http://journal.rmutp.ac.th/

การใช้ความร้อนระดับครัวเรือนเพื่อปรับปรุงคุณภาพของมะขามหวาน

มณี ภาชนะทอง วไลภรณ์ สุทธา และ วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์*

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

รับบทความ 27 กันยายน 2560; ตอบรับบทความ 18 มกราคม 2561

บทคัดย่อ

มะขามหวานเป็นพืชเอกลักษณ์และพืชเศรษฐกิจของจังหวัดเพชรบูรณ์ และได้รับการขึ้นทะเบียนบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ปัญหาสำคัญของมะขามหวานคือ การเสื่อมเสียจากเชื้อราซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ทำให้ผู้บริโภคไม่มั่นใจในคุณภาพ โดยเฉพาะมะขามหวานจากกลุ่มชุมชนขนาดเล็ก จึงทำการศึกษาการใช้ความร้อนระดับครัวเรือนเพื่อปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50, 60, 70 และ 80 นาที นำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าการให้ความร้อนแก่มะขามหวานเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้สีของมะขามหวานคล้ำขึ้นและมีผลทำให้เนื้อของมะขามหวานมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และจากการศึกษาการทำแห้งมะขามหวานด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลงและมะขามหวานมีสีคล้ำขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลทำให้ความชื้นและคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของมะขามหวานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) การเก็บมะขามหวานในถุงตาข่ายที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชื้นของเปลือกมะขามหวานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และสามารถรักษาสภาพที่ดีของมะขามหวานได้อย่างน้อย 12 สัปดาห์ โดยไม่พบการเสื่อมเสียของมะขามหวานจากเชื้อรา

คำสำคัญ: มะขามหวาน; ความร้อน; ครัวเรือน; สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +66 2665 3777, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: woralak.p@rmutp.ac.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

Household Heat Use to Improve Sweet Tamarind Quality

Manee Pachanatong Walaiporn Suttha and Woralak Panyathitipong*

Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
168 Sri Ayutthaya Road, Wachira Phayaban, Dusit, Bangkok 10300

Received 27 September 2017; Accepted 18 January 2018

Abstract

Sweet tamarind is a unique and economic plant of Phetchaboon province and it has already been geographical indication (GI) registered. One of its main problems is fungal degeneration which cannot be physically visible. This causes the consumer's uncertainty on its quality, especially sweet tamarind from small communities. This led to the study on the use of household heat to reduce fungal degeneration by steaming at 100°C for 50, 60, 70 and 80 minutes and drying in the hot air oven at 70°C for 3 hours. It was found that increasing the heat resulted in darkening the sweet tamarind color and heightening up its moisture content ($p \leq 0.05$). Drying temperature at 60, 70 and 80°C revealed the higher the heat, the shorter the drying time and the sweet tamarind content was darker. In addition, drying significantly decreased the moisture and preference score of sweet tamarind ($p \leq 0.05$). The storage of sweet tamarind in mesh bag at ambient temperature revealed that the increase of the storage time resulted in a significant increase in the moisture of the sweet tamarind shell ($p \leq 0.05$) and could preserve the tamarind for at least 12 weeks without the deterioration from the fungus.

