ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบผักหวานป่า Meliantha suavis Pierre.

นางสาวกมลชนก สกุลประเสริฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

EFFECTS OF DRYING METHODS ON CONTENTS OF PHENOLIC SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF LEAF EXTRACT FROM PAK WANPA Meliantha suavis Pierre..

Miss Kamonchanok Sakulprasert

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบผักหวานป่า Melientha suavis Pierre.
โดย	นางสาวกมลชนก สกุลประเสริฐ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. ศิริมา พ่วงประพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. ศิริมา พ่วงประพันธ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กมลชนก สกุลประเสริฐ : ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบผักหวานป่า Melientha suavis Pierre.. (EFFECTS OF DRYING METHODS ON CONTENTS OF PHENOLIC SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF LEAF EXTRACT FROM PAK WANPA Melientha suavis Pierre..) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. ศิริมา พ่วงประพันธ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, 88 หน้า.

ผักหวานป่า เป็นผักพื้นบ้านในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศไทยเพาะปลูกมากในจังหวัดสระบุรี ผักหวานป่ามีคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระ ผักเน่าเสียได้ง่ายและไม่สามารถเก็บรักษาได้เกิน 2-3 วันภายใต้อุณหภูมิห้องปกติ การทำแห้งเป็นการแปรรูปดั้งเดิมสามารถใช้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งส่งผลให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ในงานวิจัยนี้ศึกษาการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ (960-1680 วัตต์), การทำแห้งวิธีลมร้อน (60 องศาเซลเซียส) และการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง (-60 องศาเซลเซียส) ที่มีผลต่อเวลาการทำแห้ง, การคืนตัว, สี, โครงสร้าง, ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี FRAP, DPPH) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบผักหวานป่า พบว่าวิธีไมโครเวฟสุญญากาศใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนและการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งเพื่อให้ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 ใบผักหวานป่าที่ทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิ 30 และ 100 องศาเซลเซียสสูงกว่าการทำแห้งวิธีลมร้อนและวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ คุณภาพด้านสีการทำแห้งวิธีลมร้อนทำให้ใบผักหวานป่าปรากฏสีน้ำตาล การทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้เนื้อสัมผัสใบผักหวานป่ามีความแข็งและความกรอบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนและวิธีแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิธีทำแห้งทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง การทำแห้งใบผักหวานป่าด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศกำลัง 1680 วัตต์ส่งผลให้มีสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด (593.36 mg GAE/g dry weight) ใบผักหวานป่าทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงสุด (77.54%) เมื่อเปรียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนและการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งวิธีสุญญากาศกำลัง 1680 วัตต์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP สูงสุด (867.23 µM Trolox/ g dry weight) เมื่อเปรียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนและการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง และการศึกษาอายุการเก็บรักษา 90 วันที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบว่าใบผักหวานป่าที่ทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์ มีค่าสี a* เพิ่มขึ้น และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP มีอัตราการลดลงรวดเร็วในระยะเวลา 15 วันแรกที่เก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนและการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระหลังจากการทำแห้งสูงกว่าตัวอย่างที่ทำแห้งด้วยวิธีอื่น ทำให้เมื่อเก็บรักษา 90 วัน ตัวอย่างที่ทำแห้งไมโครเวฟสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิธีอื่นๆ ดังนั้นจากงานวิจัยจึงสามารถเลือกการทำแห้งโดยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศเพื่อใช้เป็นวิธีการทำแห้งทางเลือกในการรักษาคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผักหวานป่าได้

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5571905523 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEYWORDS: MICROWAVE VACUUM DRYING / HOT AIR DRYING / FREEZE DRYING / ANTIOXIDANT / TOTAL PHENOLIC CONTENT / PAK-WANPA

KAMONCHANOK SAKULPRASERT: EFFECTS OF DRYING METHODS ON CONTENTS OF PHENOLIC SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF LEAF EXTRACT FROM PAK WANPA Melientha suavis Pierre... ADVISOR: SIRIMA PUANGPRAPHANT, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. CHALEEDA BOROMPICHAICHARTKUL, Ph.D., 88 pp.

