

ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของเหง้าไพล
(*Zingiber montanum* (Koenig) Link ex. Dietr.)

Effect of Drying Temperatures on Quality of Cassumunar Ginger (Plai)
Rhizome (*Zingiber montanum* (Koenig) Link ex. Dietr.)

บุญนาก หมื่นอาจอาสา^{1, 2/}

ยິงยง ไพลุขสานดิวัฒนา^{1/}

เบญญา มะโนชัย^{1/}

Bounnak Meunathasa^{1, 2/}

Yingyong Paisooksantivatana^{1/}

Benya Manochai^{1/}

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of drying temperatures on the rhizome quality of *Zingiber montanum*. The experiment was designed as CRD with three replications and four treatments namely drying temperatures at 40, 60, 80 and 100 °C in hot air oven and was conducted at the Horticulture Department, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, during July, 2008 to September, 2009. The rhizomes were made into a thin sliced at 1.5 - 2 mm thick. Drying time needed to reduce the moisture of the rhizome to be less than 13% were 123, 54, 30, and 24 hrs and mean drying rates 3.03, 6.76, 11.56, and 14.19 (kgH₂O/kg db.h), respectively. The percentage of volatile oil content were 2.47, 2.33, 1.31, and 0.52%, the decreased volatile oil content was significantly related to increased drying temperature. Antioxidant activity was highly significantat decreased to 75.09, 68.20, 65.54, and 59.49% as the temperature was increased. The colour measurements (L*), (a*) and (b*) were also highly significant decreased as temperatures were compared with fresh rhizome slices. Drying temperature was highly significant in negative relation to the quality of sliced rhizomes except for red (a*) colour measurements which was just statistically significant.

Key words: drying temperatures, antioxidant activity, volatile oil, *Zingiber montanum*, cassumunar ginger

^{1/} ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchuk, Bangkok 10900

^{1,2/} วิทยาลัยเกษตรและป่าไม้จำปาสัก สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว 333

Agricultural and Forestry Champasack College, Lao People's Democratic Republic 333

บทคัดย่อ

งานวิจัยเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของเหง้าไพล โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 3 ซ้ำ 4 กรรมวิธี คือ อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 40 ° 60 ° 80 ° และ 100 °ซ. ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 – กันยายน พ.ศ. 2552 พบว่าเมื่ออบเหง้าไพลที่หั่นเป็นแผ่นหนา 1.5 – 2.0 มม. ที่อุณหภูมิ 40 ° 60 ° 80 ° และ 100 °ซ. เป็นเวลา 123 54 30 และ 24 ชม. ตามลำดับ จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 13% มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาอบแห้งคือ 3.03 6.76 11.56 และ 14.19 (kg H₂O/kg dry-basis h) ส่วนปริมาณน้ำมันหอมระเหยทำให้อุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งคือ 75.09 68.20 65.54 และ 59.49% ตามลำดับ นอกจากนี้อุณหภูมิในการอบแห้งยังทำให้ค่าความสว่างของสี (L*) สีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเหง้าไพลสด แสดงว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลทางลบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเหง้าไพลทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ขณะที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำหลัก: อุณหภูมิอบแห้ง น้ำมันหอมระเหย ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ไพล

คำนำ

ไพล (*Zingiber montanum* (Koenig) Link ex Dietr.) มีชื่อสามัญ cassumunar ginger ชื่อท้องถิ่น ว่านไฟ ไพล ปลูก ปลูกย หรือมันสะล่าง เป็นพืชสมุนไพรจัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae วงศ์เดียวกับขิงและขมิ้นชัน มีศูนย์กลางการกระจายพันธุ์ในเขตอบอุ่น และเขตร้อนชื้นของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ไพลเป็นพืชมีเหง้าอยู่ใต้ดิน เนื้อเป็นสีเหลืองเข้ม มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว สามารถนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน โดยที่น้ำมันหอมระเหยจากไพลมีสารเคมีที่เป็นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ และมีองค์ประกอบทางเคมี เช่น สาร terpenes, terpenoids, phenylbutanoids, sabinene, terpinene-4-ol, α -terpinene และ DMPBD (สมภพและพร้อมจิต, 2547) วิตามิน A B และ C (สมพร, 2551) สารเหล่านี้มีฤทธิ์ลดการอักเสบ รักษาโรคผิวหนัง รักษาแผลในกระเพาะอาหาร แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ แก้ฟกช้ำ เคล็ดขัดยอกและขับประจำเดือนสตรี (เพ็ญจันทร์, 2546) สารในกลุ่ม sesquiterpenes เช่น สาร camphene, phellandrene หรือสาร zingiberene ผสมกับเอทานอล 95% ใช้ทาเป็นยากันยุง (พรสวรรค์และศิริเพ็ญ, 2546)

แต่เหง้าไพลมีปัญหาที่อายุการเก็บรักษาได้ไม่นาน จึงทำให้เน่าเสียง่ายเนื่องจากว่าเหง้าไพลสดยังมีความชื้นค่อนข้างสูง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดมีการสูญเสียน้ำหนัก