Keywords: Sweet Tamarind; Heating; Household; Geographical Indication

** Corresponding Author. Tel.: +662 665 3777, E-mail Address: woralak.p@rmutp.ac.th*

1. บทนำ

มะขามหวานเป็นพืชเศรษฐกิจและพืชเอกลักษณ์ของจังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยสภาพอากาศและดินที่ดี ทำให้มะขามหวานมีความโดดเด่นในเรื่องของรสชาติที่จนได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication, GI) สายพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดคือพันธุ์สีทอง และศรีชมภู [1] นิยมซื้อเป็นของฝาก ปัญหาสำคัญของมะขามหวานคือการเกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราได้ โดยเชื้อราที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียในมะขามหวานคือ *Phomopsis* sp. โดยทำให้เกิดโรคฝักเน่า [2] ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ทำให้ผู้บริโภคไม่มั่นใจในคุณภาพของมะขามหวาน โดยเฉพาะมะขามหวานจากกลุ่มชุมชนขนาดเล็ก โดยการเกิดเชื้อราในมะขามหวานจะเกิดตั้งแต่การเริ่มออกดอก เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารเคมีฉีดลดลำต้นและพุ่มใบเพื่อลดการเกิดเชื้อรา ซึ่งการใช้สารเคมีทำให้มะขามมีการตกค้างของสารเคมี และเกิดผลเสียต่อสุขภาพของเกษตรกร การป้องกันและลดเชื้อราในมะขามหวานในอุตสาหกรรม นิยมทำโดยการอบในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ อบในเตาไมโครเวฟ การรมด้วยกำมะถัน การเก็บในห้องเย็น การฉายรังสี วิธีการดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง สำหรับกลุ่มชุมชนขนาดเล็กนิยมลดการเสื่อมเสียจากเชื้อราโดยการนึ่งในลังถึงและ/หรือผึ่งแดด ซึ่งสามารถช่วยลดการเกิดเชื้อรา แต่ยังคงพบการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อรา การเข้าทำลายของแมลงบางชนิด และสีของฝักไม่สม่ำเสมอ [3] โดยเฉพาะมะขามหวานพันธุ์ศรีชมพู ซึ่งมีลักษณะของเปลือกที่บางกว่ามะขามหวานสายพันธุ์อื่นพบการเสื่อมเสียมาก จึงทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของมะขามหวาน โดยการใช้ความร้อนระดับครัวเรือนและการทำแห้งมะขามหวานด้วยตู้อบลมร้อน เพื่อให้มะขามหวานมีคุณภาพ และสามารถเก็บรักษาได้นานด้วยวิธีที่กลุ่มชุมชนขนาดเล็กสามารถดำเนินการได้ เพื่อเพิ่มคุณภาพของมะขามหวาน และสร้างรายได้ให้กับกลุ่มชุมชนขนาดเล็ก

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมมะขามหวาน

มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูความยาว 12±1 เซนติเมตร จากเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนมะขามหวานบ้านตะเบาะ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ นำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส โดยใช้ลังถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร บรรจุชั้นละ 0.5 กิโลกรัม และนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่มีขนาดถาด 50x70 เซนติเมตร บรรจุถาดละ 0.5 กิโลกรัม จำนวน 8 ถาด ต่อครั้ง จากนั้นบรรจุในถุงตาข่าย ถุงละ 1 กิโลกรัม และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.2 การวัดค่าสีของมะขามหวาน

ทำการตรวจวัดค่าสีของเปลือกและเนื้อของมะขามหวานกับสมุดเทียบสี (The Munselle Book of Color) [4] โดยรายงานค่าสีเป็น ชนิดของสี ความสว่าง/ความเข้มของสี (H V/C) ดังนี้ [5]

H = Hue เฉดสี

V = Value ความสว่างของสี (0-10; สีดำ-สีขาว)

C = Chroma ความเข้มของสี (0 คือ มีความเข้มของสีของน้อยที่สุด)

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและ a_w

นำส่วนของเนื้อมะขามหวานหรือเปลือกของมะขามมาทำให้มีขนาดประมาณ 0.2 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอินฟาเรด (Moisture Determination Balance รุ่น FD-620, Kett Electric Laboratory, Japan) และเครื่องวิเคราะห์ a_w (Aqualab Series 3, Decagon Devices, Inc., USA)

2.4 น้ำหนักที่หายไป

นำมะขามหวานที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ มาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และทำการสุ่ม

ตัวอย่างมะขามมาชั่งน้ำหนักทุก 30 นาที คำนวณปริมาณน้ำหนักที่หายไป ดังสมการที่ (1)

$$\text{น้ำหนักที่หายไป (\%)} = \frac{(A - B) \times 100}{A} \quad (1)$$

โดยที่

A = น้ำหนักก่อนทำแห้ง

B = น้ำหนักหลังทำแห้ง

2.5 การตรวจสอบเชื้อราและสิ่งผิดปกติ

ทำการสุ่มมะขามหวานมาตรวจสอบการเกิดเชื้อรา และสิ่งผิดปกติด้วยสายตาทุกสัปดาห์

2.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด) ปัจจัยที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 60 คน