Pak-Wanpa (Melientha suavis Pierre.) is a traditional vegetable in Saraburi province of Thailand and Southeast Asia. It has nutritional values and contains antioxidants. Vegetable perishes rapidly after harvest and cannot be preserved for more than a few days under ambient conditions. Drying is an ancient process used to preserve foods. Drying methods lead to modifications that can cause quality degradation. In this work, the effects of microwave vacuum drying (960-1680 W), hot air drying (60^{0}C) and freeze drying (-60^{0}C) were investigated on drying times, rehydration, color, structural, antioxidant capacity (FRAP, DPPH assay) and total phenolic content of Pak-Wanpa. Pak-Wanpa dried by microwave vacuum drying had higher drying rates and shorter drying time compare to hot air drying and freeze drying ($p<0.05$). Freeze dried Pak-Wanpa had higher rehydration ratio at both temperature of 30°C and 100°C compare with hot air dried and microwave vacuum dried Pak-Wanpa ($p<0.05$). Brown color (L*, a*, b*) were occurred by hot air drying ($p<0.05$), which contributed to the discoloration of Pak-Wanpa during this process. Microwave vacuum dried Pak-Wanpa had higher hardness and crispiness compare to hot air dried and freeze dried Pak-Wanpa. The total phenolic content decreased with drying methods. Microwave vacuum dried Pak-Wanpa had the highesttotal polyphenol (593.36 mg GAE/g dry weight). The radical scavenging on DPPH assay of freeze dried Pak-Wanpa had higher antioxidant activity when compare to hot air dried and microwave vacuum dried Pak-Wanpa. The FRAP assay of microwave vacuum dried Pak-Wanpa had the highest antioxidant activity (867.23 ± 56.98 μM trolox/ g dry weight) compare to hot air dried and freeze dried Pak-Wanpa. Microwave vacuum dried Pak-Wanpa (1680W) had lower total phenolic content and antioxidant activity when compared to hot air and freeze dried Pak-Wanpa during first 15 days of storage ($p<0.05$). However, microwave vacuum dried Pak-Wanpa had the highest amount of total phenolic compounds and antioxidant activity when compared to hot air and freeze dried Pak-Wanpa after storage for 90 days. These is because of its high initial values of total phenolic compound and antioxidant activity, Therefore, ,microwave vacuum drying is an alternative drying method for preserving Pak-Wanpa which can preserve physical and chemical properties of product.

Department:	Food Technology	Student's Signature	.....
Field of Study:	Food Technology	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2013	Co-Advisor's Signature	.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศิริมา พ่วงประพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำในงานวิจัย ตลอดจนดูแลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช รองศาสตราจารย์ ดร. สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา คณะกรรมสอบวิทยานิพนธ์ที่สละเวลาให้คำปรึกษาเพิ่มเติมในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์นวัตกรรมทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สระบุรี ในการอำนวยความสะดวกในเรื่องของเครื่องมือและสถานที่ทำงานวิจัย และขอบคุณ คุณวีรนุช หวั่นเสนา ที่คอยให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และมหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เพื่อนๆ พี่ๆน้องๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

คำสำคัญในงานวิจัย ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ 2

2.1 ผักหวานป่า 2

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผักหวานป่า 5

2.3 วิธีทำแห้งและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.3.1 การทำแห้งวิธีลมร้อน (hot air drying) 9

2.3.2 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) 12

2.3.3 การทำแห้งแบบไมโครเวฟ (microwave drying) และการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum drying) 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 23

3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี 23

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 23

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 24

3.3.1 การเตรียมใบผักหวานป่า 24

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของใบผักหวานป่าสด 24

3.3.3 การศึกษาผลของการทำแห้งใบผักหวานป่า 24

3.3.4 ศึกษาเวลาการทำแห้งที่เหมาะสม 25

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.3.5 การสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกจากใบผักหวานป่า 25
3.3.6 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของใบผักหวานป่า 25
3.3.7 ศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพใบผักหวานป่า 26
3.3.8 การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของใบผักหวานแห้ง 27
3.3.9 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 28
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของใบผักหวานป่าสด 28
4.2 ผลของการทำแห้งใบผักหวานป่า 29
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของใบผักหวานป่า 31
4.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบผักหวานที่ผ่านการทำแห้งเปรียบเทียบกับใบสด 31
4.3.2 ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP 34
4.3.3 ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH 34
4.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีใบผักหวานทำแห้งโดยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ 960-1680 วัตต์, ลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เปรียบเทียบกับใบสด 38
4.3.4 โครงสร้างใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 42
4.3.5 การคืนตัวของใบผักหวานป่าทำแห้ง (Rehydration ratio) 45
4.3.7 การศึกษาผลการเก็บรักษาใบผักหวานป่าทำแห้งวิธีต่างๆ ต่อคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ 52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 64
รายการอ้างอิง 66
ภาคผนวก 74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณค่าอาหารของผักหวานป่าส่วนที่กินได้ 100 กรัม.....5

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบหลักของใบผักหวานป่าสด.....28

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเปรียบเทียบทั้งใบสดและใบที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ.....31