สด ความคงตัวของสารสำคัญบางชนิดเสื่อมลง และปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลง การควบคุม ปริมาณความชื้นในตัวอย่างเหง้าไพล จึงเป็นสิ่ง จำเป็นที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ยีสต์และ แมลง ที่เป็นสาเหตุของการเกิดมีปฏิกิริยาต่างๆ ขึ้น ซึ่งมีผลต่อการลดลงของคุณภาพ สีและ ความคงตัวของสารสำคัญ (นันทนา, 2547) การอบแห้งจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ลดความชื้น ลงได้ ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ รา ยีสต์ และหยุดปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่จะเกิดขึ้น ได้บางส่วน และทำให้เหง้าไพลหลังการอบแห้งมี คุณภาพใกล้เคียงกับเหง้าสด ซึ่งสามารถเก็บ รักษาได้นานขึ้น (Anon, 2005; Hanaa *et al.*, 2008) แต่ในการอบแห้งส่วนใหญ่ใช้ความร้อน เป็นตัวกลาง ในการทำให้น้ำระเหยจากเหง้าไพล ซึ่งอาจใช้พลังงานสูงเพื่อลดความชื้นให้ได้เร็ว แต่มีค่าใช้จ่ายสูง และจะเป็นตัวกำหนดด้าน ราคาของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งอีกด้วย (เวียงและคณะ, 2551) เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบ แห้งที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลง ด้านกายภาพ สี กลิ่น กับน้ำมันหอมระเหยและ ฤทธิ์ทางยาได้ง่าย (วิไล, 2546) มีรายงานจากผล งานวิจัยหลายเรื่องที่ว่า การอบแห้งพืชสมุนไพร ที่ใช้อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป มีผลทำให้ ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งเกิดการหดตัว การ เปลี่ยนแปลงค่าสี และปริมาณน้ำมันหอมระเหย ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และรวมไปถึงการใช้เวลา ของการอบที่แตกต่างกันอย่างมาก ดังนั้นจึงควร เปรียบเทียบอุณหภูมิในการอบแห้งที่ระดับต่างๆ กันคือ 40° 60° 80° และ 100°ซ. สำหรับแก้

ปัญหาให้ได้และอาจได้แนวทางที่จะให้เกษตรกร นำไปใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไพล ให้มีคุณภาพดี เท่าเทียมกับเหง้าไพลสด

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาใช้เหง้าไพลสดอายุ 11 เดือน จาก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ซึ่งเป็นแหล่ง ปลูกไพลที่มีคุณภาพดีและมีปริมาณที่มากพอ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มีจำนวน 3 ซ้ำ และ 4 กรรมวิธีคือ อุณหภูมิในการอบแห้ง 40° 60° 80° และ 100°ซ. เปรียบเทียบกับ เหง้าไพลสด การทดลองดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 – กันยายน พ.ศ. 2552 โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. การหาค่าความชื้นหลังการอบแห้งไพลแบบ แวนบาง

นำเหง้าไพลสดล้างทำความสะอาดแล้ว หั่นตามแนวขวางเป็นแผ่นหนาประมาณ 1.5-2 มม. ใช้ตัวอย่างเหง้าไพล 100 ก. อบด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น TV 15 el) ที่อุณหภูมิ 103°ซ. เป็นเวลา 72 ชม. ตามวิธีของเทวรัตน์ (2551) เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นของเหง้าไพล

ในการทดลองได้นำเหง้าไพลที่หั่นเป็น แผ่นบาง ซึ่งน้ำหนักสด 1.6 กก. ใส่ถาดขนาด บรรจุ 7 กก./ตร.ม./กรรมวิธี อบแห้งที่อุณหภูมิ 40° 60° 80° และ 100°ซ. ระหว่างการอบแห้ง วัดค่าความชื้นของเหง้าไพลทุกๆ 3 ชม. โดยนำ เอาเหง้าไพลทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักตามหลักการ

หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้าย จนมีความชื้นสุดท้ายเศษส่วนมาตรฐานแห้ง (% dry-basis) ได้ตามมาตรฐานของยาสมุนไพรไทย (Thai Herbal Pharmacopoeia) (นिरนาม, 2532) ที่ 13% หากความชื้นของตัวอย่างสูงเกินไป อาจทำให้มีการเสื่อมคุณภาพได้เร็วขึ้น และหาค่าความชื้นสุดท้ายตามวิธีการของสมชาติ (2540) กับของเสริมและจรุงแสง (2547) โดยนำเหง้าโพลสดมาล้างทำความสะอาด แล้วหั่นตามแนวขวางเป็นแผ่นหนาประมาณ 1.5-2.0 มม. นำตัวอย่าง 100 ก. อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103°ซ. เป็นเวลา 72 ชม. เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น (moisture initial (% dry-basis)) ของเหง้าโพล ก่อนทำการทดลอง และหลังการทดลองในการอบแห้ง เพื่อคำนวณความชื้นสุดท้ายเศษส่วนมาตรฐานแห้ง (moisture content final (% dry-basis)) ดังสมการต่อไปนี้

$$M_d = \frac{w - d}{d}$$

M_d = ความชื้นเศษส่วนมาตรฐานแห้ง (% dry-basis)

w = มวลวัสดุเปียก (กก.)

d = มวลวัสดุแห้งที่ไม่มีความชื้น (กก.)

ในระหว่างการอบแห้งได้มีการคำนวณค่าการระเหยน้ำต่อเวลาในขณะที่อบแห้ง เนื่องจากค่าการระเหยน้ำต่อเวลาในการอบแห้งมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ความชื้นของวัสดุ ขนาดของเครื่องอบแห้ง ความเร็วลมและขนาดบรรจุภัณฑ์ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Drying rate} = \frac{M_1 - M_2}{T_2 - T_1}$$

Drying rate = หน่วยวัดอัตราการอบแห้ง (H₂O/kg db. h)

M_1 = ความชื้นเริ่มต้นเศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_2 = ความชื้นเศษส่วนมาตรฐานแห้ง ณ เวลาใดๆ