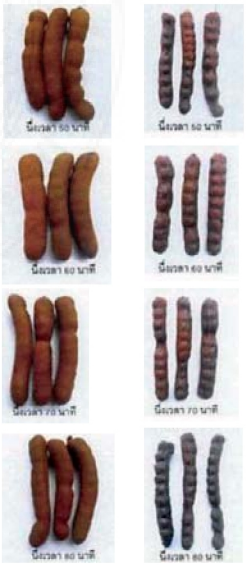
2.7 สถิติและการวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลของเวลาในการให้ความร้อนต่อคุณภาพของมะขามหวาน

ผลการศึกษาระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่มะขามหวานด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส ได้แก่ 50, 60, 70 และ 80 นาที และนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแตกต่างกันทำให้ได้ลักษณะของมะขามหวานแตกต่างกัน เมื่อนำมะขามหวานมาทำการวัดค่าสี โดยเทียบสีจากสมุดเทียบสี ซึ่งสีของเปลือก และเนื้อของมะขามหวานมีสีเหลืองแดง 7.5YR และ 5YR ตามลำดับ ซึ่งเป็นสีตามธรรมชาติของมะขามหวานสอดคล้องกับการทดลองของ C. Oupadissakoon et al. [4] โดยทำการวัดค่าสีของมะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีการเพาะปลูกในประเทศไทยพบว่าสีของมะขามหวานมีสีอยู่ในช่วง 10R-7.5YR ดังรูปที่ 1 การให้ความร้อนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มะขามหวานมีสีเข้มมากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยมะขามหวานที่ได้รับความให้ความร้อนเป็นเวลา 80 นาที มีสีของเปลือกและเนื้อของมะขามหวานมีสีที่เข้มที่สุด ดังตารางที่ 1 เนื่องจากมะขามหวานมีปริมาณน้ำตาลสูง และเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานาน อาจเป็นผลทำให้เนื้อมะขามมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากการใช้ความร้อนสูงสามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งมะขามหวานมีปริมาณน้ำตาลสูง [4] โดย N. Van den Bilcke et. al. [6] ทำการวิเคราห์ปริมาณน้ำตาลในมะขามของประเทศไทยพบว่ามีปริมาณน้ำตาลดังนี้ น้ำตาลกลูโคสร้อยละ 22.70 ฟรักโทสร้อยละ 24.93 แมนโนสร้อยละ 1.06 และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 48.79



รูปที่ 1 มะขามหวานที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ตารางที่ 1 สีของมะขามหวานที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลา	สี	
(นาที)	เปลือก	เนื้อ
ตัวอย่างควบคุม*	7.5YR 5/6	5YR 4/4
50	7.5YR 4/4	5YR 3/4
60	7.5YR 4/2	5YR 3/4
70	7.5YR 3/2	5YR 2/4
80	7.5YR 3/2	5YR 2/4

* ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและการทำแห้ง

เมื่อนำเปลือกและเนื้อของมะขามหวานมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าเวลาที่ให้ความร้อนกับมะขามหวานไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของเปลือกมะขามหวาน ($p>0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณความชื้นของเนื้อมะขามหวาน ($p\leq0.05$) โดยเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของเนื้อมะขามหวานเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังตารางที่ 2 โดยพบว่ามะขามหวานที่ให้ความร้อนที่เวลา 80 นาที มีปริมาณความชื้นมากที่สุด โดยจากการสังเกตพบว่าเนื้อมะขามหวานที่ผ่านการให้ความร้อนที่เวลา 80 นาที มีลักษณะเนื้อที่มีความฉ่ำน้ำมากที่สุด เนื่องจากที่เปลือกของผลไม้มีคิวติเคิลซึ่งเป็นสารในกลุ่มของไขมันทำหน้าที่ป้องกันการผ่านเข้าออกของน้ำ [7] โดยความร้อนสามารถทำลายคิวติเคิลที่เปลือกของมะขามหวาน เมื่อมะขามหวานได้รับความร้อนจากไอน้ำทำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านเปลือกเข้าไปสู่เนื้อมะขามหวานได้มากจากการให้ความร้อนเป็นเวลา 50-80 นาที และทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าความชื้นในเนื้อของมะขามหวานอยู่ในกลุ่มของมะขามหวานที่มีความชื้นระดับต่ำ (12.95-14.90%) ถึงระดับปานกลาง (15.32-19.99%) [8]