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP.....34

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH.....34

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสีของใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่างๆ เปรียบเทียบกับใบสด.....38

ตารางที่ 4.6 สัดส่วนการดูดน้ำกลับของผักหวานทำแห้ง อุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส.....45

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนการดูดน้ำกลับของผักหวานป่าทำแห้ง อุณหภูมิน้ำ 100 องศาเซลเซียส.....46

ตารางที่ 4.8 ค่าความแข็งและความกรอบของใบผักหวานป่าทำแห้ง.....50

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบผักหวานป่าทำแห้ง เมื่อเก็บที่ระยะเวลาต่างๆ.....52

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP ของใบผักหวานป่าทำแห้ง เมื่อเก็บที่ระยะเวลาต่างๆ.....53

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ของใบผักหวานป่าทำแห้ง เมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ.....54

ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง L* ของใบผักหวานป่าทำแห้ง.....57

ตารางที่ 4.13 ค่าความเป็นสีแดง - เขียว a* ของใบผักหวานป่าทำแห้ง.....58

ตารางที่ 4.14 ค่าความเป็นสีเหลือง – น้ำเงิน b* ของใบผักหวานป่าทำแห้ง.....59

ตารางที่ ก.1 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH.....84

ตารางที่ ก.2 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP.....84

ตารางที่ ก.3 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์สีใบผักหวานป่าใบสดและทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ.....85

ตารางที่ ก.4 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์สัดส่วนการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส...
.....86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.5 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์สัดส่วนการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิน้ำ 100 องศาเซลเซียส 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 ต้นผักหวานป่า....3

ภาพที่ 2.2 ใบผักหวานป่า (ซ้าย:ใบอ่อน) (ขวา:ใบแก่)....4

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิก....7

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างอนุมูล DPPH....9

ภาพที่ 4.1 ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปเทียบกับเวลาในระหว่างการทำแห้งผักหวานป่าด้วยวิธีต่างๆ....29

ภาพที่ 4.2 ใบผักหวานทำแห้งด้วยวิธี (ก-ง) ไมโครเวฟสุญญากาศ (960-1680 วัตต์), (จ) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ฉ) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส....41

ภาพที่ 4.3 โครงสร้างตัดขวางใบผักหวานสด (ก) ใบผักหวานทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (ข-จ) แบบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส (ฉ) และแบบแช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส (ช) กำลังขยาย 850 เท่า....42

ภาพที่ 4.4 ใบผักหวานทำแห้งด้วยวิธี (ก-ง) ไมโครเวฟสุญญากาศ (960-1680 วัตต์ (จ) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ฉ) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ที่คืนตัวด้วยน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส....48

ภาพที่ 4.5 ใบผักหวานทำแห้งด้วยวิธี (ก-ง) ไมโครเวฟสุญญากาศ (960-1680 วัตต์ (จ) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ฉ) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ที่คืนตัวด้วยน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส....49

ภาพที่ 4.6 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 15 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส....61

ภาพที่ 4.7 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 30 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส....61

ภาพที่ 4.8 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 45 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส....62

ภาพที่ 4.9 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 60 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส....60

ภาพที่ 4.10 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 75 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส....63

ภาพที่ 4.11 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 90 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส 63

ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐาน Gallic acid..... 81

ภาพที่ ก.2 กราฟมาตรฐาน Trolox..... 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำสำคัญในงานวิจัย

MVD (microwave vacuum drying) การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ

HD (hot air drying) การทำแห้งแบบลมร้อน

FD (freeze drying) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

W (watt) วัตต์

DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical

FRAP (ferric reducing antioxidant power)

ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)

AEAC (ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)

GAE (gallic acid equivalent)

CE (catechin equivalent)