T_1 = เวลาในการอบแห้งเริ่มต้น

T_2 = เวลาในการอบแห้ง ณ เวลาใดๆ

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหย

ใช้เหง้าโพลแห้ง 50 ก. ต่อน้ำ reverse osmosis (RO) ปริมาตร 950 มล. บั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วบรรจุตัวอย่างที่บั่นแล้วใส่ในภาชนะขนาดบรรจุ 1 ล. นำไปสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยใช้ตู้อบลมร้อนด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยใช้ตู้อบลมร้อนดัดแปลง (Sharp รุ่น R-233) ใช้เวลาสกัด 1 ชม. หลังจากหยดน้ำที่ได้หยดแรกและแยกน้ำมันหอมระเหยกับน้ำ ด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ใช้ความเร็วรอบ 6,000 รอบ/นาทีที่อุณหภูมิ 27°ซ. เป็นเวลา 5 นาที และใช้ micropipettes ตรวจสอบปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัด นำผลไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระเหยตามวิธีการของรุ่งฤดี (2550) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Volatile oil (\%V/W)} = \frac{M_{\text{volatile oil}}}{M_{\text{sample}}} \times 100$$

Volatile oil = เปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้

$$M_{\text{volatile oil}} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ (มล.)}}{\text{(% ปริมาตร/น้ำหนัก)}}$$

$$M_{\text{sample}} = \text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้สกัด (ก.)}$$

3. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.1 การเตรียมตัวอย่างโพลีแซคคาไรด์

โพลีแซคคาไรด์ 1 ก. บดด้วยไนโตรเจนเหลวผสมเอทานอล 6 มล. และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมากรองเอาส่วนที่ใสด้วยกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 4) ปรับปริมาตรให้ได้ 6 มล.

3.2 การเตรียมสาร 1- diphenyl- 2-picrylhydrazyl radicals (DPPH)

เตรียมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ด้วยเอทานอล 95%

$$\text{DPPH (\% scavenging activity)} = \frac{A_{517 \text{ blank}} - A_{517 \text{ sample}}}{A_{517 \text{ blank}}} \times 100$$

$A_{517 \text{ blank}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

$A_{517 \text{ sample}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างเหง้าโพลีแซคคาไรด์ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

4. การวัดค่าสีของโพลีแซคคาไรด์

นำโพลีแซคคาไรด์มาวัดค่าสีโดยการสุ่มตัวอย่างจาก 3 ซ้ำๆ ละ 5 ตัวอย่าง อ่านค่าความสว่างของสี (L^*) สีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ด้วยเครื่อง colourmeter (MiniScan EZ) ซึ่งเป็นเครื่องวัดค่าสีระบบยิงแสงผ่านตัวอย่างแล้วอ่านค่าเป็นตัวเลขทั้ง 3 ค่า คือความสว่างของสี สีแดง

3.3 เตรียมสาร DPPH ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม

นำเอาสารสกัดตัวอย่างจากโพลีแซคคาไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่ 2 4 6 8 10 20 และ 30 เท่า โดยนำส่วนผสมตัวอย่างพืชตัวอย่างละ 0.5 มล. ทำปฏิกิริยากับสาร DPPH ที่เตรียมไว้ในปริมาตร 3 มล. เก็บรักษาไว้ในหลอดแก้วทึบแสงเป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นได้นำมาวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm ด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer (Hitachi model 100-60) (Cousins *et al.*, 2007) โดยใช้เอทานอล 95% เป็นตัวเปรียบเทียบ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการแสดงออกของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% scavenging activity of DPPH radicals) ตามวิธีของ Predner และคณะ (2008)

และสีเหลือง ในจอแสดงผลในเวลาเดียวกัน นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. อนุกรมมิบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงการอบแห้ง

เหง้าโพลีแซคคาไรด์มีความชื้นเริ่มต้น 395.25%

Table 1. Effect of drying temperatures on physical property of sliced cassumunar ginger rhizome

Parameter	Drying temperature (°C)			
	40	60	80	100
Moisture initial (%dry-basis)	395.25	395.25	395.25	395.25
Moisture content nal (% dry-basis)	12.98	12.98	12.44	10.68
Mean of drying rate (kg H ₂ O/kg dry-basis h)	3.03	6.76	11.56	14.19
Drying time (h)	123.00	54.00	30.00	24.00
Mean of ratio on fresh and dry (kg/kg)	4 : 1	4 : 1	4 : 1	4 : 1

เศษส่วนมาตรฐานแห้ง อบแห้งโดยใช้ปริมาตรบรรจุ 7 กก./ตร.ม. หลังการอบแห้งที่ 40° 60° 80° และ 100° ซ. พบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง อัตราการอบแห้งและความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งแตกต่างกัน (Table 1)

อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการลดลงของความชื้น และเวลาในการอบแห้ง เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะอบแห้งที่อุณหภูมิ 80° และ 100° ซส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบช่วงอบแห้งลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่อุณหภูมิของตัวอย่างไพลมีค่ามากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่ามากขึ้น มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง และความชื้นสุดท้ายที่ได้หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง มีค่าน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับอดุลย์และคณะ (2551) ที่รายงานว่าการอบแห้งไพลที่อุณหภูมิ 50° 45° และ 40° ซ. มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและอัตราการระเหยน้ำอย่างมาก

