

## การอบแห้งเห็ดหอม : ผลของการอบแห้งต่อสารให้กลิ่น (Lenthionine)

เจริญขวัญ วนะบดีนิมิตร<sup>1</sup>, ศักรินทร์ ภูมิรัตน์<sup>2</sup>,  
ทิพาพร อยู่วิทยา<sup>3</sup>, และ นภาพร รัตนสมบูรณ์<sup>4</sup>  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอัตราการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ และศึกษาผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของเห็ดหอมแห้งโดยพิจารณาถึงคุณภาพทางด้านกลิ่นและรสของเห็ดหอมซึ่งสารที่ใช้กำหนดคุณภาพคือสาร Lenthionine จากการศึกษาอัตราการอบแห้งพบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง และสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Exponential ทำนายได้เป็นอย่างดี

การวิเคราะห์ปริมาณสาร Lenthionine ทำโดยการนำเห็ดหอมไปต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปสกัดด้วยวิธี Soxhlet และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟ พบว่าปริมาณสาร Lenthionine ที่หาได้สำหรับเห็ดหอมสดมีค่าเฉลี่ย  $2.7 \times 10^{-5}$  กรัม/กรัมเห็ดแห้ง และเห็ดหอมแห้งมีค่าอยู่ในช่วง  $3.84 - 8.92 \times 10^{-5}$  กรัม/กรัมเห็ดแห้ง แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งมีผลทำให้ปริมาณสาร Lenthionine มากขึ้นสำหรับผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นและเวลาในการอบแห้งนานขึ้น ระดับปริมาณของสาร Lenthionine มีแนวโน้มลดลง ส่วนกรณีของการอบแห้งแบบอุณหภูมิไม่คงที่ คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนเป็น 60 องศาเซลเซียส อบต่ออีกเป็นเวลา 6 ชั่วโมง วิธีนี้สามารถพัฒนาคุณภาพทางด้านกลิ่นได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิคงที่

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

<sup>4</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

## Drying of Shiitake Mushroom : Effect of Drying on Lenthionine Content

Charoenkwan Vanabordeenimit<sup>1</sup>, Sakarindr Bhumiratana<sup>2</sup>,  
Tipaporn Yoovidhya<sup>3</sup> and Naphaporn Rattanasomboon<sup>4</sup>

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi

---

### Abstract

The objective of this research was to study the drying rate and the effect of drying on the quality with consideration on lenthionine; the specific flavor of shiitake mushroom. The result indicated that the rate of drying was significantly affected by temperature and the experimental model used for prediction the drying rate fit reasonable well with the experimental data. For the analysis of lenthionine, the method was modified as follows, :- dried shiitake mushroom was left in distilled water at 60°C for 30 min. and then extracted with hexanes using soxhlet method. The quantity of lenthionine in the extracted solvent was determined by gas chromatography. The amount of lenthionine found in fresh and dried shiitake mushroom were  $2.78 \times 10^{-5}$  and  $3.84-8.92 \times 10^{-5}$  g/g db. mushroom, respectively. This indicated that the drying process affected the quantity of lenthionine. The result of drying at various conditions showed that the quantity of lenthionine decreased with the increase in the temperature and time. For the step change in temperature during drying process, 40°C for 6 hours and then 60°C for another 6 hours, the amount of mushroom flavor was higher than that was developed by the constant drying condition.

---

<sup>1</sup> Graduate Student, Department of Food Engineering

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of **Food Engineering**

<sup>3</sup> **Assistant Professor, Department of Food Engineering**

<sup>4</sup> **Lecturer**, Department **of Food Engineering**

## บทนำ

เห็ดหอมเป็นเห็ดที่มีราคาแพง นิยมรับประทานมากในแถบประเทศญี่ปุ่น จีน และประเทศในเอเชียตะวันออก มักบริโภคในรูปของเห็ดหอมแห้งเนื่องจากสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานานและมีกลิ่นหอมมากกว่าเห็ดหอมสด มีผู้ศึกษาทางด้านเห็ดหอมหลายท่านแสดงว่าขั้นตอนการอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารให้กลิ่นในเห็ดหอม Morita และ Kobayashi [1] ได้สกัดกลิ่นของเห็ดหอมแห้ง โดยแช่เห็ดหอมในน้ำเป็นเวลานาน และใช้ Methylene Chloride สกัดแล้ววิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟ และให้ชื่อสารให้กลิ่นนั้นว่า Lenthionine (1,2,3,5,6-Pentathiepane) นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์สารนี้ จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Fomaldehyde กับ Sodium Polysulfide หรือ Methylene Chloride กับ Sodium Polysulfide ต่อมา Ito และคณะ [2] พบว่าในการสกัดสาร Lenthionine หากใช้ n-Hexanes ให้ผลดีกว่าการใช้ Methylene Chloride Yasumoto และคณะ [3, 4] ได้ค้นพบและแยกสารประกอบซัลเฟอร์จากเห็ดหอมสด ชื่อ Lentinic Acid และคาดว่าเป็นสารตั้งต้น ในการเกิดสาร Lenthionine โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี

การทำแห้งเห็ดหอมสามารถทำได้โดยการตากแดดและการใช้เครื่องอบแห้ง สำหรับการตากแดดจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลเก็บเกี่ยว ถ้าแดดดีจะใช้เวลา 2-3 วัน สำหรับการใช้เครื่องอบแห้ง ควรเริ่มจากที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งเห็ดหอมทางการค้า จะใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 30 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 1-2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง จนถึง 50 องศาเซลเซียส และในช่วงสุดท้ายด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มกลิ่นรสและความเป็นมันที่ผิว (flavor and luster) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ควรมีความชื้นประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ [5] บรรณ บวรณะชนบท [6] กล่าวว่าควรอบแห้งเห็ดหอมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสก่อน แล้วจึงค่อยปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ไม่ควรปรับอุณหภูมิให้สูงเกิน 50 องศาเซลเซียส ในระยะ 3-4 ชั่วโมงแรก ต้องมีการกลีบดอกเพื่อรักษารูปทรง ในช่วงสุดท้ายของการอบแห้งควรเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อรักษากลิ่นและสีของเห็ดหอมแห้ง พรพรรณ สังขวัต [7] ได้อบแห้งเห็ดหอมในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของอุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพียงพอต่อการผลิตเห็ดหอมแห้ง แต่เมื่อทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยคะแนนการยอมรับรวมมีแนวโน้มตามสีของครีบทะหนักความแห้งและกลิ่น พบว่าเห็ดหอมที่อบ 24 ชั่วโมงได้คะแนนสูงกว่าเห็ดหอมแห้งที่อบ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิใด ๆ ในช่วงของการทดลองนี้

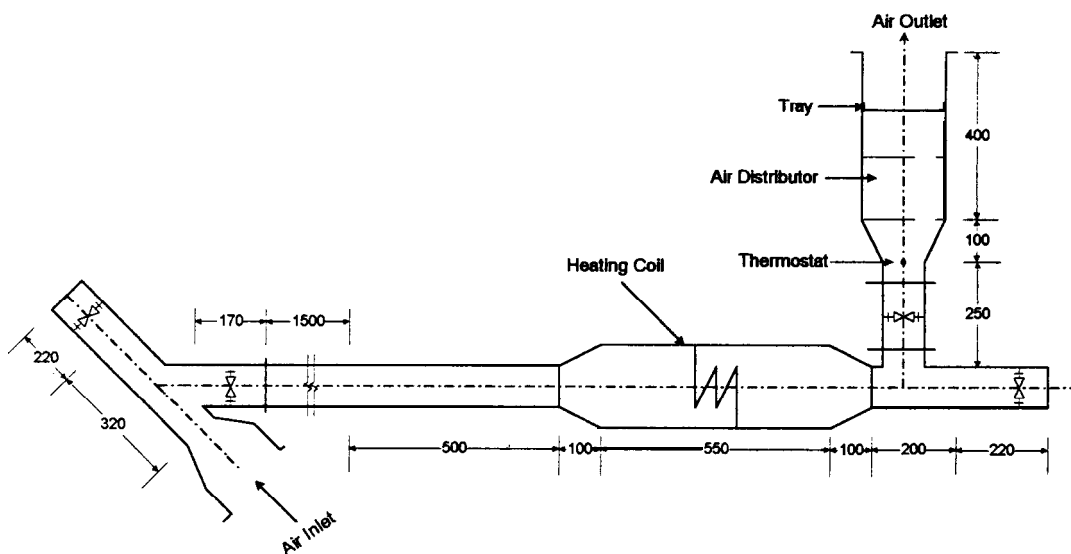
เมื่อพิจารณาการตรวจสอบคุณภาพของเห็ดหอมแห้ง พบว่าส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบทางด้านกายภาพ และประสาทสัมผัส ไม่สามารถบอกเชิงปริมาณ ซึ่งคุณภาพทาง

ด้านกลิ่นและรสจัดเป็นคุณภาพที่สำคัญของเห็ดหอม และมีการเพิ่มปริมาณของสารให้กลิ่น ในระหว่างการอบแห้ง งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสาร Lenthionine ในเห็ดหอมสดและเห็ดหอมแห้งที่ผ่านการอบที่สภาวะต่างๆ รวมทั้งศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการอบแห้งที่มีผลต่อสารนี้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในพัฒนาหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดหอมต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### อุปกรณ์และวัสดุ

1. อุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้งแบบลมร้อน (รูปที่ 1)
2. เครื่องวัดความเร็วลมแบบขดลวดร้อน ยี่ห้อ ALNOR (Osaka, Japan) type 8500 วัดได้ในช่วง 0.5-10 เมตรต่อวินาที
3. เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Yokogawa (Tokyo, Japan) รุ่น HR 1300 ใช้บันทึกและแสดงค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิล สามารถอ่านค่าได้ละเอียด (0.1 องศาเซลเซียส)
4. เครื่อง Soxtec ยี่ห้อ Tecator system HT2, Extraction unit รุ่น 1045, Service unit รุ่น 1044 และ Cool-Ace ยี่ห้อ EYELA รุ่น CA-101
5. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu Model 9A และ Integrator ยี่ห้อ Shimadzu Model CR-3A โดยใช้ FID (Flame Ionization Detectors) วิเคราะห์ประมาณสารที่อยู่ในรูปของสารละลาย คอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นคอลัมน์แก้ว มีเส้นผ่าศูนย์กลางกลางขนาด 3 มม. ความยาว 1.6 เมตร บรรจุด้วย OV-17 บน Chromasorb WAW/DCMS 80/100 mesh



รูปที่ 1 อุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้ง [8]

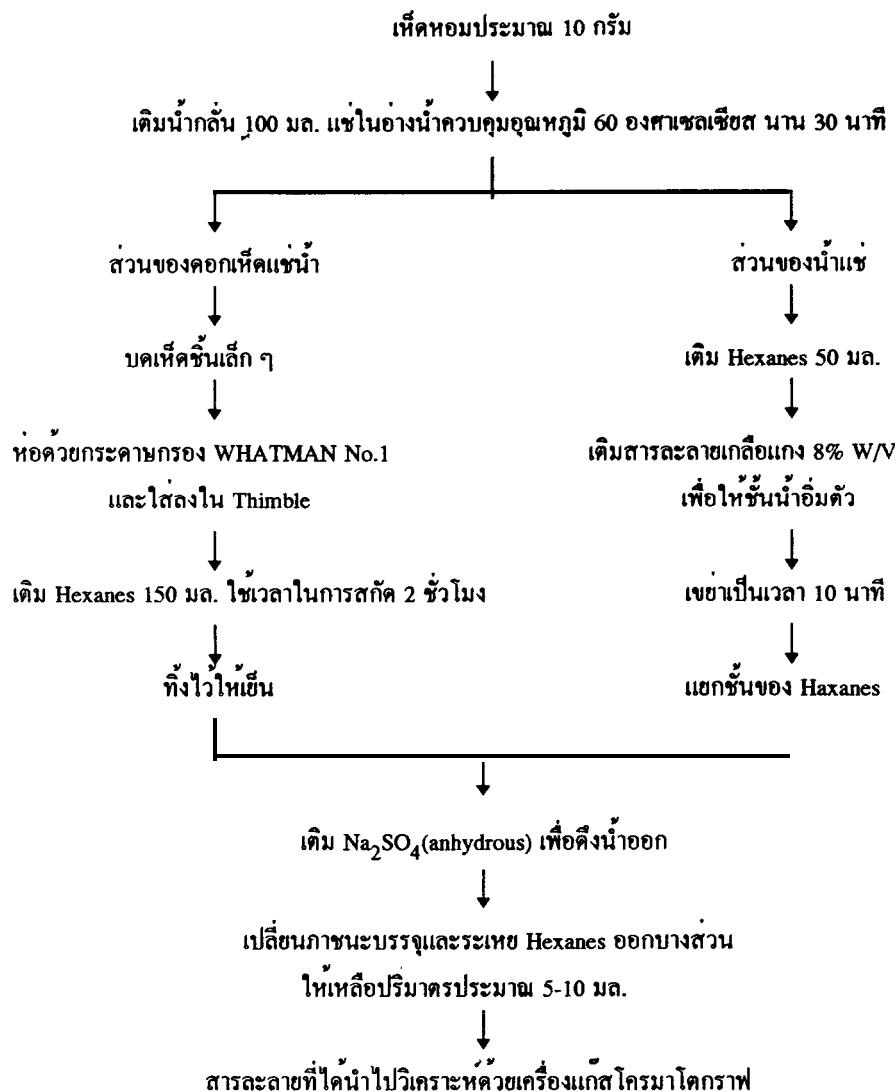
6. เครื่องมือวัดความชื้น (Infrared Moisture Analyzer) ยี่ห้อ Satorious (Weender Landstr, Germany), Model MA50 สามารถเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งได้

7. สาร Lenthionine มาตรฐาน (1,2,3,5,6-Pentathiepane) สังเคราะห์โดย ศ.ดร. ยอดททัย เทพธรานนท์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

