



ผลของการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นและวิธีการอบแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ
และทางประสาทสัมผัสของใบมะกรูดอบแห้ง

Effect of Pretreatment and Drying Methods on Physicochemical and
Sensory Properties of Dried Kaffir Lime Leaves

ณัฐวดี มาลา¹ และ สุจินดา ศรีวัฒนะ^{1*}

¹สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ 50100

*Corresponding Author, E-mail: sujindapdt@gmail.com

Received: 7 June 2017 | Revised: 28 April 2018 | Accepted: 26 October 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีการเตรียมวัตถุดิบและกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านสีและกลิ่นของใบมะกรูดอบแห้ง วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 3 x 3 โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น (ไม่มีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น การลวกด้วยสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต และการลวกในน้ำเกลือแล้วแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์) และวิธีการอบแห้ง (การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4,800 วัตต์เป็นเวลา 30 นาที และ ฟลูอิดไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า วิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น และวิธีการอบแห้งมีผลต่อค่าสี $L^*a^*b^*$ ปริมาณ citronellal และค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อใบมะกรูดอบแห้ง ($p < 0.05$) โดยใบมะกรูดที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นด้วยการลวกด้วยสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต และการลวกในน้ำเกลือแล้วแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ จะมีปริมาณ citronellal มากกว่าการไม่เตรียมวัตถุดิบขั้นต้น และใบมะกรูดที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีปริมาณ citronellal และคะแนนความชอบมากกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่น ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งใบมะกรูดที่มีปริมาณ citronellal และคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ คือ การลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4,800 วัตต์เป็นเวลา 30 นาที

ABSTRACT

The objective of this research was to obtain the optimal pretreatment and drying methods in order to improve color and odor of dried kaffir lime leaves. A 3 x 3 factorial design was performed to investigate pretreatment methods (no pretreatment, blanching in magnesium carbonate and blanching in salt solution then soaking in potassium metabisulfite) and drying methods (hot air oven at 50 °C for 6 hours, microwave vacuum at 4,800 watt for 30 min, and fluidized bed at 60 °C for 2 hrs). Result showed that pretreatment and drying methods affected color value $L^* a^* b^*$, citronellal content and liking scores ($p < 0.05$). Kaffir lime leaves pretreated with both of blanching in magnesium carbonate and blanching in salt solution then soaking in potassium metabisulfite had citronellal content more than that of no pretreatment. Kaffir lime leaves dried with microwave vacuum drying

had citronellal content and liking scores higher than those of the other drying methods. Optimal drying condition for kaffir lime leaves which had the highest citronellal content and liking scores in term of color and odor was blanching in magnesium carbonate and then dried with microwave vacuum at 4,800 watt for 30 min.

คำสำคัญ: ใบมะกรูด, การทำแห้ง, การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น, ซิโตรเนลลาล

Keywords: Kaffir lime leaf, Drying, Pretreatment, Citronellal

บทนำ

มะกรูด (*Citrus hystrix* D.C.) เป็นสมุนไพรที่คู่ครัวไทยมาอย่างยาวนาน นิยมปลูกมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผลิตภัณฑ์จากต้นมะกรูดที่นำมาใช้มากที่สุดคือ ใบมะกรูดซึ่งมีรูปทรงคล้ายนาฬิกาทรายและมีกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ มักใช้ประกอบอาหารของเอเชียมากมาย เช่น ต้มยำกุ้งซึ่งเป็นที่ยอมรับมากในประเทศไทย citronellal เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยของใบมะกรูดซึ่งจะมีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ (Wannee et al., 2013) ใบมะกรูดมีข้อจำกัดอยู่มาก เช่น ระยะเวลาในการเก็บรักษาสั้น มีปัญหาเรื่องฤดูกาล การเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของใบมะกรูด (Raksa-kantong et al., 2012) ปัจจุบันจึงมีการใช้เทคโนโลยีการอบแห้งเข้ามาช่วย เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และป้องกันการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา (Juhari et al., 2013) อย่างไรก็ตามกระบวนการอบแห้งทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไป เช่น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ ความพรุน และคุณสมบัติการดูดซับ ซึ่งเทคนิคการเตรียมวัตถุดิบ (pretreatment) จึงถูกนำมาใช้ก่อนกระบวนการอบแห้ง และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งอีกด้วย (Krokida et al., 2000; Tasirin et al., 2014) การเตรียมวัตถุดิบมีหลายวิธี เช่น การแช่ในสารละลายต่างหรือกรด และการลวกด้วยน้ำร้อนหรือน้ำ เป็นด่าง โดย พรพิมลและสิริมา (2550) รายงานว่า การลวกใบมะกรูดด้วยสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ก่อนกระบวนการอบแห้งจะทำให้สีเขียวของใบมะกรูดเข้มกว่าใบมะกรูดที่ไม่ได้ทำการลวกด้วยสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต

นอกจากนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งยังขึ้นอยู่กับกระบวนการอบแห้งและสภาวะการอบแห้ง การอบแห้งโดยตู้อบลมร้อนแบบกด (hot air drying) เป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากที่ใช้ในการอบแห้งสมุนไพรในอุตสาหกรรม ข้อดีของวิธีนี้คือ ต้นทุนต่ำและไม่ยุ่งยาก แต่ก็ยังส่งผลต่อคุณภาพ

ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เช่น การเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏ กลิ่น รวมถึงสี องค์ประกอบของกรดไขมัน สมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารระเหยบางตัว (Raksakantong et al., 2012; Wannee et al., 2013) การอบแห้งโดยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum drying) เป็นวิธีอบแห้งที่รวดเร็ว และสามารถใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำลงจากการใช้สภาวะการอบสุญญากาศ จึงคงคุณภาพด้านต่างๆ ไว้ได้สูง โดยเฉพาะสีและกลิ่น (อิศรพงษ์, 2553) การอบแห้งโดยฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized bed drying) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพความร้อนสูง และต้นทุนต่ำ มีความเร็วสูงสามารถลดความชื้นได้ภายในเวลาอันสั้น วัสดุเฉื่อยจะทำหน้าที่เป็นตัวพาความร้อนและจะถ่ายเทอากาศเข้าไปในผลิตภัณฑ์ (Tasirin et al., 2014)

ในปัจจุบันใบมะกรูดอบแห้งกำลังเป็นที่สนใจและยังมีการส่งออกไปยังหลายๆประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ และออสเตรเลีย (Raksakantong et al., 2012) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีการเตรียมวัตถุดิบและกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งใบมะกรูดเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านสีและกลิ่น

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

ใบมะกรูดสดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากตลาดท้องถิ่นในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย เด็ดเอาเฉพาะใบแก่ ซึ่งคัดแยกโดยการใช้สีในระบบ Munsell ใช้โทนสี 2.5G5/8 – 5G3/4 (นฤพร, 2552) และมีความยาวประมาณ 7-9 เซนติเมตร นำใบมะกรูดไปล้างให้สะอาด พักไว้ให้สะเด็ดน้ำ 30 นาที แล้วจึงนำไปเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นต่อไป และใบมะกรูดอบแห้ง 1 ทรายี่ห้อ

2. การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น (Pretreatment)

นำใบมะกรูดสด 100 กรัม มาทำการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น โดยการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นมีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ (1) ไม่มีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น (2) การลวกในน้ำเกลือที่ความเข้มข้น

ร้อยละ 0.5 เป็นระยะเวลา 30 วินาที จากนั้นแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วน เป็นระยะเวลา 20 นาที (จิตติมาและคณะ, 2554) และ (3) การลวกในแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.06 เป็นเวลา 30 วินาที (พรพิมลและสิริมา, 2550)

3. กระบวนการอบแห้ง

นำใบมะกรูดที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นทั้ง 3 วิธีมาทำการอบแห้งดังต่อไปนี้ (1) ตู้อบลมร้อน (hot air oven; Model 600, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (Wanee et al., 2013) (2) ไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum; March Cool Industry Co., Ltd, Thailand) ใช้ความดันสุญญากาศ -650 มิลลิเมตรปรอท แมกนีตรอน 800 วัตต์ จำนวน 6 ชุด เป็นเวลา 30 นาที (ดัดแปลงจาก อิศรพงษ์, 2553) และ (3) ฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized bed; Sherwood Scientific, UK) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 3.4 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก Tasirin et al., 2014) อบใบมะกรูดในทุกสิ่งการทดลองให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 จากนั้นนำใบมะกรูดอบแห้งที่ได้เก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ นำตัวอย่างไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ

4.1 วิเคราะห์ค่าความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) โดยคำนวณในหน่วยร้อยละปริมาณความชื้นฐานเปียก (% wet basis)

4.2 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity; a_w) โดยใช้เครื่อง Aqualab รุ่น Series 3 (Decagon, USA)

4.3 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของใบมะกรูด โดยใช้เครื่อง Minolta Chromaticity Meter CR-410 (Konika Minolta, Japan) วัดค่าสีทั้งหน้าใบและหลังใบ โดยที่ L^* หมายถึงค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) a^* หมายถึงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว ค่า a^* เป็นบวกแสดงถึงค่าความเป็นสีแดง ค่า a^* เป็นลบแสดงค่าความเป็นสีเขียว และ b^* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่า b^* เป็นบวกแสดงถึงค่าความเป็นสีเหลือง ค่า b^* เป็นลบแสดงค่าความเป็นสีน้ำเงิน และคำนวณค่า numerical total color difference (ΔE) ระหว่างค่าสีของใบมะกรูดก่อนและหลังการทำแห้งจากสูตร

$$\Delta E = [(L^* - L^*_{ref})^2 + (a^* - a^*_{ref})^2 + (b^* - b^*_{ref})^2]^{1/2}$$

4.4 วิเคราะห์หาปริมาณ citronellal ใช้ใบมะกรูด 5 กรัม ในการสกัดด้วยวิธีการแช่ในสารละลาย (maceration) ฉีดน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ลงไปในเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography; GC) Shimadzu รุ่น GC-2010 อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นสารระเหยจะถูกพาเข้าสู่เครื่อง GC โดยก๊าซฮีเลียมด้วยอัตราการไหล 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที สารจะถูกแยกด้วยแคปิลารีคอลัมน์ DB-1 (ยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร และฟิล์มหนา 0.25 ไมโครเมตร) ร่วมกับการตั้งโปรแกรมอุณหภูมิของ oven ของเครื่อง GC โดยอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 12 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส คำนวณและรายงานปริมาณสารต่อน้ำหนักตัวอย่างใบมะกรูด (มิลลิกรัมต่อกรัมใบมะกรูดอบแห้ง) (Wanee et al., 2013)

5. การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9-point hedonic scale (Peryam and Pilgrim, 1957) โดย 1=ไม่ชอบมากที่สุด และ 9=ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่เป็นผู้บริโภครวมไปจำนวน 100 คน ประเมินความชอบด้านสี และกลิ่นของใบมะกรูดอบแห้ง

6. การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น ได้แก่ ยีสต์และรา และจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total aerobic plate count) ตามวิธีของ FDA BAM Online (2001)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ 3x3 factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Tukey test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม Minitab 16

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลของการเตรียมตัวอย่างขั้นต้นและวิธีการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพ

คุณภาพทางเคมีกายภาพของใบมะกรูดอบแห้งที่มีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นและการอบแห้งด้วยเทคนิคต่างๆแสดงดัง