การอบแห้งทั้ง 4 ระดับของอุณหภูมิเป็น

ไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจน มีอัตราการลดลงของความชื้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง และค่อยๆลดลงจนถึงช่วงที่มีความชื้นในตัวอย่างเหลือน้อยที่สุด แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80° - 100° ซ. การลดลงของความชื้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับอบแห้งที่อุณหภูมิ 40° และ 60° ซ. (Figure 1) เนื่องจากว่าช่วงแรกของการอบแห้งแวนไพลยังมีความชื้นสูงอยู่ และความชื้นมีในบริเวณผิวด้านนอก เมื่อความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งไพลผ่านช่องว่างตัวอย่าง พาความชื้นระเหยออกสู่อากาศข้างนอกได้ดีกว่าการอบแห้งในช่วงหลัง เพราะในช่วงแรกบริเวณเนื้อของไพลยังมีลักษณะอ่อนนุ่ม มีช่องว่างของเซลล์มากพอที่ทำให้น้ำอยู่ด้านในซึมผ่านออกมาข้างนอกได้ดี และการรวมตัวของน้ำในช่วงแรกเป็นของเหลว ดังนั้นการลดลงของความชื้นช่วงนี้มีค่าที่สูงมาก เมื่อเทียบกับช่วงท้ายของการอบแห้ง ส่วนช่วงท้ายของการอบแห้งมีการหดตัวขึ้นมากๆ ทำให้ช่องว่างของเซลล์แคบลง และการรวมตัวของน้ำจะอยู่ในรูปของไอน้ำก่อนจะถูกระเหยออกสู่อากาศ ดังนั้นการ

ระเหยน้ำจากด้านในออกสู่บริเวณผิวได้ช้า การระเหยน้ำในช่วงท้ายจึงมีค่าลดลง (Figure 1)

การลดลงของความชื้นในระหว่างการอบแห้ง การผันแปรไปตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และมีผลต่อเวลาในการอบแห้งสั้นลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับเทอร์ตัน (2551) ที่รายงานว่า การอบแห้งเหง้าไพลด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40° และ 50° ซ. และอบแห้งพริกที่อุณหภูมิ 50° 60° และ 70° ซ. พบว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อช่วงเวลาของการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะใช้เวลาอบแห้งสั้นลง ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ โดยเฉพาะในช่วงแรกของการอบแห้ง วัสดุที่อบแห้งยังมีความชื้นสูงอยู่ และความชื้นมีทั่วไปตามผิวด้านนอก ดังนั้นในการอบแห้งช่วงนี้จึงทำให้ความชื้นลดลงได้ง่ายและรวดเร็ว

ความแตกต่างระหว่างอบแห้งเหง้าไพลที่อุณหภูมิสูงและต่ำ มีผลต่ออัตราการอบแห้งคือเมื่ออบแห้งเหง้าไพลที่อุณหภูมิสูงมีการระเหยน้ำได้มากขึ้น ทำให้มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าอบแห้งเหง้าไพลที่อุณหภูมิต่ำ (Figure 1) เมื่อความชื้นลดลงเหลือน้อยที่สุด และความชื้นที่เหลือส่วนใหญ่จะอยู่ด้านในของเนื้อเยื่อเหง้าไพล การระเหยน้ำในช่วงนี้ได้ถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำ ตามช่องว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อไพล ซึ่งจะเกิดได้มากหรือน้อยขึ้นกับความหนาแน่นที่เกิดขึ้นในการอบแห้งอีกด้วย เมื่อเหง้าไพลมีความหนาแน่นต่ำ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 100° และ 80° ซ.) ในช่วงแรกมีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด และมีอัตราการอบแห้ง

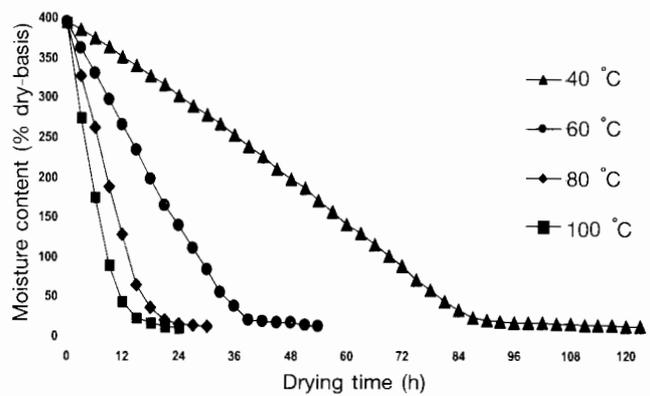


Figure 1. Effect of different drying times on moisture content of sliced cassumunar ginger rhizome

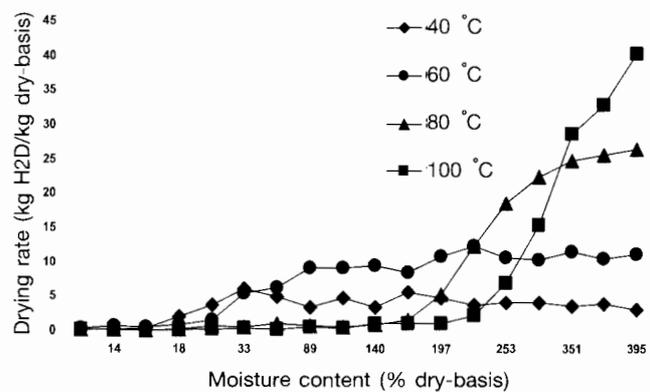


Figure 2. Drying rate of sliced cassumunar ginger rhizome

ลดลงต่ำที่สุดในช่วงท้ายของการอบแห้ง ทั้งที่แผ่นไพลยังมีความชื้นค่อนข้างสูงอยู่ เนื่องจากว่าหลังการอบแห้งแผ่นไพลที่อุณหภูมิสูงผ่านไประยะเวลาหนึ่ง ผนังเซลล์ด้านนอกมีลักษณะแข็ง การระเหยไอน้ำสู่อากาศข้างนอกได้ยากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมชาติ (2540) ที่รายงานว่าเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้การระเหยน้ำได้เร็วขึ้น มีผลทำให้เนื้อของวัสดุแข็งด้านนอก ส่วนด้านในอ่อนนุ่มและมีความหนาแน่นต่ำ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ การระเหยน้ำเป็นไปแบบช้าๆ อย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอและมีความหนาแน่นสูง

2. อุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย

อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 40° 60° 80° และ 100° ซ. ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเทียบกับเหง้าไพลสด แสดงว่าเหง้าไพลสดให้น้ำมันหอมระเหยมากที่สุดคือ 2.97% รองลงมาได้แก่เหง้าไพลอบแห้งที่อุณหภูมิ 40° 60° 80° และ 100° ซ. ให้น้ำมันหอมระเหย 2.47 2.33 1.31 และ 0.52% ตามลำดับ (Figure 2) แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลกับการให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย โดยอุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลง อาจเนื่องจากว่าอบแห้งเหง้าไพลที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้น้ำมันหอมระเหยกลายเป็นไอ และสูญเสียไปพร้อมกับการระเหยของน้ำอิสระตลอดช่วงการอบแห้งก็เป็นได้ เพราะว่าน้ำมันหอมระเหยในเหง้าไพลเป็นสารอินทรีย์ที่มีความคงตัวค่อนข้างต่ำ โดยน้ำมันหอมระเหยมีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สตั้งแต่อุณหภูมิ 35° ซ. ขึ้นไป และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 37° ซ. จะระเหยเป็นไอได้ง่าย (นิรนาม, ไม่ระบุปี)

อีกปัจจัยหนึ่งคือน้ำมันหอมระเหยมีน้ำหนักเบากว่าส่วนที่เป็นน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งจากการสังเกตระหว่างการกลั่นด้วยเทคนิคไมโครเวฟพบว่าส่วนที่เป็นน้ำธรรมชาติและน้ำมันหอมระเหยได้แยกส่วนอย่างชัดเจน โดยส่วนที่เป็นน้ำมันหอมระเหยลอยตัวเป็นกลุ่มอยู่ด้านบนและส่วนที่เป็นน้ำธรรมชาติที่หนักกว่าอยู่ด้านล่าง ดังนั้นในขณะที่ทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำหรือสูงก็ตาม ย่อมทำให้น้ำมันหอมระเหยสูญเสีย

ไป หมายความว่าเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นเท่าไร ยิ่งมีผลทำให้ส่วนที่เป็นน้ำมันหอมระเหยระเหยออกมากับน้ำสู่ข้างนอกได้มากขึ้นเท่านั้น ผลของการทดลองนี้สอดคล้องกับกาญจนาและคณะ (2552) ซึ่งรายงานว่าจากการอบแห้งตะไคร้ที่อุณหภูมิ 40° 50° และ 60° ซ. พบว่าหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60° ซ. ทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยเหลือน้อยที่สุด และ Muller และคณะ (1989) รายงานว่าควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งระหว่าง 40° - 60° ซ. เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ในการอบแห้งพืชสมุนไพรชนิดที่มีน้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบหลัก หากใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ จะทำให้น้ำมันหอมระเหยที่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการอบแห้ง

ไพลหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 40° และ 60° ซ. ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 2.47 ± 0.06 และ $2.33 \pm 0.05\%$ ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยต่ำกว่าเหง้าไพลสด แต่ยังคงสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ระบุไว้คือปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ไม่ต่ำกว่า 2 (% v/w) ส่วนเหง้าไพลอบแห้งที่อุณหภูมิ 80° และ 100° ซ. ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 1.30 ± 0.01 และ $0.50 \pm 0.01\%$ ซึ่งต่ำกว่าระดับมาตรฐาน (Table 2) แสดงว่าระดับของอุณหภูมิในการอบแห้ง มีผลต่อการให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ลดลง ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

3. อุณหภูมิอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เหง้าไพลอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันมีผล

ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยเหง้าโพลสดให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $84.68 \pm 1.02\%$ ส่วนไหลอบแห้งแบบแวนบางที่อุณหภูมิ 40°C . ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด $75.09 \pm 6.71\%$ รองลงมาได้แก่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60° 80° และ 100°C . มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 68.20 ± 3.39 65.54 ± 1.25 และ $59.49 \pm 0.39\%$ ตามลำดับ และการที่อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นมีผลทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงเนื่องจากว่าอุณหภูมิมอบแห้งอาจมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบที่เป็นตัว โดยเฉพาะบรรดากลุ่มสารที่ไม่ทนต่อความร้อนดังพิชามณูซู (2551) ที่รายงานว่าการทำให้สลายพันธะไกลโคซิดิกด้วยการใช้กรดที่ pH 2.5 และ 3.5 ร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิ 50° 70° และ 90°C . โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พบว่าเมื่อได้รับความร้อนสูง และ pH 2.5 ทำให้สาร geranial และ neral มีปริมาณลดลงเพราะความร้อนที่มากกว่า 50°C . ทำให้เอนไซม์ไกลโคซิเดสเกิดการเสียสภาพจากธรรมชาติไปไม่สามารถทำงานได้ จึงพบว่าปริมาณสารระเหยในรูปไกลโคไซด์เพิ่มขึ้น และความร้อนยังเป็นปัจจัยที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยา acid-catalysis ของ geranial และ neral กลายเป็นสาร α -p-cymen-8-ol นอกจากนั้นชุติวรรณ (2551) ยังได้รายงานอีกว่าในการอบแห้งกระชายที่อุณหภูมิ 55°C . เป็นเวลา 4.5 ชม. มีผลทำให้สารระเหยหลักได้แก่สาร (E)- α -ocimene, สาร 1,8-cineole สาร geranial, camphor และสาร (Z)- α -ocimene ลดลง และกลุ่มสารที่ให้กลิ่นที่สำคัญ