ORAC (oxygen radical absorbance capacity)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผักหวานป่า *(Melientha suavis* Pierre.) นิยมปลูกในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นพืชที่พบได้ทั่วทุกภาคในประเทศไทย โดยขึ้นตามป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์ ปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ สามารถเพาะปลูกได้ตลอดปี และส่งขายภายในจังหวัดหรือตามจังหวัดข้างเคียง ในรูปแบบยอดสดเพราะเป็นที่นิยมสำหรับการบริโภค ใบผักหวานป่ามีสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน วิตามินซี วิตามินบี 2 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) และมีสารกลุ่มฟีนอลิกที่สำคัญ ซึ่งมีสมบัติในการต้านออกซิเดชัน (antioxidation) (Tianpech และคณะ, 2008) Hossain และคณะ (2010) ศึกษาพบว่า หลังการเก็บเกี่ยวผักหรือสมุนไพรที่มีปริมาณน้ำสูงจะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เสื่อมเสียเร็ว ซึ่งผักหวานป่าเป็นผักที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างสูงร้อยละ 78.16±0.71 โดยน้ำหนักแห้ง ทำให้การขนส่งไปยังแหล่งขายผักหวานป่าต้องมีความรวดเร็วและระมัดระวังมากขึ้น การบริโภคมักนำยอดอ่อนมาแปรรูปโดย ลวก ต้ม และรับประทานทันทีเพราะมีอายุการเก็บรักษาสั้นและยอดสดช้ำได้ง่าย ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว การแปรรูปโดยการทำแห้งจึงเป็นมูลเหตุจูงใจในการวิจัย เพื่อลดปริมาณน้ำอิสระและสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของใบผักหวานป่า อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการทำแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสารกลุ่มฟีนอลิกในใบผักหวานป่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการทำแห้งต่างๆ ได้แก่ การทำแห้งแบบลมร้อน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ ต่อปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบผักหวานป่า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการรักษาคุณภาพของใบผักหวานป่าหลังจากการเก็บเกี่ยวและเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ใบผักหวานป่าในทางพาณิชย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ การทำแห้งโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟสุญญากาศ การทำแห้งแบบลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบผักหวานป่า

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ใบผักหวานป่าที่ทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศมีคุณภาพทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพดีกว่าการทำแห้งแบบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ผักหวานป่า

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของใบผักหวานป่า

ผักหวานป่าเป็นไม้พื้นเมือง ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้สำหรับในเมืองไทยพบมากในภาคอีสานและภาคเหนือ ผักหวานป่าเป็นพืชพื้นบ้านที่เก็บมาจากป่าธรรมชาติและได้รับความนิยมจากชาวไทยทุกภาค พบได้ตามบริเวณที่ดอนสูง ป่าเชิงเขาสูงไม่เกิน 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือป่าโปร่ง (ป่าเต็งรังและป่าผสม ผลัดใบ) สภาพดินเป็นดินดาน ดินปนทราย ทนแล้งได้ดี (สำนักงานคณะกรรมการสาธารณสุขมูลฐาน, 2540)

ผักหวานป่าเป็นผักพื้นบ้านที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย และเป็นที่นิยมนำมาบริโภค เนื่องจากมีรสชาติอร่อย ประกอบกับการตื่นตัวเรื่องสุขภาพอนามัย จึงมีผู้บริโภคกันเป็นจำนวนมาก ทำให้ผักหวานป่าเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง ราคาขายปลีกในตลาดค่อนข้างสูง ถ้าเป็นผักหวานป่าในฤดูกาลคือเดือน มีนาคม-พฤษภาคม ราคาจะอยู่ที่ 40-120 บาท/กิโลกรัม แต่ถ้าเป็นช่วงก่อนฤดู คือช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม ราคาจะสูงถึง 200-250 บาท/กิโลกรัม ผลผลิตส่วนใหญ่ได้มาจากป่าหรือแหล่งธรรมชาติ ซึ่งยังไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Meliantha suavis* Pierre.

วงศ์ : Opiliaceae

ชื่อพื้นเมือง : ผักหวานป่า(สระบุรี) ผักหวาน (สุรินทร์) ต้นผักหวาน (สกลนคร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลักษณะต้น

ผักหวานป่าเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง สูง 5-10 เมตร ต้นที่โตเต็มที่อาจสูงถึง 13 เมตร แต่ที่พบโดยทั่วไป มักเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก หรือเป็นไม้พุ่ม เนื่องจากมีการหักกิ่ง เด็ดยอด เพื่อกระตุ้นให้เกิดกิ่งและยอดอ่อน กิ่งและลำต้นมีใบประดับขนาดเล็ก ลำต้นมีสีน้ำตาลอ่อน ผิวขรุขระ ดังภาพที่ 2.1 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

ภาพที่ 2.1 ต้นผักหวานป่า

ลักษณะใบ

เป็นใบเดี่ยว ใบอ่อนรูปร่างแคบรี ปลายใบแหลมสีเขียวอมเหลือง ใบแก่เต็มที่สีเขียวเข้ม เนื้อใบกรอบ ใบหนาเป็นรูปไข่หรือรูปรี ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบเป็นรูปลิ่ม ใบยาว 6-12 เซนติเมตร กว้าง 2.5-5 เซนติเมตร ก้านใบสั้น ดังภาพที่ 2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 2.2 ใบผักหวานป่า (ซ้าย:ใบอ่อน) (ขวา:ใบแก่)

