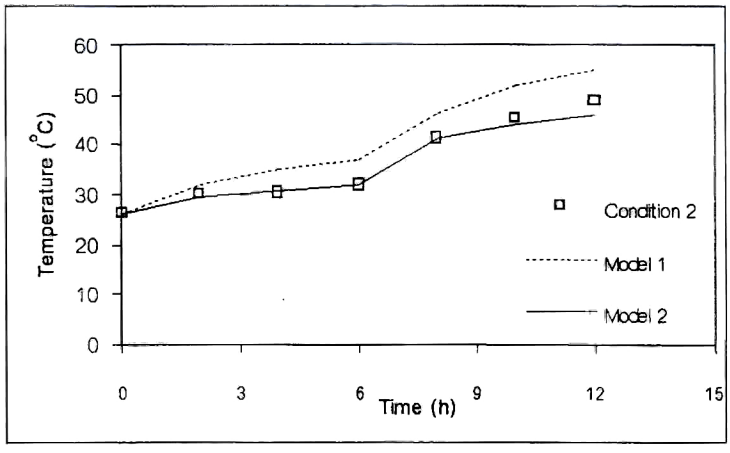
ค่าคงที่ A และ B ได้จากการใส่ ln ในสมการที่ 3 จะได้

$$\ln [(T_D - T)/(T_D - T_0)] = -A - Bt \quad (4)$$

นำข้อมูลอุณหภูมิภายในเห็ดหอมกับเวลาที่ได้จากการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ มาแทนค่าในสมการ โดยจุดตัดแกน y คือค่า A และความชันของกราฟคือค่า B ดังแสดงค่าเหล่านี้ในตารางที่ 2 ซึ่งสมการนี้ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าสมการของนภาพร [1] ค่าคงที่ A เป็นค่าที่ใช้ในการปรับแก้การคำนวณอุณหภูมิภายในเห็ดหอมทุกครั้งที่มีการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งให้สูงขึ้น โดย R^2 สำหรับสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °ซ 6 ชั่วโมงและ 60 °ซ 6 ชั่วโมง เท่ากับ 0.75 และ ค่า R^2 เท่ากับ 0.85 ที่สภาวะอบแห้งที่ 40, 50, 60 และ 70 °ซ ช่วงละ 3 ชั่วโมง 20 นาที อย่างไรก็ตามจุดด้อยของสมการนี้คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของเห็ดหอมจะสูงกว่าค่าจริงเนื่องจากผลของค่า A ดังนั้นจึงกำหนดให้ ค่า A เท่ากับ 0 ณ เวลาเริ่มต้นของการอบแห้ง ผลของการทำนายเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2

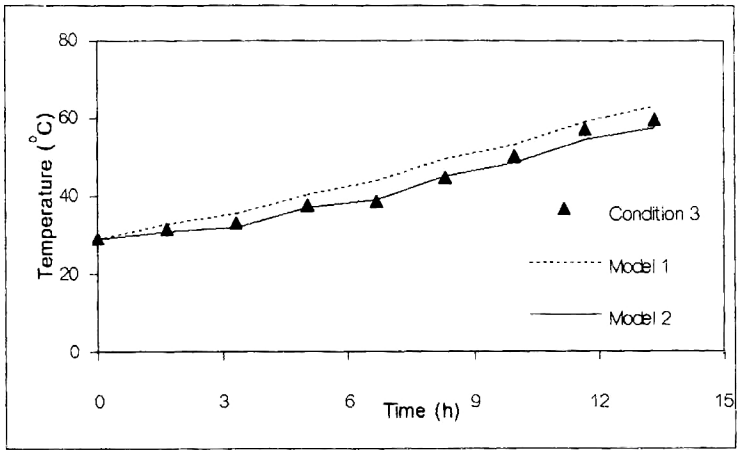


(a)



(b)

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเห็ดหอม (°ซ) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอบแห้งที่สภาวะ: (a) 70 °ซ 9 ชั่วโมง, (b) 40 °ซ 6 ชั่วโมง และ 60 °ซ 9 ชั่วโมง และ (c) 40-50-60-70 °ซ 13 ชั่วโมง 20 นาที



(c)