8. เห็ดหอมสด ผลิตโดยบริษัทหวันฉิว จำกัด อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

### วิธีการทดลอง

คัดเห็ดหอมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกให้อยู่ในช่วง 4-6 เซนติเมตร สำหรับสภาวะการทดลองหนึ่ง ๆ ทำการแบ่งเห็ดหอมออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำไปหาความชื้นเริ่มต้น โดยใช้เครื่องวัดปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ส่วนที่สองนำไปสกัดหาปริมาณ Lenthionine ตามวิธีที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 2) และส่วนสุดท้ายนำไปใช้ในการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2 วิธีการสกัดเห็ดหอมสดและเห็ดหอมที่ได้จากการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

- อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารกำหนดคุณภาพ : Lenthionine

ในการสกัดเห็ดหอม ได้นำเห็ดหอมสดและเห็ดหอมแห้งที่ได้จากการทดลองมาสกัดและวิเคราะห์สาร Lenthionine ตามวิธีของ Ito และคณะ [2] พบว่าบางตัวอย่างตรวจไม่พบสาร Lenthionine ทั้งนี้เนื่องจากในบางตัวอย่างมีปริมาณสาร Lenthionine น้อยมาก นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิและเวลาในการแช่เห็ดหอมมีผลต่อปริมาณสาร Lenthionine โดยอุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการสร้างสาร Lenthionine เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณได้ จึงได้แช่เห็ดหอมในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนการสกัดนาน 30 นาที และได้เปลี่ยนวิธีการสกัดเป็นวิธีการสกัดซ้ำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถกำหนดเวลาในการสกัดและกำหนดปริมาณของตัวทำละลาย จึงได้เลือกใช้วิธีนี้เป็นวิธีมาตรฐานในการสกัด Lenthionine ดังแสดงวิธีการสกัดในรูปที่ 2 โดยใช้วิธีการนี้กับทุกๆ ตัวอย่างทั้งเห็ดหอมสดและเห็ดหอมแห้ง จากวิธีการนี้สามารถตรวจพบ Lenthionine ในเห็ดหอมทั้งจากที่ผลิตขึ้นในการทดลองและที่ซื้อมาจากที่อื่น โดยปริมาณที่พบในเห็ดหอมที่ซื้อมามีมากกว่าที่ผลิตขึ้นในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

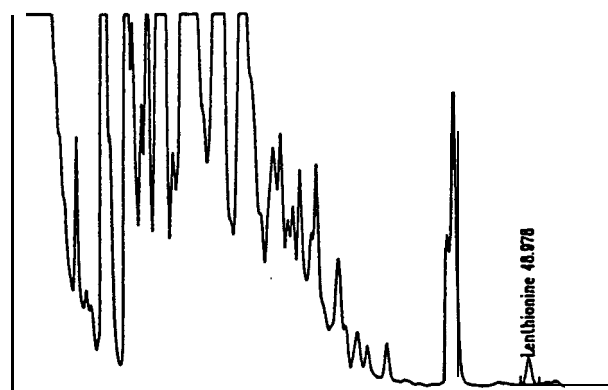
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณสาร Lenthionine ของเห็ดหอมแห้งที่ซื้อจากห้างสรรพสินค้าในประเทศไทย และเห็ดหอมแห้งจากญี่ปุ่นและจีน โดยไม่ต้มและต้มในน้ำกลั่น 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการสกัดด้วยวิธี Soxhlet

รายละเอียด	ความชื้น (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)	ปริมาณ Lenthionine (กรัม/กรัมเห็ดแห้ง)	
		ต้ม	ไม่ต้ม
บ.กรุงเทพพานิชจำกัด	11.09	$2.48 \times 10^{-5}$	$2.19 \times 10^{-5}$
บ.เฮอริเทจ แคชชีแอนด์ฟู้ด จำกัด	10.47	$5.41 \times 10^{-5}$	$8.24 \times 10^{-5}$
ไม่มีเครื่องหมาย	11.05	$1.25 \times 10^{-5}$	$4.24 \times 10^{-5}$
หจก.อุตสาหกรรมสากลกรุงศรีอยุธยา	10.19	$3.94 \times 10^{-5}$	$3.28 \times 10^{-5}$
เห็ดหอมชนิดดอกบางนำเข้าจากญี่ปุ่น	10.74	0.00	$7.08 \times 10^{-5}$
เห็ดหอมชนิดดอกหนาของญี่ปุ่น	7.25	$1.66 \times 10^{-5}$	$8.53 \times 10^{-5}$
เห็ดหอมชนิดดอกหนาของจีน	11.33	$6.31 \times 10^{-5}$	$1.78 \times 10^{-5}$

ตารางที่ 2 ปริมาณ Lenthionine ที่พบในเห็ดหอมที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งต่างๆ และทำการต้มในน้ำกลั่น 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการสกัดด้วยวิธี Soxhlet