การกระตุ้นยอดอ่อนและการเก็บเกี่ยว

เมื่อผักหวานป่าเจริญเติบโตเต็มที่โดยใช้เวลา 1 ปีครึ่ง ก็เริ่มตัดแต่งกิ่ง โดยตัดปลายกิ่งแขนงทิ้ง ให้เหลือยาว 15-20 เซนติเมตร รูดใบแก่บางส่วนทิ้งให้เหลือติดกิ่ง ๆ ละ 3-4 ใบ พร้อม ๆ กับการให้น้ำพอดินชื้น เมื่อยอดแตกออกมายาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร ก็เก็บยอดไปจำหน่ายได้ โดยเก็บในช่วงเช้าไปจนถึงเที่ยงวัน จะหยุดเก็บเพราะอากาศร้อนยอดทำให้ผักหวานเหี่ยวงอไม่สด โดยแต่ละครั้งจะแตกยอดออกทุก 7 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผักหวานป่า

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

สถาบันวิจัยโภชนาการ ได้วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของใบผักหวานป่า ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าอาหารของผักหวานป่าส่วนที่กินได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการของผักหวานป่า			
พลังงาน	39 กิโลแคลอรี่	วิตามิน A	8500 หน่วยสากล
ไขมัน	0.6 กรัม	วิตามิน B1	0.12 มิลลิกรัม
แคลเซียม	24 มิลลิกรัม	วิตามิน B2	1.65 มิลลิกรัม
โปรตีน	0.1 กรัม	เบต้า-แคโรทีน	516.33 ไมโครกรัม
ใยอาหาร	2.1 กรัม	ฟอสฟอรัส	68 มิลลิกรัม
คาร์โบไฮเดรต	8.3 กรัม	วิตามิน C	168 มิลลิกรัม
		ไนอาซีน	3.6 มิลลิกรัม

ที่มา : สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2544

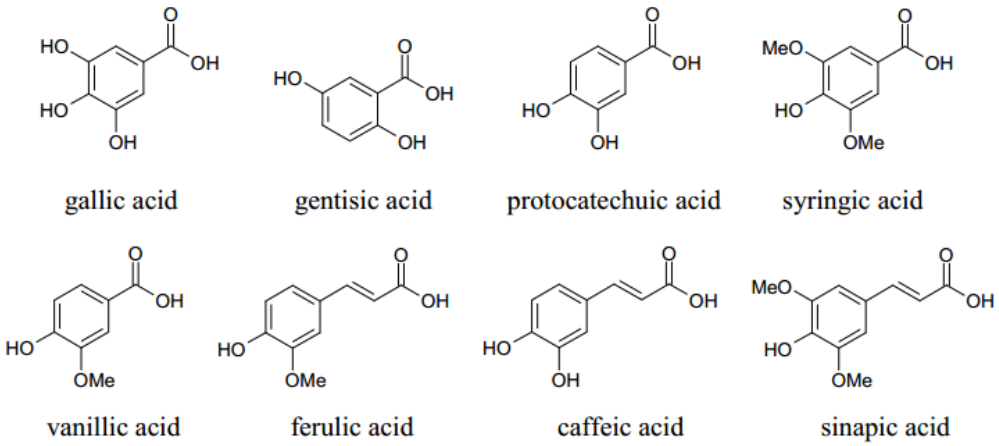
Tianpech และคณะ (2008) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการของใบผักหวานป่า พบว่า มีร้อยละองค์ประกอบทางเคมีดังต่อไปนี้ ความชื้น (78.16±0.71), ไขมัน (0.53±0.04), โปรตีน (7.43±0.10), คาร์โบไฮเดรต (8.45±0.05), เส้นใย (3.90±0.12) และเถ้า (1.54±0.16) โดยน้ำหนักแห้ง รวมทั้งปริมาณวิตามินซี (96.20±0.55 mg/100 g) และปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด (370.69±8.74 mg GAE/100ml) มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยแสดง ในรูป IC_{50} (IC_{50} คือความเข้มข้นของสารที่สามารถลดอนุมูลอิสระให้เหลือ 50%) โดยวิธี DPPH (0.23±0.00% v/v) และวิธี 2-deoxyribose (0.05±0.00% v/v)