รูปที่ 2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเห็ดหอม (°ซ) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอบแห้งที่สภาวะ: (a) 70 °ซ 9 ชั่วโมง, (b) 40 °ซ 6 ชั่วโมง และ 60 °ซ 9 ชั่วโมง และ (c) 40-50-60-70 °ซ 13 ชั่วโมง 20 นาที

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร Lenthionine ในเห็ดหอม

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1][8] ได้มีการรายงานว่า ความชื้นของเห็ดหอม อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลกระทบต่อปริมารสารให้กลิ่น (Lenthionine) โดยตรง นอกจากนี้ ปริมาณสาร Lenthionine ยังมีการเปลี่ยนแปลงตลอดการอบแห้ง [1] และลักษณะการเปลี่ยนแปลงจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาจะดำเนินได้ช้ากว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง

ผลการทดลองพบว่า ที่ทุกๆ สภาวะการทดลอง ปริมาณสาร Lenthionine มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 3) โดยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารนี้ช้าๆ อย่างต่อเนื่องในช่วงต้นของการอบแห้ง แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงกลางของการอบแห้งจะพบว่า ปริมาณสาร Lenthionine เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าสูงสุดเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ จากนั้นจึงลดลงสู่ระดับปกติอีกครั้ง ผลการทดลองที่ได้เป็นไปในลักษณะเดียวกับงานวิจัยของนภาพร [1] ทั้งจากการอบแห้งที่สภาวะคงที่และไม่คงที่ ปฏิกิริยาการเกิดสารให้กลิ่นในเห็ดหอมจึงน่าจะเป็นไปตามปฏิกิริยาที่ นภาพร [1] ได้เสนอไว้ คือ ปฏิกิริยาที่ 1 เกิดการสร้างสาร Lenthionine และสารอื่นไปพร้อมทั้งการเปลี่ยนแปลงสาร Lenthionine ไปเป็นสารอื่น โดยปฏิกิริยาที่ 1 จะดำเนินจนกระทั่งถึง t_c (Critical time) จากนั้นจะเข้าสู่ปฏิกิริยาที่ 2 กลไกการสร้างสารอื่นถูกทำลายไป ปรากฏการสร้างสาร Lenthionine เพียงอย่างเดียว ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของสาร Lenthionine อย่างชัดเจน หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในเห็ดหอมสูงขึ้น สาร Lenthionine ไม่สามารถคงตัวอยู่ได้และเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่น สมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณการเปลี่ยนแปลงสาร Lenthionine ในระหว่างการอบแห้งอธิบายโดย นภาพร [1] ณ สภาวะการอบแห้งคงที่ มีดังต่อไปนี้

สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร Lenthionine เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่ 1

$$X_{BC} = X_{B0}\exp(-k_2 t) + [k_1/(k_2-kt)][\exp(-k_t t) - \exp(-k_2 t)] \quad (5)$$

ณ จุดเปลี่ยนปฏิกิริยาที่ 1 สู่ปฏิกิริยาที่ 2

$$t_C = 31.39 - 0.34\ T_D \quad (6)$$

สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร Lenthionine เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่ 2

$$X_B = X_{BC}\exp(-k_4(t-t_C))+[\exp(-k_t t_C)][k_3/(k_4-k_3)][\exp(-k_3(t-t_C)-\exp(-k_4(t-t_C))] \quad (7)$$

โดย X_{B0} = สัดส่วนโดยมวลของปริมาณสาร Lenthionine เริ่มต้นต่อปริมาณสารตั้งต้น

X_{BC} = สัดส่วนโดยมวลของปริมาณสาร Lenthionine ที่เวลา t_C ต่อปริมาณสารตั้งต้น

X_B = สัดส่วนโดยมวลของปริมาณสาร Lenthionine ในปฏิกิริยาที่ 2

k = ค่าคงที่และมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในเห็ดหอม (T, °C) เป็นไปตามสมการอารีเนียส และมีค่าดังต่อไปนี้ [1]