ลักษณะและสภาวะการอบแห้ง	ความชื้นของเห็ดหอมสด (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)	ความชื้นของเห็ดหอมแห้ง (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)	ปริมาณ Lenthionine (กรัม/กรัมเห็ดแห้ง)
เห็ดหอมสดเฉลี่ย	840.73		$2.70 \times 10^{-5}$
เห็ดหอมแห้ง			
40°ซ 24 ชม.	878.47	8.60	$7.54 \times 10^{-5}$
50°ซ 24 ชม.	857.85	7.17	$6.40 \times 10^{-5}$
60°ซ 24 ชม.	878.47	5.57	$6.32 \times 10^{-5}$
70°ซ 24 ชม.	795.26	4.30	$3.84 \times 10^{-5}$
40°ซ 6 ชม.+60°ซ 6 ชม.	930.93	5.61	$8.92 \times 10^{-5}$
60°ซ 6 ชม.	857.85	7.82	$7.67 \times 10^{-5}$
60°ซ 12 ชม.	785.74	7.77	$6.41 \times 10^{-5}$
60°ซ 18 ชม.	848.77	5.72	$6.42 \times 10^{-5}$

การศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อกลิ่นของเห็ดหอม จากตารางที่ 2 เมื่อนำเห็ดหอมมาอบแห้งที่สภาวะต่างๆ 8 สภาวะ และนำมาวิเคราะห์สาร Lenthionine โดยเครื่องโครมาโตกราฟ ซึ่งได้โครมาโตแกรมดังรูปที่ 3 และนำพื้นที่ใต้กราฟมาคำนวณหาปริมาณสาร Lenthionine ในเห็ดหอมที่ได้จากสภาวะการอบแห้งต่างๆ จะเห็นได้ว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีผลกระทบต่อปริมาณสาร Lenthionine คือเมื่ออุณหภูมิมอบแห้งสูงขึ้น ปริมาณสาร Lenthionine มีแนวโน้มลดลง ขณะที่เวลาการอบแห้งนานขึ้นปริมาณสาร lenthionine มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นไปได้ว่าระหว่างกระบวนการอบแห้งจะมีการสร้างสาร Lenthionine เกิดขึ้น และมีกลไกหรือปฏิกิริยาในการทำลายหรือเปลี่ยนสภาพสาร Lenthionine ที่สร้างขึ้นนี้ไป เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งให้



รูปที่ 3 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของการวิเคราะห์สาร Lenthionine

สูงขึ้น กลไกที่ทำให้ปริมาณสาร Lenthionine เปลี่ยนแปลงจะทำงานได้ดีขึ้นทำให้ปริมาณสาร Lenthionine ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิสูงมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำหากพิจารณาสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงไปแล้ว กลไกการทำลายจะไม่มีประสิทธิภาพต่อไปเพราะปริมาณสาร Lenthionine ที่วิเคราะห์ได้แทบไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะว่าแม้กลไกนี้จะทำงานได้จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่จะทำได้เฉพาะในช่วงสั้น และหมดประสิทธิภาพเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากความไม่เสถียรสำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการอบแห้ง พบว่าปริมาณสาร Lenthionine ในเห็ดหอมแห้งที่ได้มีค่ามากกว่าที่สภาวะอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นเพราะในช่วง 6 ชั่วโมงแรกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กลไกที่ไปทำลายหรือเปลี่ยนสภาพสาร Lenthionine ทำงานได้ไม่ดีเท่าที่อุณหภูมิสูง และยังเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นเมื่อผ่านช่วงแรกไป ก็จะมีการสร้าง Lenthionine ขึ้นแล้วในระดับหนึ่ง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 60 องศาเซลเซียสและอบต่ออีก 6 ชั่วโมง กลไกที่เกิดขึ้นไปเช่นเดียวกับการอบแห้งที่สภาวะ 60 องศาเซลเซียสอีก 6 ชั่วโมง แตกต่างกันว่าปริมาณสาร Lenthionine เริ่มต้น ซึ่งเห็ดหอมที่ผ่านสภาวะการอบที่ 40 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมงมาก่อน จะมีปริมาณสาร Lenthionine มากกว่า จึงทำให้ปริมาณสาร Lenthionine ที่พบในเห็ดหอมที่ผ่านสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการอบแห้ง มีค่ามากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