Charoenchai และคณะ (2011) ได้ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ของผักหวานป่าสระบุรี ผักหวานป่าอุทัยธานี และ ผักหวานเมาจากจังหวัดกาญจนบุรี พบว่าผักหวานป่าจากจังหวัดสระบุรีและจังหวัดอุทัยธานีมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่าผักหวานเมาจากจังหวัดกาญจนบุรีเล็กน้อย โดยเฉพาะสารสกัดเมทานอลของผักหวานป่าสระบุรีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH แสดงเป็นค่า IC_{50} เท่ากับ 1.94 µg/ml เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน gallic acid ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.80 µg/ml ในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดเมทานอลของผักหวานป่าสระบุรีมีค่าเป็น 1506.95 mg GAE/100 g dry weight และ 415.82 CE/100 g dry weight ตามลำดับ ในการทดสอบไนตริกออกไซด์ (NO) สารสกัดเมทานอลของผักหวานป่าสระบุรีนี้ยังแสดงฤทธิ์ยับยั้งการเกิดไนตริกออกไซด์ร้อยละ 93.67

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าผักหวานป่ามีคุณค่าทางสารอาหาร และพบสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกซึ่งทำให้ผักหวานมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงเป็นสารที่สามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากอนุมูลอิสระจัดเป็นสารที่มีความไวในการเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นสูงมาก โดยอนุมูลอิสระจะไปแย่งจับหรือดึงเอาอิเล็กตรอนจากโมเลกุลหรืออะตอมสารที่อยู่ข้างเคียงเพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดมาใหม่นี้จะไปทำปฏิกิริยากับสารโมเลกุลอื่นต่อไป เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ต่อกันไปเรื่อยๆ ดังนั้นอนุมูลอิสระถ้ามีจำนวนมากในเซลล์สามารถทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์ และก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (Halliwell, 1991)

2.2.2 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น สามารถละลายน้ำได้ ที่พบในพืชจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycosides) และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด มีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบจะเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoids) นอกจากนั้นยังมีสารประกอบต่างๆ เช่น simple monocyclic phenol, phenyl propanoid, phenolic quinine และ polyphenolic ซึ่งได้แก่พวกลิกนิน (lignin), แทนนิน (tannin) เป็นต้น รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอล (phenolic unit) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoid), กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และ แทนนิน (tannin) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารคีเลต ดักจับไอออนของโลหะเข้าไว้ในโมเลกุล เช่น เควอร์ซิทิน (quercetin) สารประกอบฟีนอลิกยังทำหน้าที่ทั้งเป็นสารให้อิเล็กตรอนหรือเป็นตัวให้ไฮโดรเจน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟ จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านออกซิเดชัน ที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืชทั่วไป (Packer, Rimbach และ Virgili, 1999; Rice-Evans, Miller และ Paganga, 1997)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Reblova (2012)

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกในพืชโดยทั่วไปแสดงคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน เนื่องจากหมู่ hydroxyl group (-OH) บนโครงสร้าง สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นอย่างรวดเร็ว

ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยวพืช ได้แก่ สภาพการเพาะปลูก ดิน แสง มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Wang และ Zheng, 2001) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา มีการสังเคราะห์ มีการเปลี่ยนแปลง และมีการสลายตัว โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไป โดยแต่ละส่วนของพืชจะพบปริมาณฟีนอลิกแตกต่างกัน (Shahidi และคณะ 1992; Wang และ Zheng, 2001) โดยบริเวณผนังเซลล์จะพบ insoluble phenolics บริเวณ cell vacuoles จะพบ soluble phenolic (Bengoechea และคณะ 1997)

ปัจจัยในการเก็บเกี่ยวพืชที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกได้แก่

- ระยะเวลาและสภาวะเก็บรักษา

  Korus (2011) ศึกษาการทำแห้งผัก kale และพบว่าสารประกอบฟีนอลิกลดลงในระหว่างการเก็บรักษา 12 เดือน และ การเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ 8-10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ kale มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 18-20 องศาเซลเซียส Negi และ Roy (2001) พบว่า savoy beet และ amaranth ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิเย็น (7-8 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้มีเบต้าแคโรทีน มากกว่าเก็บในอุณหภูมิห้อง (15-36 องศาเซลเซียส)
- วิธีการสกัด

Tianpech และคณะ (2008) สกัดโดยแช่กับตัวทำละลาย และ Charoenchai และคณะ (2013) ใช้การสกัดแบบ Soxhlet เพื่อศึกษาทางเคมีของผักหวานป่าสระบุรี โดยวิธีการสกัดแตกต่างกันส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกัน

- สารทำละลาย

  สารทำละลายแต่ละชนิด มีความมีขั้วแตกต่างกัน จึงส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกที่สกัดออกมาเพื่อวิเคราะห์ได้แตกต่างกัน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดมีความมีขั้วแตกต่างกัน ซึ่ง Lim และ Murtijaya (2007) ศึกษาตัวทำละลาย methanol, boiling water และ cool water ที่มีผลต่อสารประกอบฟีนอลิกของลูกใต้ใบโดย การสกัดโดย boiling water ส่งผลให้มีสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด และ Charoenchai และคณะ (2013) ศึกษาเปรียบเทียบตัวทำละลายในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักหวานป่า ประกอบไปด้วย hexane, ethyl acetate, methanol และ น้ำ โดยพบว่า methanol ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณสูงสุด

- อุณหภูมิ

  อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิก โดย Reblova (2012) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารประกอบฟีนอลิก (gallic, gentisic, protocatechuic, syringic, vanillic, ferulic, caffeic, and sinapic) ลดลง โดยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส พบสารประกอบฟีนอลิก gallic, gentisic, protocatechuic และ syringic

2.2.4 วิธีการวัดความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.2.4.1 วิธี DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical) (Hou และคณะ 2001)

อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วง อยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้ว โดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลเหมือนกับกรณีอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) การวิเคราะห์เป็นการวัดความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม และใช้หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometry) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ผ่านการลดลงของสี เมื่อเติมสารต้านออกซิเดชันหรือสารกำจัดอนุมูลอิสระลงไป สารละลายของ $DPPH^{\bullet}$ มีสีม่วงในเอทานอล และเมื่อได้รับไฮโครเจนอะตอมจะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลือง ตามสมการดังนี้

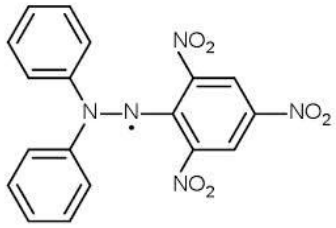
$$\underset{\text{สีม่วง}}{DPPH^{\bullet}} + \underset{\text{ตัวอย่างทดสอบ}}{RH} \longrightarrow \underset{\text{สีเหลือง}}{DPPH\text{-}H + R^{\bullet}}$$

ค่าที่วัดได้จะแสดงความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันซึ่งอาจรายงานผลด้วยค่า % inhibition ตามสมการดังนี้

$$\% \text{ inhibition} = [(A_{517 \text{ control}} - A_{517 \text{ test sample}})/ A_{517 \text{ control}}] \times 100$$

ข้อดีของวิธีนี้คือ ทำได้ง่าย นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ

ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ ดังภาพที่ 2.4 มีความคงตัว ไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างอนุมูล DPPH

2.2.4.2 วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay (Benzie และ Strain, 1996)

วิธีนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+}- TPTZ (ferric tripyridyl triazine) เป็นสารทดสอบ สารละลายมีสีส้ม โดยอะตอมเหล็กที่อยู่ในสารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระในสภาวะกรดซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 3.6 ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส Fe^{2+}- TPTZ มีสีน้ำเงินและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นวิธีที่สะดวก ใช้เวลาน้อย ไม่แพง และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ

ข้อจำกัดคือ กลไกของปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เกี่ยวกับกลไกในร่างกาย

2.3 วิธีทำแห้งและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การทำแห้งวิธีลมร้อน (hot air drying)

การทำแห้งวิธีลมร้อนเป็นวิธีการทำแห้งแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการทำแห้งอาหาร การทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายต่อการใช้งาน ต้นทุนในการผลิตต่ำ อาศัยหลักการทำแห้งโดยการพาความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ จากหลายงานวิจัยพบว่า ต้องใช้เวลาในการทำแห้งนานและใช้อุณหภูมิสูง

สามารถทำลายสารต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังส่งผลให้ลักษณะปรากฏทางด้านสีเปลี่ยนแปลง เนื้อสัมผัสหดตัวและมีความสามารถในการคืนตัวต่ำลง (Orikasa และคณะ 2014)

Lin และคณะ (1998) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งแครอทโดยไมโครเวฟสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนและการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งที่มีผลต่อ การดูดน้ำกลับ สี ความหนาแน่นคุณค่าทางโภชนาการ และลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า แครอทที่ผ่านการทำแห้งวิธีลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส พบปริมาณเบต้าแคโรทีน วิตามินซีต่ำ และความหนาแน่นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศและวิธีทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง การทำแห้งวิธีลมร้อนทำให้แครอทสีคล้ำขึ้น แต่แครอทที่ผ่านการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งมีความสามารถในการดูดน้ำกลับสูงสุด เนื่องจาก แครอทมีรูพรุนมาก ลักษณะปรากฏดี และสามารถรักษาสารประกอบต่างๆ ได้สูงสุด (p<0.05)

Singh และคณะ (2008) ศึกษาการทำแห้ง water chestnut โดยใช้ลมร้อน (อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส) เพื่อเปรียบเทียบอัตราการทำแห้งและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการคืนตัว พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์คืนตัวกลับได้ดีที่สุด