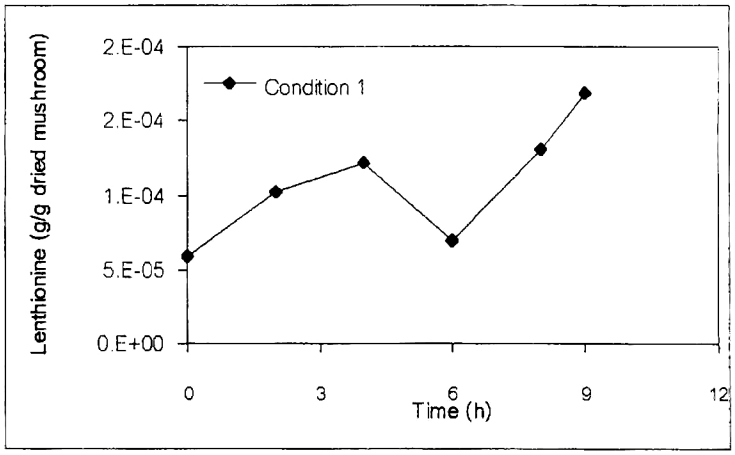
k_1 = 0.189 exp (-104.679/T)

k_2 = 2.226 exp (-105.110/T)

k_t = 1.630 exp (-192.678/T)

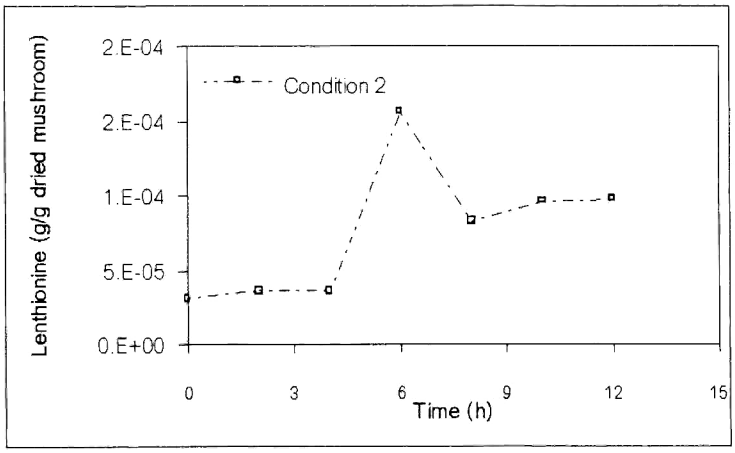
k_3 = 1.610 exp (-109.096/T)

k_4 = 0.1.463 exp (-40.871/T)

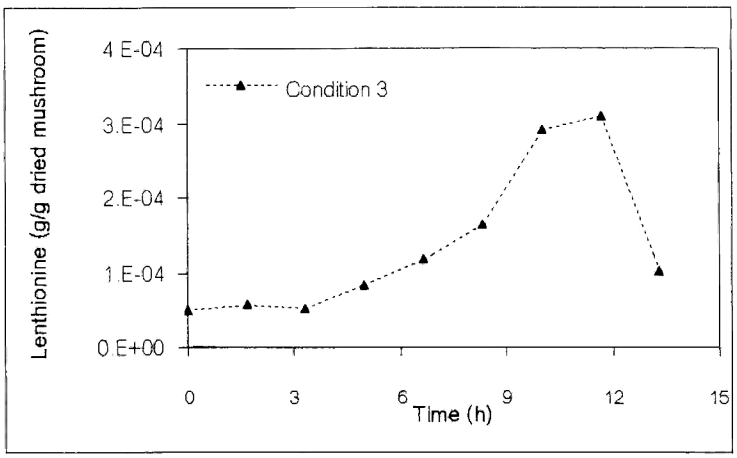


(a)

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณสาร Lenthionine (กรัม/กรัมเห็ดแห้ง) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยอบแห้งที่สภาวะ: (a) 70 °ซ 9 ชั่วโมง, (b) 40 °ซ 6 ชั่วโมง และ 60 °ซ 9 ชั่วโมง และ (c) 40-50-60-70 °ซ 13 ชั่วโมง 20 นาที



(b)