#### การศึกษาอัตราการอบแห้งเห็ดหอม

จากการอบแห้งเห็ดหอม ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงร้อยละ 567-900 มาตรฐานแห้ง เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมร้อยละ 40-60 พบว่าปริมาณความชื้นแปรผกผันตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เห็นได้ว่าในช่วงแรกความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังคงมีมากทำให้อัตราการระเหยเป็นไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการอบแห้งจะลดลงตามลำดับ เมื่อเวลาอบแห้งผ่านไป 5-10 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นภายในเห็ดหอมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือปริมาณความชื้นภายในเห็ดหอมเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลกับสภาวะอากาศแวดล้อม ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุล จะมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 4.49-9.41 มาตรฐานแห้ง โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะได้ปริมาณความชื้นในจุดนี้ต่ำกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ งานวิจัยครั้งนี้ถือว่า ความชื้น ณ จุดดังกล่าว คือความชื้นสมดุลที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) และจากข้อมูลการศึกษาของ พรพรรณ สังขวดี [7] ที่ศึกษา Sorption Isoterm ของเห็ดหอมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-60 ได้ค่าความชื้นสมดุลอยู่ในช่วงร้อยละ 14-17 มาตรฐานแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ได้ความชื้นสมดุลเท่ากับร้อยละ 17 มาตรฐานแห้ง ทำให้การประมาณดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น



ตารางที่ 3 ค่าคงที่จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Exponential

อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส (องศาเคลวิน)	MR = exp (-k <sub>2</sub> t) k <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>
40 (313.15)	0.463	0.992
50 (323.15)	0.585	0.989
60 (333.15)	0.848	0.998
70 (343.15)	1.137	0.998

เนื่องจากยังไม่พบรายงานการวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายอัตราการอบแห้งของเห็ดหอม จึงได้วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 รูปแบบที่นิยมใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการอบแห้งของพวกธัญพืช เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง เป็นต้น พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับแบบจำลองแบบ Exponential เพราะมีรูปแบบที่ง่ายและเหมาะสมกับการนำมาใช้มากที่สุด โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนี้

$$MR = (M - M_e) / (M_o - M_e) = \exp(-kt) \quad (1)$$

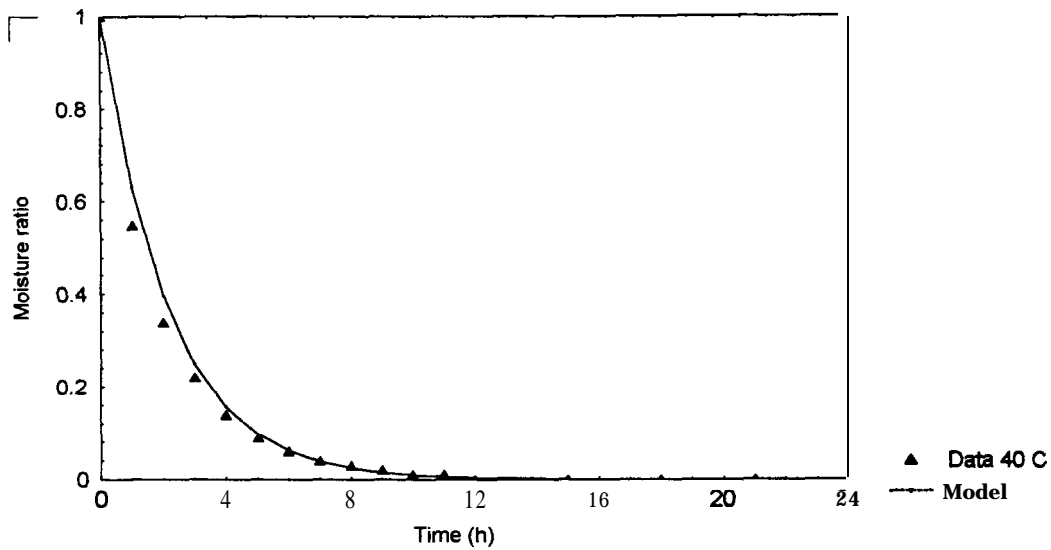
- โดย MR = อัตราส่วนความชื้น  
 M = ความชื้นที่เวลาใด ๆ, มาตรฐานแห้ง  
 M<sub>e</sub> = ความชื้นสมดุล, มาตรฐานแห้ง  
 M<sub>o</sub> = ความชื้นเริ่มต้น, มาตรฐานแห้ง  
 t = เวลา, ชั่วโมง  
 k = ค่าคงที่ของการอบแห้ง

และความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ k กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (T, องศาเคลวิน) ในรูปแบบสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius's Equation) ดังนี้