ตารางที่ 1 พบว่า วิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น และวิธีการอบแห้ง มีผลต่อค่าสี $L^*a^*b^*$ ปริมาณ citronellal และค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อใบมะกรูดอบแห้ง ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม (ΔE) เมื่อเปรียบเทียบกับใบมะกรูดสด พบว่า ใบมะกรูดที่ทำการลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตแล้วอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีการเปลี่ยนของค่าสีโดยรวมน้อยที่สุดทั้งหน้าใบและหลังใบ (11.09 และ 6.86) ใบมะกรูดอบแห้งในงานวิจัยนี้จะมีสีเขียวอ่อนในช่วงสีเขียวเหลือง ไปจนถึงสีเขียวเข้ม เนื่องจากมีค่า L^* สูง และมีค่า a^* เป็นลบและ b^* เป็นบวก ซึ่งใบมะกรูดเป็นพืชใบเขียวที่มีคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหลัก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสีของใบมะกรูดเนื่องจากการทำแห้งมีผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เป็นสำคัญที่เรียกว่าการเกิด pheophytinization ความร้อนส่งผลให้เกิดการแตกออกของวงแหวนแมกนีเซียม โดยอาจถูกแทนที่โดยไฮโดรเจนในระหว่างกระบวนการทำแห้งทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปอยู่ในรูป pheophytin ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวสดเป็นสีเขียวน้ำตาล (นฤพร, 2552; พรพิมลและสิริมา, 2550; Raksakantong et al., 2012) สิ่งทดลองที่ทำการลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและการลวกในน้ำเกลือแล้วแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์มีค่า a^* ตีลบสูงแสดงถึงสีเขียวเข้ม และ b^* ต่ำแสดงถึงสีเหลืองของใบน้อยเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่มีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นเนื่องจากการแตกออกของวงแหวนแมกนีเซียมของคลอโรฟิลล์ โอกาสที่พันธะจะจับกับแมกนีเซียมมีมากกว่าการจับกับไฮโดรเจน ทำให้เป็นสีเขียวที่คงทนและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (Krokida et al., 2000) และการลวกในน้ำเกลือแล้วแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) ตามลำดับ (จิตติมาและคณะ, 2554)

ทั้งนี้ค่าความชื้นและ a_w ของใบมะกรูดทั้ง 9 สิ่งทดลองไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณความชื้น และ a_w อยู่ในช่วง 8.22-

8.83 และ 0.437-0.517 ตามลำดับ ปริมาณความชื้นดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 12 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) ที่กำหนดปริมาณความชื้นของสมุนไพรแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 12

ใบมะกรูดอบแห้งที่มีการเตรียมตัวอย่างขั้นต้นด้วยการลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและการลวกในน้ำเกลือแล้วแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์จะมีปริมาณ citronellal มากกว่าใบมะกรูดที่ไม่มีการเตรียมตัวอย่างขั้นต้น โดยการลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีปริมาณ citronellal มากที่สุด (7.83 มิลลิกรัมต่อกรัม) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้หลักการสลับช่วงของประจุในสนามไฟฟ้า ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารหมุนเพื่อให้ชั่วสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของโมเลกุลและการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลทำให้เกิดความร้อนภายในตัวอาหารอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การทำแห้งใบมะกรูดจึงใช้เวลาสั้นมากทำให้ใบมะกรูดสัมผัสกับความร้อนน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ส่งผลให้ค่าสีเขียว (a^*) และปริมาณ citronellal มากกว่าวิธีการทำแห้งอื่นๆ ส่วนต่ออุณหภูมิ และฟลูอิดไดซ์เบดเป็นวิธีการทำแห้งที่ใบมะกรูดสัมผัสกับออกซิเจนมากและนาน ทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และ citronellal ในปริมาณมาก (นฤพร, 2552) จากการทดลองสถานะที่ใช้ในการอบแห้งของแต่ละวิธีเป็นสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งใบมะกรูด (อิศรพงษ์, 2553; Tasirin et al., 2014; Wannee et al., 2013) เนื่องจากกลไกการทำงานที่ต่างกัน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งจึงต่างกันด้วย

2. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสีและกลิ่นดังตารางที่ 2 พบว่าในทุกสิ่งทดลองผู้บริโภคให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบทางด้านสีเขียวและกลิ่นอยู่ในช่วง 4.4-6.3 และ 4.7-6.2 ตามลำดับ การลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นมากที่สุดอยู่ที่ 6.3 และ 6.2 ตามลำดับอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของใบมะกรูดอบแห้งที่มีการเตรียมใบมะกรูดขั้นต้นก่อนการอบแห้งและอบแห้งด้วยเทคนิคต่างๆ