ตารางที่ 2 ความชื้นของมะขามหวานที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลา	ความชื้น (%)	
(นาที)	เปลือก^{ns}	เนื้อมะขาม
ตัวอย่างควบคุม*	9.64±0.66	16.34±0.50^{b}
50	9.87±0.46	15.21±0.76^{d}
60	9.61±0.74	15.79±0.39^{c}
70	9.83±0.55	16.19±0.48^{bc}
80	9.86±0.60	16.82±0.62^{a}

* ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและการทำแห้ง

ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p>0.05$)

เมื่อนำมะขามหวานไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3) พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่มะขามหวานมีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบมีแนวโน้มลดลงทุกคุณลักษณะเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อน โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลทำให้สีเปลือกและสีของเนื้อของมะขามหวานมีคะแนนความชอบลดลง เนื่องจากสีเปลือกและสีเนื้อของมะขามหวานมีสีเข้มคล้ำขึ้นดังรูปที่ 1 ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลทำให้คะแนนความชอบมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลทำให้มะขามหวานมีความชื้นมากขึ้นทำให้เนื้อมะขามแฉะและติดมือเมื่อสัมผัส โดยสอดคล้องกับ S. Suktanarak and S. Teerachaichayut [8] ซึ่งกล่าวว่าปริมาณความชื้นในมะขามหวานเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามหวาน โดยมะขามหวานที่มีความชื้นต่ำทำให้ได้มะขามที่มีเนื้อแห้งมากกว่ามะขามหวานที่มีความชื้นสูง

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของมะขามหวานที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

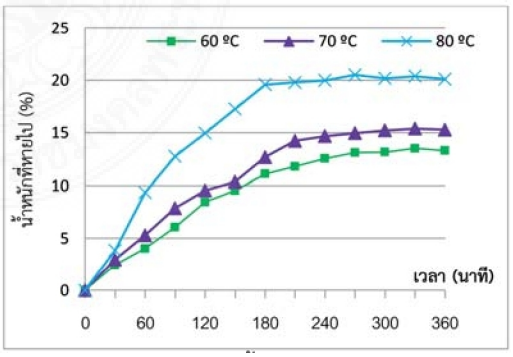
คุณลักษณะ	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที
ลักษณะปรากฏ (เปลือก)	8.20±0.81^{a}	8.17±0.79^{a}	7.93±0.83^{a}	7.43±0.94^{b}
ลักษณะปรากฏ (เนื้อ)	8.30±0.84^{a}	7.93±0.69^{ab}	8.00±0.87^{ab}	7.63±0.89^{b}
สี (เปลือก)	8.07±0.91^{a}	8.20±0.76^{a}	7.90±0.92^{ab}	7.47±0.97^{b}
สี (เนื้อ)	8.37±0.76^{a}	7.97±0.81^{ab}	7.83±0.95^{b}	7.60±0.86^{b}
กลิ่น^{ns}	8.17±0.95	7.83±1.60	7.73±0.91	7.80±0.76
รสชาติ	8.27±1.14^{a}	7.63±1.03^{b}	7.93±0.91^{ab}	7.63±0.96^{b}
กลิ่นรส	8.17±0.87^{a}	7.63±1.03^{b}	7.80±0.96^{ab}	7.87±0.78^{ab}
ลักษณะเนื้อสัมผัส	8.30±0.99^{a}	8.00±0.87^{ab}	7.73±0.86^{b}	8.00±0.79^{ab}
ความชอบโดยรวม	8.30±0.79^{a}	8.10±0.88^{ab}	7.80±1.00^{b}	8.13±0.86^{ab}

ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p > 0.05$)

ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้ความคิดเห็นว่าการให้เวลาในการให้ความร้อนมากขึ้นทำให้มะขามมีกลิ่นต้มสุกมากขึ้น และการใช้เวลาในการให้ความร้อนนานถึง 80 นาที พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดของมะขามหวานมีความอ่อนและนุ่มมากขึ้นซึ่งอาจเป็นผลทำให้มะขามหวานมีรสขมเนื่องจากในเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานมีสาร (-)-epicatechin [9] ซึ่งเป็นสารในกลุ่มของแทนนินที่ให้รสขมเป็นผลทำให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบด้าน กลิ่นรส และรสชาติลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้พบว่าการให้ความร้อนที่แก่มะขามหวานที่ต่ำกว่า 50 นาที เมื่อทำการเก็บรักษาในเบื้องต้นพบการเสื่อมเสียจากเชื้อราภายในเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งไม่ต่างจากมะขามหวานที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ จากผลการทดลองดังกล่าวจึงเลือกเวลาในการให้ความร้อนที่ 50 นาที ไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.2 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งมะขามหวาน

นำมะขามหวานที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเป็นเวลา 50 นาที มาทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งได้แก่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส มะขามหวานมีการสูญเสียน้ำในระหว่างการทำแห้งที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่หายไปและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งมะขามหวาน

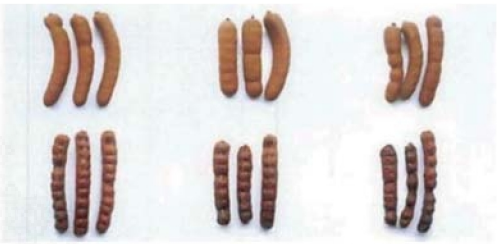
การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดปริมาณน้ำได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำหนักของมะขามหวานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น และการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้มีอัตราการระเหยน้ำสูง [10] ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดและมีแนวโน้มที่จะมีน้ำหนักคงที่เมื่อใช้เวลาในการทำแห้ง 180 นาที ส่วนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 240 และ 270 นาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ I. Karabulut et al. [11] และ H. Sabarez et al. [12] โดยทำการอบแห้งแอบปริคอตและลูกพรุนตามลำดับด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาในการทำให้น้ำหนักของแอบปิคอตและลูกพรุนลดลง และมีแนวโน้มคงที่ได้เร็วที่สุด การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ได้มะขามหวานมีความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมะขามหวานที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้มะขามหวานมีความชื้นลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นของมะขามหวานที่ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	
	เปลือก	เนื้อมะขาม
60	10.12±0.26[a]	15.93±0.65[a]
70	9.04±0.14[b]	14.89±0.36[b]
80	8.74±0.21[b]	12.17±0.51[c]

ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำมะขามหวานมาทำการเทียบค่าสีด้วย Munsell Book พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งที่แตกต่างกันทำให้ได้มะขามหวานมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยสีเปลือกและสีเนื้อของมะขามหวานมีสีเหลืองแดง 7.5YR และ 5YR ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลทำให้มะขามหวานมีสีเข้มขึ้น โดยมีมีผลการเทียบค่าสีดังตารางที่ 5 ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงนอกจากมีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์แล้ว มีผลทำให้ปริมาณน้ำในมะขามหวานลดลงอย่างรวดเร็วและสูญเสียน้ำในปริมาณมากมีผลทำให้สีเปลือกและเนื้อของมะขามหวามเข้มขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้รงควัตถุที่มีอยู่ในมะขามหวานมีสัดส่วนสูงขึ้น [13]



รูปที่ 3 มะขามหวานในการทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ตารางที่ 5 สีของมะขามหวานที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	สี	
	เปลือก	เนื้อ
60	7.5YR 4/4	5YR 3/4
70	7.5YR 3/4	5YR 3/4
80	7.5YR 3/3	5YR 2/4

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งมะขามหวานมีผลทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิที่ทำแห้งสูงขึ้นมีผลทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเปลือก สีของเปลือก รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้รับคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมลดลง อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้สีของเปลือกมะขามหวานมีสีคล้ำมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิ

80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้มะขามหวานมีรสชาติขมมากขึ้น และเนื้อของมะขามหวานมีลักษณะแห้งและแข็งมากขึ้น เนื่องจากอัตราการสูญเสียน้ำของมะขามหวานสูงที่สุด มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะขามหวาน S. Suktanarak and S. Teerachaichayut [8] กล่าวว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของมะขามหวานมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในมะขามหวานโดยมะขามหวานที่มีความชื้นต่ำมีผลทำให้มะขามหวานมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แห้งและแข็ง ซึ่งมะขามหวานที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีความชื้นน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 นอกจากนี้ยัง พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อมะขามแฉะและติดมือเมื่อสัมผัส แยกเนื้อออกจากเมล็ดยากที่สุดและเมื่อทำการทดลองเก็บรักษาเบื้องต้นมะขามหวานเกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราเมื่อทำการเก็บรักษาภายในระยะเวลา 3 สัปดาห์ จึงเลือกมะขามหวานที่อบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากเนื้อของมะขามไม่ติดมือเมื่อสัมผัส ซึ่งเป็นลักษณะของมะขามหวานที่ดี ไปทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษาต่อไป