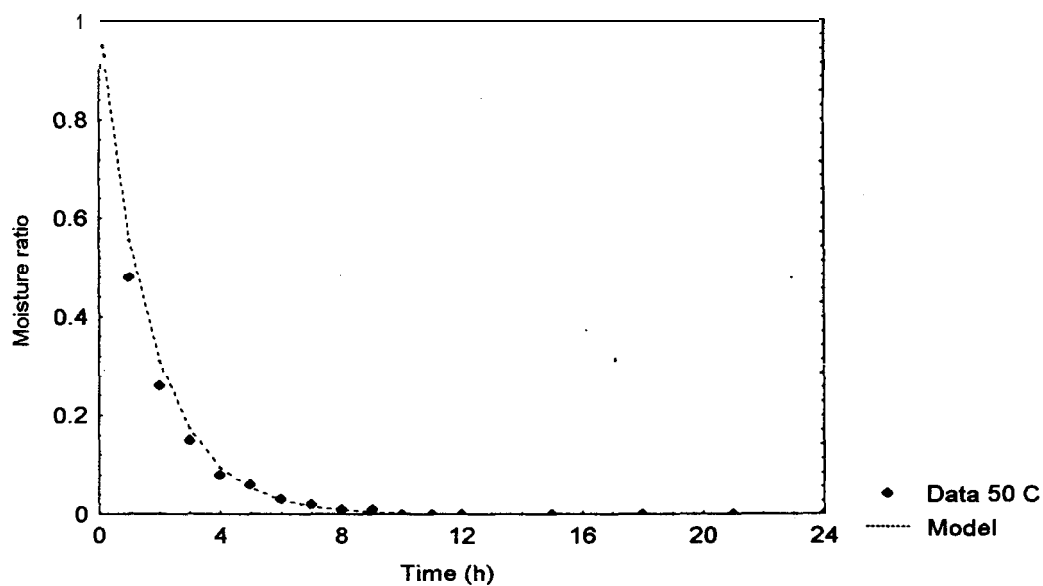
$$k = 1.807 \times 10^{-4} \exp(-3323.37/T) \quad (2)$$

ซึ่งมีค่า Coefficient of determination เท่ากับ 0.990

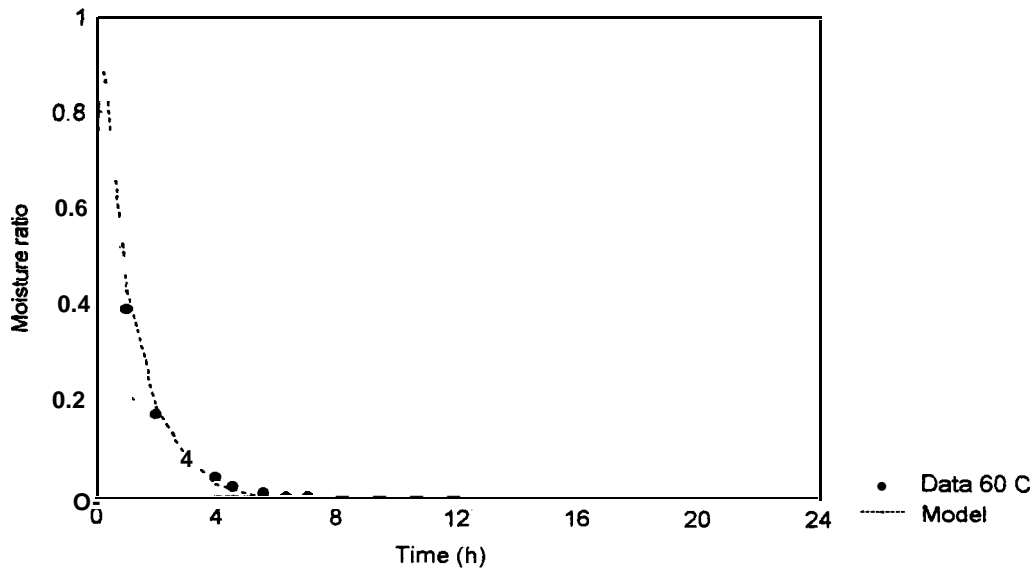
นำข้อมูลการทดลองอบแห้งเห็ดหอมที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มาแสดงในรูปของความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4-7 ซึ่งแบบจำลองที่เลือกใช้นั้นสามารถบอกให้ทราบถึงกลไกการอบแห้งได้ เนื่องจากรูปแบบของสมการใกล้เคียงกับสมการการอบแห้งทางทฤษฎี



