



## ผลกระทบจากการจัดการไหลอากาศร้อนต่อความสม่ำเสมอของความชื้นในการอบแห้งมะคาเดเมีย

## Effects of Hot Air Flow Management on Moisture Content Uniformity in Macadamia Drying

บดินทร์ ณ จินดา<sup>1\*</sup>, ดามร บัณชुरัตน์<sup>1</sup>

Bodin Na Jinda<sup>1\*</sup>, Damorn Bundhurat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 50200

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai, 50200, Thailand

\*Corresponding author: Tel: +66-93-138-8755, E-mail: [bodin700@gmail.com](mailto:bodin700@gmail.com)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบของการจัดการการไหลอากาศร้อนที่มีผลต่อความชื้นในการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมีย โดยการปรับความเร็วลมในการอบแห้งและพื้นที่ทางออกของลมร้อน โดยมีจุดประสงค์เพื่อหารูปแบบการอบแห้งที่ทำให้ความชื้นระหว่างด้านบนและด้านล่างชั้นอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมียมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดรวมถึงการสร้างเครื่องอบลมร้อนขนาดเล็กและหาค่าการใช้พลังงานในการอบแห้ง

เครื่องอบลมร้อนขนาดเล็กถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบการอบแห้งแบบต่างๆ ความเร็วลมจะถูกปรับโดยหม้อแปลงขนาด 12V ที่ปรับได้สองระดับซึ่งต่อเข้ากับพัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Blower) ที่ทำหน้าที่เป่าลมเข้าห้องอบแห้ง ทางออกลมร้อนถูกออกแบบให้มีฝาปิดที่ถอดออกได้เพื่อปรับเปลี่ยนขนาดของพื้นที่ทางออกลมร้อน การทดลองมีสี่รูปแบบ ทำการทดลองแบบละ 4 ชั่วโมงในการอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 60°C อบแห้งจนกระทั่งความชื้นอยู่ที่ประมาณ 3.0-3.5% db

จากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งขนาดเล็กสามารถทำงานได้ตามรูปแบบการอบแห้งที่ออกแบบไว้ ความเร็วลมและขนาดพื้นที่ทางออกลมร้อนมีผลต่อความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมียและปริมาณพลังงานที่ใช้ การอบแห้งแบบความเร็วลมต่ำช่องทางออกลมร้อนแคบสามารถทำให้ความชื้นระหว่างชั้นอบแห้งต่างกันน้อยที่สุด ที่ 1.11%

คำสำคัญ: มะคาเดเมีย, การอบแห้ง, การไหลอากาศร้อน

### Abstract

The research is setup to study the effects of hot air flow management on macadamia moisture contents by adjusting wind speeds and hot air outlet areas. There are three objectives to be completed: to find the most appropriate drying condition, which contributes the closest moisture content between lower and upper drying layers, to build a small hot air dryer and to calculate fuel consumption.

The small dryer was built for testing the designed drying types. The wind speeds were adjusted by an adjustable voltage transformer, which connected to a centrifugal blower. The outlet areas were adjustable in order to change the size of the arrears. This research has four drying types, repeatedly operating four times per each. Drying temperature is around 60°C. Maintain the experiments until the final moisture reach 3.0-3.5%db.

From the experiments, discovering that the small dryer could work well with the designed drying types. Wind speeds and outlet areas affected macadamia moisture content and fuel consumption. The best drying type is to use low wind speed and a narrow outlet area that gives the moisture contain difference at 1.11%. Keywords: Macadamia, Drying, Hot air flow

### 1 บทนำ

มะคาเดเมียเป็นไม้ยืนต้น สามารถปลูกได้บนพื้นที่หนาวเย็น มะคาเดเมียเป็นพืชที่ใช้เมล็ดในการรับประทาน “การอบแห้งเป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของมะ

คาเดเมีย (Warangkana, 2012)” มีการศึกษาเทคนิคการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมีย (Nut in shell) โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วย เช่น การใช้ลมร้อนร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ “Yunyang Wang et al. (2013)” และ “FA-Silva et al. (2005)” หรือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ “S.Janjai et al. (2014)” แต่ผู้วิจัยมีความ

สนใจในการอบแห้งลมร้อนแบบกะ (Batch drying) ซึ่งปัญหาที่พบ คือ ความแตกต่างของความชื้นระหว่างชั้นบนและชั้นล่างของการอบแห้ง ซึ่งเป็นธรรมชาติของการอบแบบกะ “Loewer et al. (1994)” และโดยปกติความชื้นด้านบนจะมีค่ามากกว่าด้านล่าง ส่งผลทำให้ได้สัดส่วนเมล็ดเต็ม น้อยเมื่อเข้าสู่กระบวนการกระเทาะเปลือกซึ่งเป็นกระบวนการถัดจากกระบวนการอบแห้ง โดยราคาของเมล็ดเต็มจะสูงกว่า