ตารางที่ 6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของมะขามหวานที่ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	อุณหภูมิในการทำแห้ง (°C)		
	60	70	80
ลักษณะปรากฏ (เปลือก)	8.50±0.58[a]	8.50±0.62[a]	8.13±0.78[b]
ลักษณะปรากฏ (เนื้อ)[ns]	8.50±0.69	8.53±0.62	8.57±0.57
สี (เปลือก)	8.40±0.57[a]	8.50±0.58[a]	7.60±0.57[a]
สี (เนื้อ)[ns]	8.50±0.58	8.60±0.57	8.73±0.45
กลิ่น[ns]	8.57±0.57	8.63±0.56	8.53±0.58
รสชาติ	8.40±0.62[a]	8.53±0.58[a]	7.67±0.54[b]
กลิ่นรส[ns]	8.30±0.53	8.57±0.57	8.67±0.54
ลักษณะเนื้อสัมผัส	8.43±0.78[a]	8.47±0.62[a]	7.53±0.62[b]
ความชอบโดยรวม	8.70±0.47[ab]	8.83±0.38[a]	8.50±0.69[b]

ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p > 0.05$)

3.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษามะขามหวาน

เมื่อนำมะขามหวานที่ให้ความร้อนด้วยไอน้ำเป็นเวลา 50 นาที ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที มาบรรจุในถุงตาข่ายแล้วเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องและทำการตรวจสอบคุณภาพของมะขามหวานทุกสัปดาห์ พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามะขามหวานเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความชื้นของเปลือกมะขามหวานสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นที่เปลือกของมะขามหวานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการซึมผ่านของไอน้ำผ่านภาชนะบรรจุ สู่เปลือกมะขามหวาน เพื่อทำให้เกิดสภาวะสมดุลของปริมาณความชื้นของสภาวะแวดล้อมภายนอกและมะขามหวาน และพบว่าเมื่อเก็บรักษาตั้งแต่สัปดาห์

ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 12 เนื้อของมะขามหวานมีความชื้นเพิ่มขึ้นแตกต่างไม่มีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในช่วงการเก็บรักษาระหว่าง 0-1 สัปดาห์ ความชื้นของเนื้อมะขามเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคิวติเคิลที่เปลือกของมะขามหวาน [7] เกิดการเสียสภาพเมื่อนำมะขามหวานไปให้ความร้อน ทำให้น้ำจากภายนอกซึมผ่านเข้าสู่เนื้อมะขามได้ดี และนอกจากนี้เนื้อของมะขามหวานมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 48.79 และน้ำตาลฟรักโทสร้อยละ 24.93 [6] ซึ่งน้ำตาลฟรักโทสมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นจากอากาศมาที่เนื้อมะขามหวานได้มาก [14] ซึ่งส่งผลทำให้ ค่า a_w ของเปลือกและเนื้อมะขามหวานไม่สูงขึ้นมาก โดยค่า a_w ทั้งส่วนของเปลือกและเนื้อของมะขามหวานอยู่ในช่วง 0.5-0.7 ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียและยีสต์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้และเป็นช่วงที่เชื้อราเจริญเติบโตได้น้อย [15] โดยเชื้อราที่พบมากในฝักมะขามหวานระยะสุกใกล้เก็บเกี่ยว หรือมะขามเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจนถึงฝักแห้ง คือ *Phomopsis* sp. ซึ่งเป็นเชื้อราที่มีเส้นใยสีเทาขาวเจริญบนเนื้อของมะขามหวานและเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคฝักเน่าที่ทำให้คุณภาพของมะขามหวาน ลดลง ซึ่งจากการตรวจสอบคุณภาพของมะขามหวานระหว่างการเก็บรักษาไม่พบเชื้อราสีเทาขาวเจริญ ในมะขามหวานเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช. 1471/2550) เชื้อราในกลุ่มของ *Phomopsis* sp. เป็นเชื้อราในกลุ่มที่ชอบอาศัยอยู่สิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิปานกลาง 10-42 องศาเซลเซียส [16], [17] จึงถูกทำลายได้เมื่อนำมะขามไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที สอดคล้องกับการทดลอง ของ L.M. Coates et al. [18] ซึ่งทำการทดลองการลดเชื้อราในมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวโดยนำมะม่วงไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที พบว่าไม่พบการเจริญเติบโตของ *Phomopsis* sp. เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเนื้อมะขามหวานมีความฉ่ำน้ำมากขึ้นเป็นผลให้เนื้อของมะขามหวานไม่แห้งแข็งและไม่ติดมือเมื่อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติ ไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์