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ	Microwave vacuum drying			Fluidized bed drying			Hot air drying		
	No pre-treatment	MgCO ₃	KMS	No pre-treatment	MgCO ₃	KMS	No pre-treatment	MgCO ₃	KMS
L*	หน้าใบ	48.72±4.24 ^a	44.66±2.46 ^{ab}	43.94±0.39 ^{ab}	45.19±1.23 ^{ab}	45.50±1.28 ^{ab}	37.70±7.79 ^b	43.37±1.94 ^{ab}	46.68±2.98 ^{ab}
	หลังใบ	62.16±5.47 ^a	56.58±2.59 ^{abc}	52.30±2.97 ^{abc}	56.57±1.52 ^{abc}	54.91±1.00 ^{abc}	46.21±6.44 ^c	49.74±3.49 ^{bc}	57.56±3.87 ^{ab}
a*	หน้าใบ	-3.24±0.92 ^{cd}	-11.83±1.44 ^a	-5.80±1.68 ^{bcd}	-1.76±1.75 ^d	-7.99±1.31 ^{ab}	-5.19±1.13 ^{bcd}	-7.10±0.88 ^{bc}	-8.45±3.026 ^{ab}
	หลังใบ	-5.79±1.30 ^{cd}	-14.92±1.98 ^a	-10.23±2.28 ^{abc}	-3.82±1.34 ^d	-12.52±0.51 ^a	-6.82±2.82 ^{bcd}	-11.84±1.43 ^{ab}	-13.08±2.53 ^a
b*	หน้าใบ	24.83±4.87 ^a	19.46±0.95 ^{ab}	15.49±1.55 ^{bc}	20.58±3.14 ^{ab}	15.42±2.91 ^{bc}	11.69±4.96 ^{bc}	9.69±2.58 ^c	12.33±4.05 ^{bc}
	หลังใบ	34.78±3.23 ^a	31.20±3.50 ^{abc}	28.13±3.07 ^{abcd}	33.50±1.14 ^{ab}	31.33±1.75 ^{abc}	24.00±4.54 ^{cd}	19.67±3.83 ^d	25.48±3.39 ^{bcd}
ΔE	หน้าใบ	18.85±3.72 ^{ab}	11.09±3.61 ^b	11.20±2.45 ^b	19.30±3.04 ^a	11.36±2.90 ^{ab}	12.40±0.07 ^{ab}	18.94±2.10 ^{ab}	12.91±3.86 ^{ab}
	หลังใบ	14.72±1.67 ^{ab}	6.86±2.51 ^c	8.18±3.36 ^{bc}	15.12±0.87 ^a	7.47±0.93 ^c	13.60±3.15 ^{abc}	14.90±1.74 ^{ab}	7.16±1.47 ^c
Moisture content (%w.b) ^{ns}		8.22±0.22	8.78±1.39	8.78±0.36	8.80±3.79	8.83±1.60	8.69±1.74	8.35±0.52	8.70±0.21
a _w ^{ns}		0.454±0.006	0.517±0.014	0.475±0.011	0.500±0.017	0.484±0.009	0.456±0.013	0.473±0.020	0.451±0.010
Citronellal (mg/g)		4.98±0.01 ^e	7.84±0.03 ^a	7.47±0.08 ^b	0.73±0.00 ^g	4.93±0.01 ^e	2.15±0.02 ^f	5.62±0.05 ^c	7.23±0.04 ^c

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันซึ่งกำกับค่าเฉลี่ยในแต่ละแถว แสดงว่าค่าเฉลี่ยคู่นั้นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

No pretreatment คือ ไม่มีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น

KMS คือ การลวกในน้ำเกลือจากนั้นแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์

MgCO₃ คือ การลวกในแมกนีเซียมคาร์บอเนต

Microwave vacuum drying คือ การอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