ผู้วิจัยจึงสร้างเครื่องอบลมร้อนขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมีย โดยมีจุดประสงค์เพื่อหารูปแบบการอบแห้งที่ทำให้ความชื้นสุดท้ายของเมล็ดมะคาเดเมียระหว่างด้านบนและด้านล่างชั้นอบมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการปรับความเร็วลมและพื้นที่ทางออกลมร้อน รวมทั้งหาการใช้พลังงานในการอบแห้งแต่ละรูปแบบ

ในการทดลอง ใช้เมล็ดมะคาเดเมียที่มีการคัดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25.26mm อุณหภูมิในการอบแห้งประมาณ 60°C ความหนาชั้นอบสูง 30cm และความชื้นสุดท้ายในการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมียอยู่ที่ 3.0-3.5%db เพื่อป้องกันการงอกและการเน่าเสียระหว่างการเก็บรักษา “Toyoda et al. (1991)”

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองเริ่มจากการสร้างเครื่องอบลมร้อนขนาดเล็ก มีขนาดห้องอบแห้งรูปทรงกระบอกปริมาตร  $2.18 \times 10^{-2} \text{ m}^3$  ด้านบนมีฝาปิดเจาะรูที่สามารถถอดออกได้เพื่อปรับเปลี่ยนขนาดของช่องทางออกลมร้อน ใช้เตาแก๊สอินฟราเรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16cm เป็นแหล่งสร้างความร้อน ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ลมร้อนถูกเป่าโดยพัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal fan) ขนาด 12v ปรับความเร็วรอบได้สองระดับโดยหม้อแปลงไฟฟ้า โดยส่วนประกอบของเครื่องอบอย่างง่ายแสดงใน Figure 1

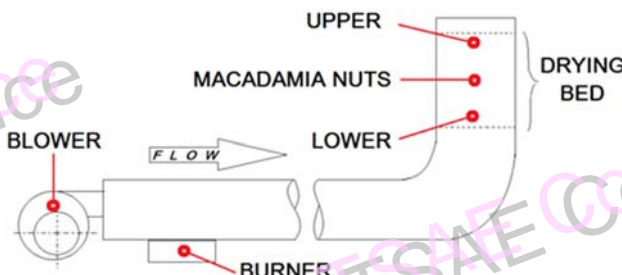


Figure1 Details of the small dryer and drying areas

ในการทดลองอบจะบรรจุเมล็ดมะคาเดเมียในห้องอบแห้ง (drying bed) ให้มีความสูง 30 cm ปรับเงื่อนไขการอบทั้งหมดสี่รูปแบบ แต่ละรูปแบบการทดลองจะทำการทดลอง 4 ซ้ำ รวมทั้งหมด 16 การทดลอง ในหนึ่งการทดลองใช้เมล็ดมะคาเดเมียประมาณ 6.5 kg รวมแล้วทั้งหมด 104 kg โดยมีรายละเอียดรูปแบบการทดลองตามที่แสดงใน Table1

Table1 Drying type category

No	Wind speed	Outlet area	Symbol
1	low	wide	LW
2	low	narrow	LN
3	high	wide	HW
4	high	narrow	HN

การทดลองเริ่มโดยการอบเมล็ดมะคาเดเมียที่คัดขนาดแล้ว ซึ่งมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่ 25.26mm ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 14.68%db โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60°C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเมล็ดมะคาเดเมียทุกๆสามชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มจนถึงสิ้นสุดการอบแห้งแล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปอบกับตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง เพื่อนำข้อมูลน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความชื้น ณ เวลานั้นๆ โดยใช้สูตรคำนวณหาความชื้นตามสมการที่ 1

$$M(\%db) = \frac{(W-d)}{d} \quad (1)$$

แต่ละรูปแบบการทดลองจะมีค่าความเร็วลมที่ทางออกลมร้อนและอัตราการไหลที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลทำให้ความดันในห้องอบแห้งต่างกัน ดังแสดงใน Table2

Table2 Wind speed, flow rate and pressure in the drying chamber

Drying Type	Wind speed (m s <sup>-1</sup> )	Flow rate (cm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Pressure in the drying chamber (N m <sup>-2</sup> )	
			Upper	Lower
LW	0.4	132.00	10	60
LN	2.7	103.87	10	80
HW	0.8	264.00	10	160
HN	4.9	188.50	20	180