ตารางที่ 7 ค่า a_w และความชื้นของมะขามหวานที่บรรจุในถุงตาข่ายเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	a_w		ความชื้น (ร้อยละ)	
	เปลือกมะขาม	เนื้อมะขาม	เปลือกมะขาม	เนื้อมะขาม
0	0.62 ± 0.00^{cd}	0.64 ± 0.03^{abc}	8.72 ± 0.42^{f}	14.88 ± 1.03^{a}
1	0.62 ± 0.00^{cd}	0.64 ± 0.03^{bc}	8.77 ± 0.40^{ef}	19.05 ± 2.95^{b}
2	0.69 ± 0.01^{a}	0.65 ± 0.01^{abc}	8.90 ± 0.85^{def}	20.39 ± 1.90^{b}
3	0.68 ± 0.02^{a}	0.66 ± 0.01^{a}	8.86 ± 0.90^{def}	20.19 ± 2.56^{b}
4	0.60 ± 0.01^{de}	0.61 ± 0.00^{d}	8.77 ± 0.69^{ef}	20.95 ± 1.23^{b}
5	0.65 ± 0.01^{b}	0.65 ± 0.01^{ab}	9.42 ± 0.83^{bced}	19.49 ± 1.88^{b}
6	0.63 ± 0.01^{bc}	0.64 ± 0.01^{c}	10.50 ± 0.44^{a}	20.96 ± 1.05^{b}
7	0.63 ± 0.00^{bc}	0.64 ± 0.01^{bc}	10.07 ± 0.46^{ab}	20.40 ± 0.98^{b}
8	0.61 ± 0.01^{cd}	0.61 ± 0.01^{d}	9.51 ± 0.46^{bcd}	20.40 ± 0.73^{b}
9	0.59 ± 0.00^{f}	0.59 ± 0.00^{e}	9.90 ± 0.32^{ab}	20.76 ± 1.56^{b}
10	0.62 ± 0.07^{bcd}	0.66 ± 0.02^{a}	9.70 ± 1.04^{bc}	20.87 ± 1.59^{b}
11	0.59 ± 0.03^{ef}	0.60 ± 0.01^{e}	9.18 ± 0.32^{cdef}	20.62 ± 1.21^{b}
12	0.53 ± 0.01^{g}	0.56 ± 0.01^{f}	9.49 ± 0.42^{bcd}	20.87 ± 1.38^{b}

ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p>0.05$)

4. สรุป

การให้ความร้อนด้วยไอน้ำเป็นเวลา 50 นาที และทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที ทำให้มะขามหวานได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุดและใช้เวลาในการให้ความร้อนและการทำแห้งน้อยที่สุด การเก็บรักษามะขามหวานในถุงตาข่ายโดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บรักษามะขามได้อย่างน้อย 12 สัปดาห์ โดยไม่พบการเสื่อมเสียของมะขามหวานจากเชื้อรา เนื้อของมะขามหวานไม่แห้งแข็งและไม่ติดมือเมื่อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติ ไม่เปลี่ยนแปลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนเครื่องมือในการทำการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] B. Jarimopas, D. Rachanukroa, S.P. Singh, R. Sothornvit, "Post-harvest damage and performance comparison of sweet tamarind packaging," *Journal of Food Engineering*, vol. 88, pp. 193-201, 2008.