Fluidized bed drying คือ การอบด้วยฟลูอิดไคซ์เบด

Hot air drying คือ การอบด้วยตู้อบลมร้อน

หน้าใบเป็นส่วนที่มีสีเข้มกว่า หลังใบเป็นส่วนที่มีสีอ่อนกว่า

ตารางที่ 2 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภค (n=100) ต่อใบมะกรูดอบแห้งที่มีการเตรียมใบมะกรูดขั้นต้นก่อนการอบแห้งและอบแห้งด้วยเทคนิคต่างๆ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	Microwave vacuum drying			Fluidized bed drying			Hot air drying		
	No pre-treatment	MgCO ₃	KMS	No pre-treatment	MgCO ₃	KMS	No pre-treatment	MgCO ₃	KMS
สีเขียวของใบมะกรูด	5.0±1.5 ^{bc}	6.3±1.6 ^a	5.7±1.5 ^{ab}	4.7±1.5 ^c	5.7±1.6 ^a	4.6±1.7 ^c	4.4±1.8 ^c	6.2±1.6 ^a	5.7±1.4 ^a
กลิ่นของใบมะกรูด	4.8±1.5 ^{de}	6.2±1.6 ^a	5.0±1.8 ^{cde}	5.5±1.7 ^{abcd}	5.4±1.8 ^{bcde}	4.7±1.8 ^e	5.2±1.7 ^{bcde}	5.8±1.5 ^{ab}	5.5±1.5 ^{abc}

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันซึ่งกำกับค่าเฉลี่ยในแต่ละแถว แสดงว่าค่าเฉลี่ยคู่นั้นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

No pretreatment คือ ไม่มีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น

KMS คือ การลวกในน้ำเกลือจากนั้นแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์

MgCO₃ คือ การลวกในแมกนีเซียมคาร์บอเนต

Microwave vacuum drying คือ การอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

Fluidized bed drying คือ การอบด้วยฟลูอิดไคซ์เบด

Hot air drying คือ การอบด้วยตู้อบลมร้อน

3. คุณภาพทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

การตรวจคุณภาพทางเคมีกายภาพ การทดสอบทางประสาทสัมผัส และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของใบมะกรูดที่ลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศกับใบมะกรูดอบแห้งทางการค้า แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าค่าความสว่าง (L*) หน้าใบและหลังใบ ค่าสีเหลือง (b*) หน้าใบและหลังใบ ปริมาณความชื้น และ a_w ของใบมะกรูดอบแห้งทาง

การค้าและใบมะกรูดอบแห้งที่พัฒนาได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ส่วนค่าสีเขียว (a*) ของใบมะกรูดอบแห้งที่พัฒนาได้มีสีเขียวเข้มกว่าใบมะกรูดอบแห้งทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) และปริมาณ citronellal ของใบมะกรูดอบแห้งที่พัฒนาได้มีปริมาณมากกว่าใบมะกรูดอบแห้งทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่น พบว่า ใบมะกรูดอบแห้งที่พัฒนาได้มีคะแนนความชอบด้าน

สีเขียวของใบมะกรูด (7.7 ± 0.8) และกลิ่นของใบมะกรูด (7.3 ± 0.7) อยู่ในระดับขอบปานกลาง และมากกว่าใบมะกรูดทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ราพบว่า ใบมะกรูดอบแห้งทางการค้ามีมากกว่าใบมะกรูดอบแห้งที่พัฒนาได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินกว่าที่กำหนด ซึ่งมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) กำหนดไว้ว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 5×10^5 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนยีสต์และราของใบมะกรูดอบแห้งทางการค้าเกินกว่ามาตรฐานกำหนดที่กำหนดไว้ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นและการทำแห้งที่ดีจะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบมะกรูดอบแห้ง วิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นและวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมของใบมะกรูดอบแห้ง

คือ การลวกด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและอบด้วยไมโครเวฟซึ่งมีค่าสี $L^* a^* b^*$ หน้าใบ (44.663, -11.833 และ 19.460) และหลังใบ (56.577, -14.923 และ 31.200) ตามลำดับ มีปริมาณความชื้น และ a_w เท่ากับ 8.78 และ 0.517 ตามลำดับ มีปริมาณ citronellal มากที่สุดคือ 7.83 มิลลิกรัมต่อกรัม และผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมากที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย งานวิจัยชิ้นนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากใบมะกรูดอบแห้ง เช่น อุตสาหกรรมผลิตสารสกัด ทั้งนี้สาร citronellal ยังถูกนำไปใช้เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์สาร terpenoid จากธรรมชาติอีกหลายชนิด เช่น 1-menthol, alpha-tocopherol, และ irones เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีกายภาพ คะแนนความชอบ และคุณภาพเชื้อจุลินทรีย์ของใบมะกรูดอบแห้งที่พัฒนาได้และใบมะกรูดอบแห้งทางการค้า