## 3 ผลและวิจารณ์

จากการทดลองพบว่า การปรับความเร็วและขนาดช่องทางออกของลมร้อนส่งผลต่อความดันในห้องอบแห้งโดยเฉพาะบริเวณชั้นอบด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่ออัตราการไหลของลมร้อน และการใช้พลังงาน ลักษณะการไหลของลมร้อนที่แตกต่างกันทำให้ได้ลักษณะของกราฟการอบแห้ง (Drying curve) ที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน Figure2-5เส้นกราฟ upper และ lower แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมียที่อยู่ด้านบนและด้านล่างของห้องอบ

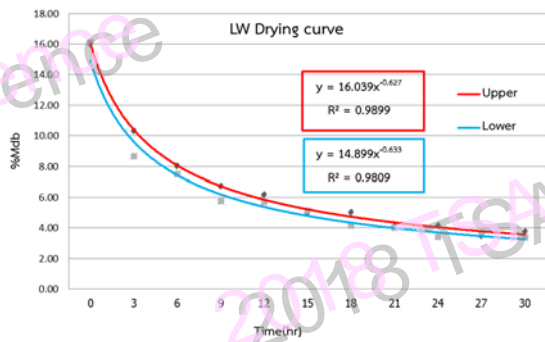


Figure2 LW drying curve

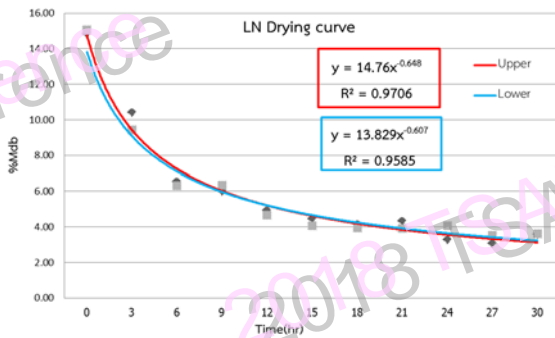


Figure3 LN drying curve

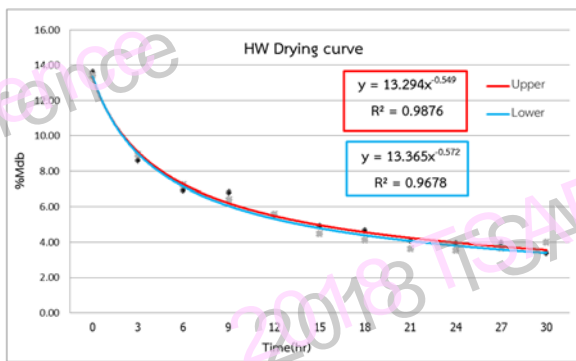


Figure4 HW drying curve

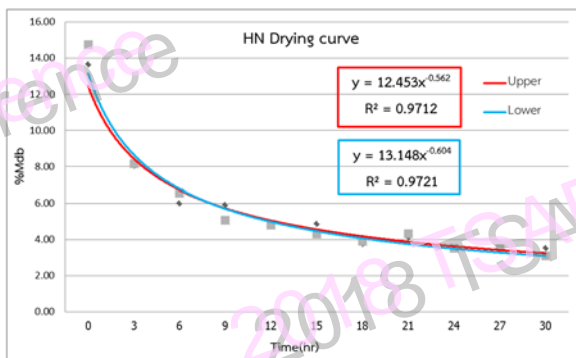


Figure5 HN drying curve

เมื่อนำข้อมูลการอบแห้งทุกรูปแบบมาเปรียบเทียบกัน พบว่าการปรับช่องทางออกลมร้อนให้แคบทำให้ความแตกต่างของความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมียระหว่างด้านบนและด้านล่างชั้นอบแห้งมีค่าน้อยกว่าการใช้ช่องทางออกลมร้อนกว้าง โดยในการอบที่ใช้ความเร็วลมต่ำและช่องทางออกลมร้อนให้แคบ(LN) มี