[2] Department of Agriculture, *Postharvest Diseases of fruit*, 1st ed. Bangkok: Chamchuri Product, 2014.

[3] C. Sartpetch, A. Suwanagul, M. Lanchai, T. Boonlkang and J. Pankhwan, "Effect of Sulfur dioxide on postharvest qualities of sweet tamarind cv. Si thong," in *Proceeding of 53*rd *Kasetsart University Annual Conference*, Thailand, 2015, pp. 454-458.

[4] C. Oupadissakoon, E. Chambers IV, V. Kongpensook, S. Suwonsichon, R. Yenket and A. Retiveau, "Sensory properties and consumer acceptance of sweet tamarind varieties grown in Thailand," *Journal of The Science of Food and Agriculture*, vol. 90, pp. 1081-1088, 2010.

[5] L. Ruck and C. T. Brown, "Quantitative analysis of Munsell color data from archeological ceramics," *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 3, pp. 549-557, 2015.

[6] N. Van den Bilcke, K. Alaerts, S. Ghaffaripour, D.J. Simbo and R. Samson, "Physico-chemical properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) fruits from Mali: selection of elite trees for domestication," *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol 61, pp. 537-553, 2014.

[7] M. Riederer, K. Arand, M. Burghardt, H. Huang, M. Riedel, A. Schuster, A Smirnova and Y. Jiang, "Water loss from litchi (*Litchi chinensis*) and longan (*Dimocarpus longan*) fruits is biphasic and controlled by a complex pericarpal transpiration barrier," *Planta*, vol. 242, pp. 1207-1219, 2015.

[8] S. Suktanarak and S. Teerachaichayut, "Detection for moisture content of sweet tamarind flesh by transmittance short wavelength near infrared spectroscopy," in *International Proceeding of Chemical, Biological and Environment, International Conference on Nutrition and Food Sciences*, Singapore, 2012 pp. 71-75.

[9] S. Luengthanaphol, D. Mongkholkhajornsilp, S. Douglas, P. L. Douglas, L. Pengsopa and S. Pongamphai, "Extraction of antioxidants from sweet Thai tamarind seed coat-preliminary experiments," *Journal of Food Engineering*, vol 63, pp. 247-252, 2004.

[10] M. Miranda, A. Vega-Galvez, P. Garcia, K. D. Scala, J. Shi, S. Xue and E. Uribe, "Effect of temperature on structural properties of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel and Weibull distribution for modelling drying process," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 88, pp. 138-144, 2010.

[11] I. Karabulut, A. Topcu, A. Duran, S. Turan and B. Ozturk, "Effect of hot air drying and sun drying on color values and b-carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.)," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 40, pp. 753-758, 2007.

[12] H. Sabarez, W. E. Price, P. J. Back and L. A. Woolf, "Modelling the kinetics of drying of d' Agen plums (*Pruns demestica*)," *Food Chemistry*, vol. 66, no. 3, pp. 371-382, 1997.

[13] A. Wojdylo, A. Figiel and J. Oszmianski, "Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds color, and antioxidant activity of strawberry fruits," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, pp. 1337-1343, 2009.

[14] F. A. Mohos, *Confectionery and Chocolate Engineering: Principles and Applications*, 1st ed. Singapore: Wiley-Blackwell, 2010.

[15] J. M. deMan, *Principles of Food Chemistry*, 3rd ed. Maryland: Aspen, 1999.

[16] J. Ryckeboer, J. Mergaert, K. Vaes, S. Klammer, D. D. Clercq, J. Coosemans, H. Insam and J. Swings, "A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes," *Annals of Microbiology*, vol. 53, no. 4, pp. 349-410, 2003.

[17] D. Udayanga, X. Liu, E. H. C. McKenzie, E. Chukeatirote, A. H. A. Bahkali and K. D. Hyde, "The genus *Phomopsis*: biology, applications, species concepts and names of common phytopathogens," *Fungal Diversity*, vol 50, pp.189-225, 2011.

[18] L. M. Coated, A. W. Cooke and J. R. Dean, "The response of mango stem end rot pathogens to heat", in *Proceeding of V International Mango Symposium (ISHS)*, Acta Horticulturae, 1997, pp. 762-772.