เช่น α -terpinene, alloocimene, methyl cinnamate, 1,8- cineole, สาร geranial และสาร geranylpropionate มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกระชายสด

การเปลี่ยนแปลงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ลดลง ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากการสูญเสียปริมาณน้ำมันหอมระเหยในระหว่างการอบแห้ง เพราะน้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบหลักก็คือสาร terpenoids, terpenes, sabinene, terpinene-4-ol, DMPBD, vitamins (A, B, C) และกลุ่มสารสีต่างๆที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระคือ carotenoids ที่ให้สารสีเหลืองและสีส้มที่มีในเหง้าโพล หรือสารชนิดใดชนิดหนึ่งอาจลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงเกินไป ดังนั้นผลของการทดลองนี้สอดคล้องกับ Capecka และคณะ (2005) ที่รายงานว่าในการอบแห้งมะนาวและสละระแนง พบว่าปริมาณ antioxidant activity, phenolics และสาร carotenoids ลดลง และจิราพรและอรุสา (2552) ซึ่งได้รายงานว่าการให้ความร้อนทำให้มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดลดลง โดยเฉพาะในเมื่อใช้ความร้อนสูงนานเกินกว่า 30 นาที ทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบ phenolics สูงมาก และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระก็มีค่าลดลงเช่นกัน และสุจิราและคณะ (ไม่ระบุปี) ซึ่งได้รายงานว่าผลของการให้ความร้อน 100°C . เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาทีต่อเครื่องต้มชาและเครื่องเทศสมุนไพร พบว่าหลังการให้ความร้อน 100°C . เป็นเวลานาน 30 นาที มีผลทำให้ปริมาณ phenolics และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงมาก

กว่าการให้ความร้อน 100°ซ. เป็นเวลา 10 และ 20 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เหง้าโพลสดให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มากกว่าเหง้าโพล หลังการอบแห้งเสร็จแล้วที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ การลดลงของปริมาณน้ำมันหอมระเหย และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพกผันไปตามการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าส่วนที่เป็นเหง้าโพลสด มีคุณภาพหรือให้ ปริมาณน้ำมันหอมระเหย และฤทธิ์ต้านอนุมูล อิสระมากกว่าเหง้าโพลหลังจากการอบแห้งก็ตาม แต่เหง้าโพลสดยังมีข้อเสียที่การเก็บรักษาได้นาน นาน สูญเสียน้ำหนักสด เกิดเชื้อราและยีสท์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมีปฏิกิริยาต่างๆ ที่มีผลต่อการลดลงของคุณภาพสี กลิ่นและสาร สำคัญอีกด้วย

Table 2. Effect of drying temperatures on antioxidant activity and volatile oil content of sliced cassumunar ginger rhizome

Drying temperature (°C)	Volatile oil content (% V/W)	Antioxidant activity (% DPPH)
Control	2.97±0.01 a	84.68±1.02 a
40	2.47±0.06 b	75.09±6.71 b
60	2.33±0.05 c	68.20±3.39 c
80	1.30±0.01 d	65.54±1.25 cd
100	0.50±0.01 e	59.49±0.39 d
CV (%)	2.81	4.84

± = standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 1% level by DMRT.

4. อุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเหง้าโพลแบบแว่นบาง

การวัดค่าสีเหง้าโพลแบบแว่นบางก่อน และหลังการอบแห้งด้วยเครื่อง colour meter (MiniScan'EZ) พบว่าการอบแห้งเหง้าโพลที่ อุณหภูมิในระดับต่างกันให้ผลแตกต่างกันทาง สถิติอย่างมีนัยสำคัญ และค่าความสว่างมากที่สุด ในเหง้าโพลสดเท่ากับ 62.02±0.60 และ เหง้าโพลอบแห้ง 60° 80° 100° และ 40°ซ. คือ 59.38±4.58 58.99±0.901 53.94±4.06 และ 49.60±3.46 ตามลำดับ (Table 3) อุณหภูมิอบแห้งมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของสี โดยเฉพาะค่าของความสว่าง ซึ่งสอดคล้องกับ Predner และคณะ (2008) ที่รายงานว่าเมื่อนำ เอมันเทศมาหั่นเป็นแผ่นบาง และนำไปอบแห้ง ที่ระดับอุณหภูมิ 25° 50° และ 70°ซ. เพื่อตรวจสอบ ถึงการเปลี่ยนแปลงค่าของสี พบว่าการอบแห้งที่ใช้ อุณหภูมิ 70°ซ. มีค่าของความสว่างสูงกว่าการอบแห้งที่ใช้ อุณหภูมิ 50° และ 25°ซ. ซึ่ง ความสว่างของสีที่สูญเสียไปในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°ซ. มีเพียง 2.82% ส่วนอบแห้งที่อุณหภูมิ 50° และ 25°ซ. สูญเสียค่า ความสว่างมากที่สุดคือ 21.37 และ 47.58% ตามลำดับ

เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40° 60° 80° และ 100°ซ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าที่เป็นสีแดงเท่ากับ 9.94±1.64 8.22±0.65 7.37±0.97 และ 7.51±0.90 ตามลำดับ อบแห้งที่ 40°ซ. พง โพลเป็นสีแดงคล้ำ และอบแห้งที่ 60°ซ. พงโพล เป็นสีเหลืองอมแดงเล็กน้อย เมื่ออบแห้งที่ 100°ซ.