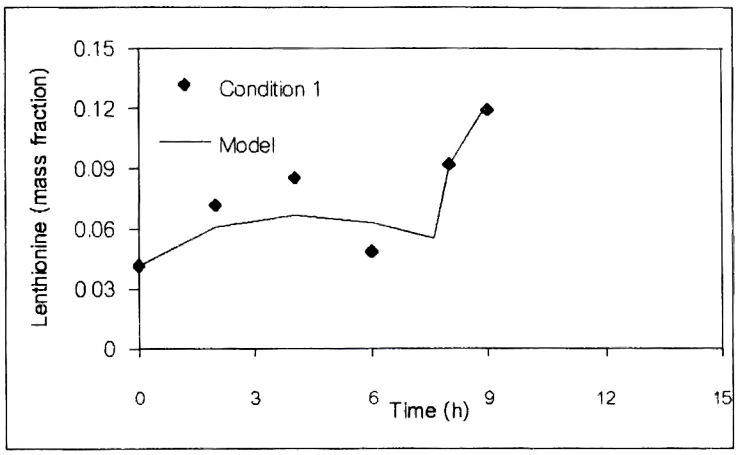


(c)

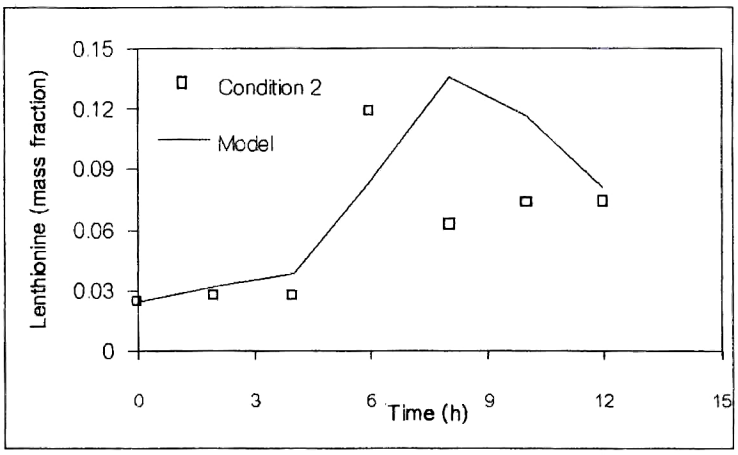
รูปที่ 3 (ต่อ) ความสัมพันธ์ของปริมาณสาร Lenthionine (กรัม/กรัมเห็ดแห้ง) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอบแห้งที่สภาวะ: (a) 70 °ซ 9 ชั่วโมง, (b) 40 °ซ 6 ชั่วโมง และ 60 °ซ 9 ชั่วโมง และ (c) 40-50-60-70 °ซ 13 ชั่วโมง 20 นาที

เนื่องจากการอบแห้งแบบสภาวะที่อุณหภูมิไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการอบแห้ง จึงไม่สามารถหาค่า t_c จากสมการที่ 6 ได้ ดังนั้นจึงได้ประมาณค่า t_c จากกราฟ โดย T_c เท่ากับ 4 ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมงและอบต่อที่ 60 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และ ค่า T_c เท่ากับ 8 ชั่วโมง 20 นาที สำหรับการอบแห้งแบบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช่วงละ 10 °ซ จาก 40 °ซ ไปจนถึง 70 °ซ จากนั้นแทนค่า T_c ลงในสมการที่ 7 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสาร Lenthionine ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนาย ดังแสดงในรูปที่ 4

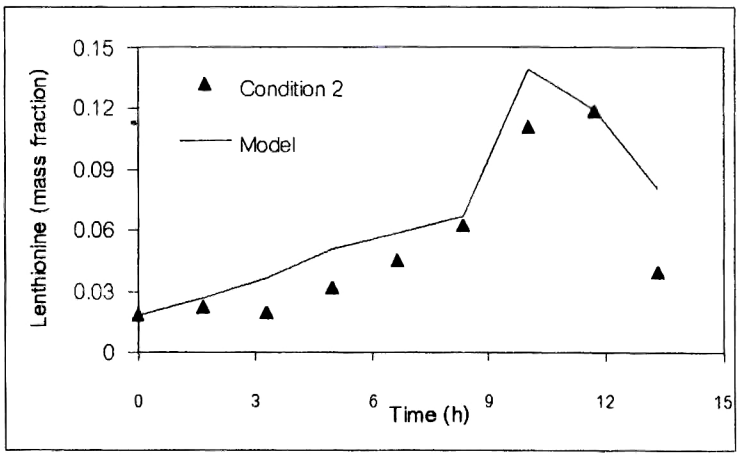
เพื่อให้การเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละสภาวะอบแห้งให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น จึงแสดงผลของปริมาณสาร Lenthionine ในรูปสัดส่วนโดยมวล (ปริมาณสาร Lenthionine/ ปริมาณสารตั้งต้น) โดยปริมาณสาร Lenthionine 1 โมล เปลี่ยนแปลงมาจากสารตั้งต้น (Lentinic acid) 3.3 โมล และสมมติให้ปริมาณสาร Lenthionine สูงสุดที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละการทดลองเปลี่ยนแปลงมาจากสารตั้งต้นทั้งหมด [1]