ความแตกต่างของความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 1.11% และส่วนแบบกว้าง (LW) อยู่ที่ 10.59% ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลที่ว่า โดยทั่วไปด้านล่างชั้นอบจะมีความชื้นน้อยกว่าด้านบนเพราะลมร้อนที่ผ่านด้านล่างชั้นอบมีความชื้นน้อยกว่า จากนั้นลมร้อนจะเคลื่อนที่ไปสู่ด้านบนชั้นอบโดยพาความชื้นจากด้านล่างชั้นไปด้วย ทำให้ลมร้อนที่ผ่านด้านบนชั้นอบรับน้ำได้น้อยกว่าด้านล่าง แต่เมื่อช่องทางออกลมร้อนมีขนาดเล็กลงทำให้ความชื้นระบายออกจากห้องอบแห้งได้น้อยกว่า อีกทั้งยังมีอัตราการไหลที่น้อยกว่า ดังจะเห็นได้จากความชื้นด้านล่างของการอบที่ใช้ช่องทางออกแคบ (LN) มีค่ามากกว่าแบบที่ใช้ช่องทางออกกว้าง(LW) ที่ 3.61% และ 3.40% ตามลำดับ เมื่อความชื้นด้านล่างชั้นอบระเหยได้น้อย ทำให้ลมร้อนที่ผ่านด้านบนชั้นอบสามารถรับน้ำได้มากขึ้น ดังจะเห็นว่าความชื้นที่ด้านบนชั้นอบของการอบที่ใช้ช่องทางออกแคบ (LN) น้อยกว่าการอบที่ใช้ช่องทางออกกว้าง (LW) ที่ 3.57% และ 3.78% ตามลำดับ ดังแสดงใน Table3

การใช้ความเร็วลมสูงให้ผลในทางเดียวกัน โดยความแตกต่างความชื้นสุดท้ายของเมล็ดมะคาเดเมียของรูปแบบการอบที่ใช้ทางออกลมร้อนแคบ (HN) อยู่ที่ 10.31% และแบบกว้าง (HW) อยู่ที่ 16.46% ดังแสดงใน Table3 อัตราการไหลที่มากทำให้สามารถนำพลังงานไปกับลมร้อนได้มากในระยะเวลาที่เท่ากัน แต่ระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนกับเมล็ดมะคาเดเมียจะน้อยลง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความดันอากาศในห้องอบแห้งถึงกว่าสองเท่าตัวเมื่อเทียบกับการใช้ความเร็วลมต่ำ ดังแสดงใน Table2 การที่มีความดันที่มากส่งผลให้น้ำจากภายในเมล็ดมะคาเดเมียระเหยได้ยากกว่ารูปแบบที่มีความดันน้อยกว่า แต่อัตราการไหลที่มากกว่าก็สามารถพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งได้มากกว่าเช่นกัน ปัจจัยที่กล่าวมาทั้งหมดล้วนส่งผลต่อการอบแห้ง แต่ในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถสรุปว่าปัจจัยไหนส่งผลมากกว่ากัน

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการอบแห้งทั้งสี่แบบ (LW, LN, HW, HN) พบว่า การอบแห้งที่ใช้ความเร็วลมต่ำและช่องทางออกลมร้อนแคบ (LN) ให้ค่าความแตกต่างความชื้นสุดท้ายของเมล็ดมะคาเดเมียระหว่างด้านบนและด้านล่างชั้นอบน้อยที่สุด ที่ 1.11% แต่ค่าความชื้นสุดท้ายยังสูงกว่า 3.50% ซึ่งเป็นความชื้นแนะนำในการอบแห้งเมล็ดมะคาเดเมีย

Table 3 Final moisture contents with their difference and gas consumption

Drying type	Final Moisture %db		$\Delta$ Mdb (%)	Gas Consumption (kg h <sup>-1</sup> )
	Upper	Lower		
LW	3.78	3.40	10.59	0.175
LN	3.57	3.61	1.11	0.190
HW	3.40	4.01	16.46	0.267
HN	3.52	3.09	10.31	0.273
*PT	3.36	3.13	7.09	0.215

\*PT คือ รูปแบบการอบแห้งแบบผสมที่เลือกรูปแบบของการอบแห้งที่สามารถลดความชื้นเมล็ดมะคาเดเมียได้มากที่สุดในแต่ละช่วงมารวมกันไว้เป็นรูปแบบการอบเดียว

เนื่องจากแต่ละรูปแบบการทดลองมีการทดลองซ้ำ 4 ซ้ำ และเป็นการทำการทดลองกับผลผลิตทางการเกษตร จึงเป็นไปได้ยากที่จะควบคุมตัวแปรทุกตัวที่มีผลกระทบต่อผลการทดลองได้ แต่สามารถดูค่าความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ตามรายละเอียดใน Table 4

Table 4 Standard deviation

Drying type	LW	LN	HW	HN	PT
Upper	0.60	0.53	0.43	0.58	0.43
Lower	0.20	0.44	0.72	0.09	0.65