ผงเหง้าโพลมีแวนอนิมที่จะเป็นสีเหลืองอมเขียวเล็กน้อย และผลทดลองนี้สอดคล้องกับอรุษาและคณะ (2552) ที่ได้รายงานว่าการให้ความร้อนต่อกระเจียบและอัญชันที่อุณหภูมิ 80 ° และ 90 °ซ. ถึงแม้ว่าสารให้สีแอนโทไซยานินที่มีความคงตัวสูงก็ตาม หลังการให้ความร้อนพบว่าสารประกอบของสีแอนโทไซยานินคือ polymeric มีแวนอนิมที่ลดลงอีกด้วย

ส่วนค่าที่เป็นสีเหลือง เหง้าโพลสดที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบมีค่าสีเท่ากับ 55.71±1.52 ซึ่งมีค่ามากที่สุด รองลงมาได้แก่เหง้าโพลอบแห้งที่ 80° 100° 60° และ 40°ซ. ค่าสีที่วัดได้คือ 47.95 44.74±2.16 42.76±0.44 และ 27.12±3.76 ตามลำดับ และผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับฉลองรัตน์ (2547) ซึ่งรายงานว่ามีอบแห้งเหง้าชึ่งที่อุณหภูมิต่างกันคือ 40° 50° 60° และ 70°ซ. ทำให้การอบแห้งชึ่งที่อุณหภูมิสูงกว่ามีค่าที่เป็นสีส้มเข้มกว่า และสวยกว่าเหง้าชึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นรัตนและวิไลรัก (2541) ที่รายงานว่าการอบแห้งชึ่งที่ใช้อุณหภูมิสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งเป็นสีเหลืองเข้มกว่าอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ค่าที่เป็นสีเหลือง มีค่าต่ำที่สุดคือ 27.12±3.76 จากเหง้าโพลอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ. ค่าความสว่างน้อยที่สุดคือ สีคล้ำกว่าอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิอื่นๆ (Table 3) เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งต่ำเกินไป บรรจุเหง้าโพลระหว่างการอบแห้งในปริมาณมากเกินไป และตัวอย่างโพลมีความชื้นสูงแต่ระดับอุณหภูมิต่ำจะทำให้ช่วงเวลาในการอบแห้งใช้เวลานานขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด

Table 3. Effect of drying temperatures on colour value of sliced cassumunar ginger rhizome

Drying temperature (°C)	Colour formula		
	L*	a*	b*
Control	62.02±0.60 a	7.78±0.70 b	55.71±1.52 a
40	49.60±3.46 c	9.94±1.64 a	27.12±3.76 d
60	59.38±4.58 ab	8.22±0.65 ab	42.76±0.44 c
80	58.99±0.90 ab	7.37±0.97 b	47.95±2.53 b
100	53.94±4.66 bc	7.51±0.90 b	44.74±2.16 bc
CV (%)	05.89	12.67	5.40

± = standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 1% L*, B* and 5% a* level by DMRT.

ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นคือการเกิดปฏิกิริยา oxidization

จึงทำให้เหง้าโพลหลังการอบแห้งมีสีคล้ำกว่าอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงสอดคล้องกับอรุษาและคณะ (2551) ซึ่งรายงานว่าการอบแห้งเหง้าโพลที่อุณหภูมิ 40° 45° และ 50°ซ. โดยการหั่นเหง้าโพลเป็นแผ่นบาง 0.25 และ 0.75 ซม. หลังการอบแห้งพบว่าเหง้าโพลหั่น 0.75 ซม. ใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าเหง้าโพลหั่น 0.25 ซม. เมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้น มีผลต่อการเกิดมีปฏิกิริยา oxidization ทำให้คุณภาพของสีที่ได้ต่ำกว่าเหง้าโพลหั่น 0.25 ซม.

สรุปผลการทดลอง

ระดับของอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหอมระเหย และฤทธิ์

ด้านอนุมูลอิสระลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ส่วนค่าของความสว่าง และค่าที่เป็นสีแดงลดลง แต่ในทางตรงข้ามค่าที่เป็นสีเหลืองได้เพิ่มขึ้นตามระดับของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไหลในทุกด้าน เมื่อเทียบกับเหง้าไหลสด และการเปลี่ยนแปลงมีผลทางตรงข้ามกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ถึงแม้ว่าเหง้าไหลสดให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเหง้าไหลหลังการอบแห้งก็ตาม แต่เหง้าไหลสดจะเก็บรักษาได้ไม่นาน ดังนั้นเหง้าไหลที่ได้หลังการอบแห้งให้เหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 13% dry-basis เป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่าการเก็บรักษาเหง้าไหลสด และในการอบแห้งเหง้าไหลแบบแวนบางเพื่อไม่ให้คุณภาพมีการเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลง น้อยที่สุด อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 °ซ.

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณโครงการ Thailand International Cooperation Agency (TICA) ที่ให้ทุนสนับสนุนผู้วิจัยลำดับที่ 1 ตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา 3 ปี (พ.ศ. 2551 - 2553) รวมทั้งภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา ชัยน วิบูลย์ ช่างเรือ และศุภศักดิ์

ลิมปิติ. 2552. การอบแห้งตะไคร้ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้. ว. วิทย. กษ. 40 (3) (พิเศษ): 383-386.

จิราพร ชัยวรกุล และอรุสา สุริยาพันธ์. 2552. ผลของการให้ความร้อนต่อสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการกำจัดอนุมูลอิสระของผลมะระขี้นก. ว. วิทย. กษ. 40 (3) (พิเศษ) : 241-244.

ฉลองรัตน์ สีทไกร ประภาพร คุณปัญญา และลลิตา ศิริจารุทัศน์. 2547. การทำแห้งพืชสมุนไพรไทย (ชิงและบัวบก) ด้วยตู้อบลมร้อน. งานวิจัยนักศึกษา ภาค วิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง http://www.kmitl.ac.th/foodeng/new/file/project/2547__5.doc ,15/7/2552.