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของปริมาณสาร Lenthionine (mass fraction) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอบแห้งที่สภาวะ: (a) 70 °ซ 9 ชั่วโมง, (b) 40 °ซ 6 ชั่วโมง และ 60 °ซ 9 ชั่วโมง และ (c) 40-50-60-70 °ซ 13 ชั่วโมง 20 นาที

4. สรุป

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในเห็ดหอมพบว่า ความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นแปรผกผันกับเวลาในการอบแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Exponential สามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าความชื้นได้อย่างถูกต้อง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเห็ดหอมสามารถทำนายได้โดยการใช้สมการแบบ Exponential เช่นเดียวกัน ดังได้แสดงในสมการที่ 3 ทั้งนี้ได้มีการปรับปรุงรูปสมการของนภาพร [1] เพื่อให้สามารถทำนายได้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่นในเห็ดหอม (Lenthionine) ที่สภาวะการอบแห้งแบบคงที่และไม่คงที่นั้นพบว่า แนวโน้มการเกิดของสารนี้ในระหว่างการอบแห้งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเป็นไปตามการอธิบายปฏิกิริยาของนภาพร [1] ที่ทุกๆ สภาวะการทดลอง นอกจากนี้ได้มีการทดลองนำสมการที่มีผู้เสนอไว้ก่อนหน้านี้ [1] มาทำนายปริมาณสาร Lenthionine พบว่าสมการนี้สามารถใช้ได้ดีกับข้อมูลที่มาจากการอบแห้งเห็ดหอมที่สภาวะคงที่เท่านั้น การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ค่า Critical time ที่ได้มาจากการคำนวณไม่ถูกต้อง แต่หลังจากที่ได้ทดลองนำค่า Critical time ที่ได้จากการทดลองมาใช้ ยังคงสามารถใช้สมการนี้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงสาร Lenthionine

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องอบแห้ง ศ.ดร.ยอดหทัย เทพธรานนท์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ รศ.ดร.สุทธพรรณ ตรีรัตน์ หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิจัยเห็ด จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐาน Lenthionine

เอกสารอ้างอิง

1. นภาพร รัตนสมบูรณ์, 2537, *การหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดหอม*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-70.

2. Morita, K. and Kobayashi, S., 1966, "Isolation and Synthesis of Lenthionine and Odorous Substance of Shiitake and Edible Mushroom," *Tetrahetron Letters*, Vol. 7, pp. 573-577.

3. Yasumoto, K., Iwami, K., and Mitsuda, H., 1971, "A New Sulfur Containing Peptide from *Lentinus edodes* Acting As Precursor for Lenthionine," *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 35, pp. 2059-2069.

4. Yasumoto, K. and Mitsuda, H. 1971, "Enzyme-catalyzed Evolution of Lenthionine from Lenthinic Acid," *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 35, pp. 2072-2080.

5. บรรณ บูรณะชนบท, 2535, *เห็ดหอม*, พิมพ์ครั้งที่ 2, ม.ป.ท., หน้า 1-103.

6. พิมพ์กานต์ อร่ามพงษ์พันธ์ และ อุทัย จันผกา, 2528, เห็ดหอม : *Lentinus edodes* (Berk.) Sing., *วนสาร 43*, หน้า 9-12.

7. พรพรรณ สังขวดี, 2531, *การอบแห้งเห็ดหอม (Lentinus edodes) และข้อมูลพื้นฐานทางด้านซอพชันไอโซเทอม*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-173.

8. เจริญขวัญ วนะบดีมิตร, 2536, *การอบแห้งเห็ดหอม: ผลของการอบแห้งต่อสารให้กลิ่น (Lenthionine)*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-85.