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ		ใบมะกรูดอบแห้งที่พัฒนาได้	ใบมะกรูดอบแห้งทางการค้า
L^{*ns}	หน้าใบ	43.52 ± 1.55	43.53 ± 0.13
	หลังใบ	53.05 ± 0.31	53.21 ± 0.71
a^*	หน้าใบ	-11.09 ± 0.27^a	-10.51 ± 0.10^b
	หลังใบ	-14.35 ± 0.07^a	-13.19 ± 0.36^b
b^{*ns}	หน้าใบ	16.38 ± 0.04	16.20 ± 1.07
	หลังใบ	24.79 ± 0.36	24.90 ± 1.18
Moisture content (%w.b) ^{ns}		6.58 ± 0.32	6.98 ± 0.10
a_w^{ns}		0.404 ± 0.018	0.399 ± 0.004
Citronellal (mg/g)		7.38 ± 1.38^a	1.03 ± 0.05^b
คะแนนความชอบด้านสี		7.7 ± 0.8^a	7.0 ± 0.8^b
คะแนนความชอบด้านกลิ่น		7.3 ± 0.7^a	6.8 ± 0.6^b
เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)		6.0×10^2	1.7×10^3
ยีสต์และรา (CFU/g)		3.7×10	5.6×10^2

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันซึ่งกำกับค่าเฉลี่ยในแต่ละแถว แสดงว่าค่าเฉลี่ยคู่ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

คุณภาพเชื้อจุลินทรีย์ไม่ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติและใช้เกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547)

เอกสารอ้างอิง

- จิตติมา วรณแก้ว, นาริรัตน์ สุนทรธรรม และ วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร. (2554). การผลิตผักใบพืชตระกูลมะเขือ และพริกอบแห้ง. กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตผลเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, แหล่งข้อมูล: <http://www.doa.go.th/pprdo/images/doc/0012.pdf>. ค้นเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2557.
- นฤพร เพ็ญพู. (2552). ผลของวิธีการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของใบมะกรูดในระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา: 109 หน้า.
- พรพิมล เทพบรรทม และ สิริมา ชินสาร. (2550). ผลของการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนต่อคุณภาพของใบมะกรูดและตะไคร้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38(6): 135-138.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์สมุนไพรแห้ง. มผช.480/2547.
- อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. (2553). อายุการเก็บรักษาของใบมะกรูดที่อบแห้งโดยตู้อบลมร้อนแบบถาด และตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: 86 หน้า
- AOAC. (2000). Official Method of Analysis of AOAC International. (17th ed). Washington D.C.: The Association of Official Analytical Chemists.
- FDA BAM Online. 2001. Bacteriological analytical manual. U.S. Food and Drug Administration. Maryland, USA.
- Juhari, N. H., Lasekan, O., Kharidah, M. and Ab Karim, S. (2013). Effect of hot-air drying on the physicochemical properties of kaffir lime leaves (*Citrus hystrix*). Journal of Food, Agriculture and Environment 11(1): 203-211.
- Krokida, M. K., Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B. and Marinou-Kouris, D. (2000). Effect of pretreatment on color of dehydrated products. Drying Technology 18(6): 1239-1250.
- Peryam, D. R. and Pilgrim, F. J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferences. Food Technology 11(9): 9-14.
- Raksakantong, P., Siriamornpun, S. and Meeso, N. (2012). Effect of drying methods on volatile compounds, fatty acids and antioxidant property of Thai kaffir lime (*Citrus hystrix* D.C.). International Journal of Food Science and Technology 47(3): 603-612.
- Tasirin, S. M., Puspasari, I., Lun, A. W., Chai, P. V. and Lee, W. T. (2014). Drying of kaffir lime leaves in a fluidized bed dryer with inert particles: Kinetics and quality determination. Industrial Crops and Products 61: 193-201.
- Wannee, J., Patcharaporn, T. and Siree, C. (2013). Effect of drying temperature on key odourants in kaffir lime (*Citrus hystrix* D.C., Rutaceae) leaves. International Journal of Food Science and Technology 48(1): 143-149.