หลังจากทำการทดลองการอบแห้งทุกแบบแล้ว พบว่าการอบแห้งแต่ละแบบมีความสามารถในการลดความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมียแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้ง โดยในช่วงครึ่งแรกของการอบแห้ง (ชั่วโมงที่0-15) การอบแห้งที่ใช้ความเร็วลมต่ำทั้งแบบช่องทางออกแคบ (LN) และกว้าง(LW) สามารถลดความชื้นเมล็ดมะคาเดเมียได้ดีกว่าการอบแห้งที่ใช้ความเร็วลมสูง ส่วนในครึ่งหลังของการอบแห้ง(ชั่วโมงที่16-30) การอบแห้งแบบที่ใช้ความเร็วลมสูงและช่องทางออกแคบ (HN) สามารถลดความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมียได้ดีที่สุด โดยในบางช่วง การอบแห้งที่ใช้ความเร็วลมต่ำ(LW, LN) สามารถทำได้ดีเช่นกัน ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่ว่าถ้าในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งสามารถเลือกรูปแบบการอบแห้งที่สามารถลดความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมียได้มากที่สุดจะส่งผลให้ความชื้นลดลงมากกว่าการอบแห้งที่ใช้รูปแบบการอบเดียวตลอดระยะเวลาการอบแห้ง โดยให้ชื่อว่า PT (Pattern) ซึ่งแสดงรายละเอียดใน Table 5

Table 5 Prominent drying type at each period

No	Drying period(hr)	Drying type
1	0-3	LW
2	3-6	LN
3	6-9	LW
4	9-12	LN
5	12-15	LW
6	15-18	HN
7	18-21	LW
8	21-24	HN
9	24-27	LN
10	27-30	HN

จากการทดลองทำการอบแห้งแบบ PT พบว่า สามารถลดความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมียให้ต่ำกว่า 3.50%db โดยด้านบนชั้นอบมีความชื้น 3.36%db และด้านล่าง 3.13%db และยังให้ค่าความต่างความชื้นเป็นอันดับสองที่ 7.09% รองจากการ

อบแห้งที่ใช้ความเร็วลมต่ำและช่องทางออกแคบ(LN)ดังแสดงใน Table 3

#### 4 สรุป

การจัดรูปแบบการไหลของอากาศภายในเครื่องอบลมร้อนมีผลต่อความสม่ำเสมอของความชื้นในกองเมล็ดมะคาเดเมียอย่างชัดเจน โดยปัจจัยที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของความชื้นสุดท้ายมากที่สุดคือการปรับขนาดช่องทางออกของอากาศซึ่งจะมีผลต่อความเร็วลมที่ไหลออกจากห้องอบ รูปแบบการอบแห้งที่ทำให้ค่าความแตกต่างความชื้นระหว่างด้านบนและด้านล่างชั้นอบมีค่าน้อยที่สุดคือการอบแห้งที่ใช้ความเร็วลมต่ำและช่องทางออกกลมร้อนแคบ (LN) ที่ 1.11% แต่ความชื้นสุดท้ายยังสูงกว่าความชื้นแนะนำที่ 3.50%db อยู่ 2.00%

การใช้รูปแบบการอบแบบ PT โดยปรับรูปแบบการอบตามช่วงเวลาสามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดมะคาเดเมียให้ต่ำกว่าความชื้นแนะนำที่ 3.50%db ได้ และให้ค่าความแตกต่างความชื้นระหว่างด้านบนและด้านล่างชั้นอบดีเป็นอันดับที่สองรองจากการอบแบบ (LN)

#### 5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในงานวิจัย กองเกษตรวิศวกรรมที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการสร้างเครื่องอบแห้ง และมารดาที่ส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้เรียนหนังสือจนถึงบัดนี้

#### 6 เอกสารอ้างอิง

- F.A.Silva, A. Marsaioli Jr, G.J. Maximo, M.A.A.P. Silva, L.A.G.Goncalves. 2005. Microwave assisted drying of macadamia nuts. Journal of Food Engineering 77(550-558).
- Kiyohiko Toyoda, Yasuo Shibata, G.G.Mwangi, Ryuuuzou Takeuchi, Hatsuo Kojima. 1991. Study on Drying Characteristic of Macadamia Nuts. Japan Journal. Trop.Agr 35(2), 92-97.
- Otto J.Loewer, Thomas C.Bridges, Ray A.Buckin.1994. On-Farm Drying and Storage Systems.
- S. Janjai, C. Chusampao, W. Nilnont, P. Pankaew. 2014. Experimental performance and modeling of a greenhouse solar dryer for drying macadamia nuts. International Journal of Scientific & Engineering Research, volume 5 (1155-1161).
- Warangkana Srichamnon, 2012 Effects of Postharvest Treatments on Macadamia Nut Quality. PhD dissertation. New South Wales Australia: School of Chemical Engineering, The University of New South Wales.