ชุติวรรณ นิมิตรใหม่. 2551. สารให้กลิ่นกระชายแปรรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 96 หน้า.

เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2551. การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบบีบความร้อนร่วมกับไมโครเวฟเพื่ออบแห้งสมุนไพร. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 213 หน้า.

นันทนา สิทธิชัย. 2547. มาตรฐานของสมุนไพร

- ในตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย. ว. สมุนไพรไทย 11(1) : 21-32.
- นิรนาม. (ไม่ระบุปี). *อุตสาหกรรมพืชเครื่องเทศ และพืชน้ำมันหอมระเหย*. <http://eservice.agri.cmu.ac.th/download/course/lec, 2/8/2010>.
- นิรนาม. 2532. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม " ขมิ้นชันแห้ง "* มอก. 890-2532. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 15 หน้า.
- พรสวรรค์ ดิษยุบุตร และศิริเพ็ญ จรรย์ขม. 2546. *เครื่องสำอางจากสมุนไพร*. พิมพ์ครั้งที่ 1 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ. 160 หน้า.
- พิชามณูชู้ สว่างสุข. 2551. *ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้ (Cymbopogon citratus (DC.) Stapf)*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 105 หน้า.
- เพ็ญจันทร์ กรุณามัยวงศ์. 2546. *การแปรรูปสมุนไพรไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์ตัว น. กรุงเทพฯ. 193 หน้า.
- รัตนา อัดตปัญญา และวิไลรัก บุญใหญ่. 2541. *การเลือกใช้เทคโนโลยี และเครื่องจักรในการผลิตผักและผลไม้อบแห้งระดับครัวเรือน*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 40 หน้า.
- รุ่งฤดี พรสกุลเลิศชัย. 2550. *การศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไพลโดยใช้วิธีไมโครเวฟ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 140 หน้า.
- วิไล รังสาตทอง. 2546. *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บริษัทเท็กพีแอนด์เจอร์นัลพับลิเคชันจำกัด กรุงเทพฯ. 500 หน้า.
- เวียง อากรชี่ พิมพ์ วุฒิสินธุ์ ชูศักดิ์ ชาวประดิษฐ์ บัณฑิตา แสลงวงษา พุทธินันท์ จารุวัฒน์ ตัญญา กองช่าง และสนอง อมฤกษ์. 2551. *วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งลำไยแบบชาวบ้าน*. หน้า 14-18. ใน: *รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2551*. กรมวิชาการเกษตร.
- สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 338 หน้า.
- สมพร ภูதியานันต์. 2551. *สมุนไพรใกล้ตัวเล่มที่ 13 ว่าด้วยสมุนไพรแต่งสี กลิ่นรส*. สำนักพิมพ์คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 117 หน้า.
- สมภพ ประธานธูวารักษ์ และพร้อมจิต ตรีลัมพ์. 2547. *สมุนไพร การพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ที่ยั่งยืน*. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนัก

- พิมพ์โอเดียนสโตร. 185 หน้า.
- เสริม จันทร์ฉาย และจรวงแสง ลักษณะบุญส่ง. 2547. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 225 หน้า.
- สุจิรา อายุสุข สุนิสา ศิริพงศ์วุฒิกกร ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และวรพงษ์ อัครกตมณี. (ไม่ระบุปี). ผลของการใช้ความร้อนต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันในเครื่องต้มช้ำ และเครื่องเทศ/สมุนไพรที่เป็นองค์ประกอบในเครื่องต้มช้ำ. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 9 หน้า.
- อดุลย์ หลักชัย วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล วิบูลย์ ช่างเรือ และพฤทธ์ สกกุลช่างสังจะทัย. 2551. อิทธิพลของอุณหภูมิและความหนาต่อการอบแห้งโพลหันด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน. *ว. วิทย. กษ.* 39 : 3 (พิเศษ) : 335-338.
- อรุษา เขาวนลิขิต ศิโรรัตน์ อภิขยาร์กั สรารัตน์ คงทอง และสุชนา ชูประทุม. 2552. ผลกระทบของ pH และอุณหภูมิต่อสีและความคงตัวของสารสกัดจากกระเจียบและอัญชัน. *ว. วิทย. กษ.* 40 : 3 (พิเศษ) : 5-8.
- Anon. 2005. Herbs, Spices and Essential oils, Post-harvest Operations in Developing Countries, [http://e-service.agri.cmu.ac.th/download/](http://e-service.agri.cmu.ac.th/download/course/lec, 6/8/ 2010)
- Capecka, E., A. Mareczek and M. Leja. 2005. Antioxidant activity of fresh and dry herbs of some Lamiaceae species. *J. Food Sci.* 93: 223-226.
- Cousins. M., J. Adelderg., F. Chen. and J. Rirck. 2007. Antioxidant capacity of fresh and dried rhizomes from four clones of turmeric (*Curcuma longa* L.) grown *in vitro*. *J. Industrial Crops and Products* 25: 129-135.
- Hanaa. F.M., A.E. Shafy., A. Nafeh., F.H. Fahmy. and M.A. Hassan. 2008. Medicinal herb drying using a photovoltaic array and a solar thermal system, *J. Sci. Energy* 82: 1154-1160.
- Miller. J., G. Reisinger., J. Kisgeci., E. Kotta., M. Tesic and W. Mhlbauer. 1989. Development of a greenhouse type solar dryer for medicinal plants and herbs. *J. Sci. Solar & Wind Tech.* 6: 523-530.
- Predner, D., P. Ch., Hsieh, P. Y, Lai. and A. L. Charles. 2008. Evaluation of drying methods on antioxidant activity, total phenolic and total carotenoid contents of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) var. Tai nong 73. *J. Inter. Coop.* 3 (2): 73-86.