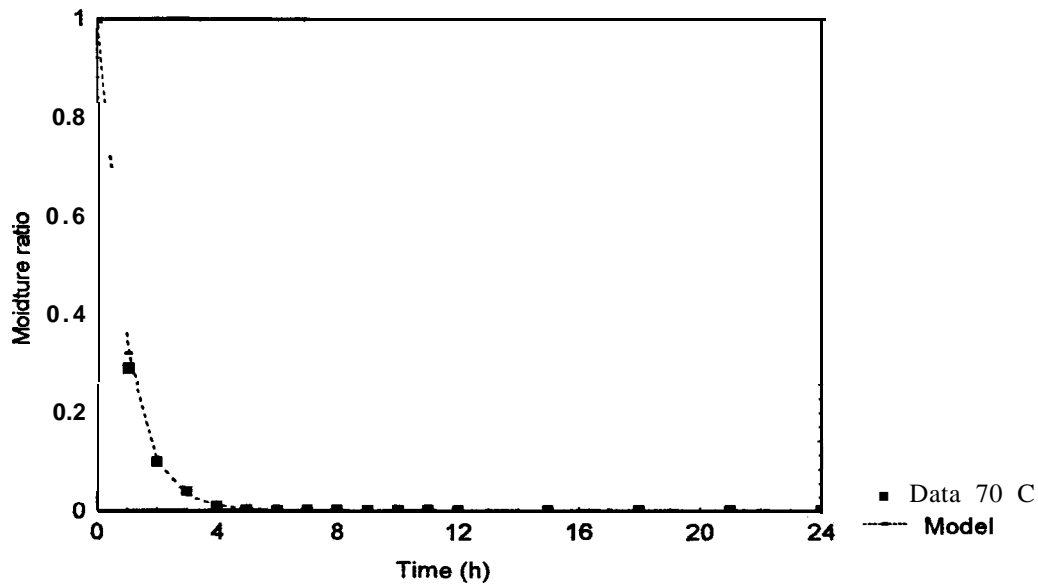
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส  
เปรียบเทียบกับสมการคณิตศาสตร์แบบ Exponential [ $MR = \exp(-kt)$ ]



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส  
เปรียบเทียบกับสมการคณิตศาสตร์แบบ Exponential [ $MR = \exp(-kt)$ ]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับสมการคณิตศาสตร์แบบ Exponential [ $MR = \exp(-kt)$ ]



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับสมการคณิตศาสตร์แบบ Exponential [ $MR = \exp(-kt)$ ]

## สรุป

จากวิธีการสกัดสาร Lenthionine ในเห็ดหอม พบว่าเมื่อใช้วิธีสกัดตามวิธีของ Ito และคณะ [2] ไม่สามารถตรวจพบสาร Lenthionine จึงมีการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง โดยนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และใช้วิธีการสกัดซ้ำอย่างต่อเนื่องแทนวิธีเดิม ส่วนในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อคุณภาพของเห็ดหอมแห้ง โดยถ้าเวลาในการอบแห้งนานขึ้นหรืออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณสาร Lenthionine ลดลงทั้งสองกรณี และพบว่าสภาวะอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนเป็น 60 องศาเซลเซียส อบต่ออีกเป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถพัฒนาคุณภาพทางด้านกลิ่นได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำที่ และเมื่อวิเคราะห์อัตราการอบแห้งเห็ดหอม พบว่าอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Exponential ทำนายอัตราการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ 40-70 องศาเซลเซียส ได้เป็นอย่างดี

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.ยอดหทัย เทพธรานนท์ (อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล) และ รศ.สุทธพรรณ ตรีรัตน์ (หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิจัยเห็ด จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐาน Lenthionine ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ ผศ.สุภาณี เลิศไตรรักษ์ และ ดร.ธนะบุญย์ สัจจาวนันทกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

1. Morita, K. Kobayashi, S., 1966, "Isolation and Synthesis of Lenthionine and Odorous Substance of Shiitake, an Edible Mushroom," *Tetrahedron Letters*, No.6, pp.573-577.
2. Ito, Y., Toyoda, M., Sezuki, H. and Iwaida, M., 1978, "Gas-Liquid Chromatography of Lenthionine in Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*) with Special Reference to the Relation between Carbondisulfide and Lenthionine," *Journal of Food Science*, Vol.43, No.4, pp.1287-1289.
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, No.13, pp. 2059-2069.
4. Yasumoto, K. and Mitsuda, H., 1971, "Enzyme-Catalyzed Evolution of Lenthionine from Lenticic Acid," *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol.35, No.13, pp. 2072-2080.

5. Jong, S.C., 1989, "Commercial Cultivate of the Shiitake Mushroom on Supplement Sawdust," *Mushroom Journal for the Tropics*, Vol.9, No.3. pp.89-98.
6. บรรณ บวรณะชนบท, 2535, เห็ดหอม, พิมพ์ครั้งที่ 2, ม.ป.ท., หน้า 1-103.
7. พรพรรณ สังขวดี, 2531, "การอบแห้งเห็ดหอม (*Lentinus edodes*) และข้อมูลพื้นฐานทางด้านซอฟต์แวร์ไอโซเทอม," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-173.
8. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ วิไลพร นพรัตน์ไกรลาส, 2530, "อุปกรณ์ศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืชและผลการทดสอบข้าวเปลือก," การประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่องเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 28-30 ตุลาคม 2530, 16 หน้า.