Harbourne และคณะ (2009) ศึกษาการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง ลมร้อน และตู้อบแบบถาด (tray-drying) ที่อุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส ของ meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) และ willow (*Salix alba*) พบว่า การทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งและตู้อบแบบถาดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) และสีของสารสกัดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งเป็น 70 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มอัตราในการทำแห้งและทำให้สารประกอบฟีนอลิกลดลง ซึ่งสารสกัดจากสมุนไพรที่ทำแห้ง 70 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีอื่น

Lin และคณะ (2011) ศึกษาการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งร่วมกับสุญญากาศ และการทำแห้งแบบลมเย็น (cool wind-drying) 30 องศาเซลเซียส และการทำแห้งโดยลมร้อนอุณหภูมิ 40, 55, 70 องศาเซลเซียส ของ *Echinacea purpurea* และจัดเก็บที่สภาวะต่างๆ พบว่า กรดซิโคริก (cichoric acid) เป็นสารประกอบฟีนอกลิก ที่พบใน *E. purpurea* และพบว่าการทำแห้งและการเก็บรักษามีผลต่อสารประกอบฟีนอลิก โดยที่การทำแห้งโดยลมเย็นช่วยรักษาสารประกอบต่างๆ ได้มากกว่าร้อยละ 85 เปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งร่วมกับสุญญากาศและการทำแห้งแบบลมร้อน ทั้งนี้

การบรรจุใน polyethylene terephthalate/aluminum foil/polyethylene อุณหภูมิ 10-20 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 40-60 สามารถรักษาสารประกอบต่างๆ ได้สูงที่สุด

Djendoubi Mrad และคณะ (2012) ศึกษาการทำแห้งวิธีลมร้อนอุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส ของลูกแพร์ พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณแอสคอร์บิกและสารประกอบฟีนอลิกลดลง และเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า *a** และ *b** เพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาไม่ใช้เอมไซม์ ซึ่งทำให้ลูกแพร์เกิดสีแดงปนเหลืองขึ้น

Wangcharoen and Gomolmanee (2013) ศึกษาวิธีการทำแห้งใบมะรุม (*M. oleifera*) 3 สายพันธุ์ (Num Phrae, Ang Thong และ PKM1) โดยใช้วิธีลมร้อนโดยศึกษาเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ (50 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส) ที่มีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP, DPPH และ ABTS รวมถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและการเกิดสารประกอบสีน้ำตาลของใบมะรุม พบว่าการทำแห้งวิธีลมร้อนส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกของการทำแห้งและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะหลัง เนื่องจากสารประกอบสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นสัมพันธ์โดนตรงกับผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH (R^2 = 0.834)

การทำแห้งแบบลมร้อนยังส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ในหลายๆ ด้าน ปัจจุบันจึงมีการทำแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการทำแห้งวิธีอื่น เพื่อช่วยลดปัญหาของการทำแห้งแบบลมร้อน เช่นลดเวลาในการทำแห้งและช่วยปรับปรุงลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น โดยพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Díaz และคณะ (2003) ศึกษาการทำแห้งไมโครเวฟ (กำลัง 0 - 0.88 วัตต์ต่อกรัม) ร่วมกับการทำแห้งแบบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อส้ม โดยพบว่าการเพิ่มกำลังของไมโครเวฟมีผลต่อการลดลงของเวลาในการทำแห้ง อย่างไรก็ตามกำลังวัตต์ในการทำแห้งที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อการคืนตัวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งกำลังวัตต์ที่สูงขึ้นอาจส่งผลให้ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แต่อาจให้เวลาการทำแห้งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนชนิดเดียว

Figiel (2010) ศึกษาการทำแห้งบีทรูทโดยทำแห้งด้วยวิธีลมร้อน 60 องศาเซลเซียสร่วมกับวิธีไมโครเวฟสุญญากาศร่วมโดยใช้กำลัง 240, 360, 480 วัตต์ พบว่าการทำแห้งร่วมกันสามารถลดเวลาในการทำแห้งและช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏของบีทรูท และเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้บีทรูทมีเนื้อสัมผัสอ่อน การดูดน้ำกลับสูงและมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้ง

วิธีลมร้อนร่วมกับการเพิ่มกำลังไมโครเวฟสุญญากาศ สามารถลดเวลาในการทำแห้งและรักษาคุณภาพของบีทรูทได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนเพียงวิธีเดียว

Siriamornpun และคณะ (2012) ศึกษาวิธีการทำแห้งดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta L.*) โดยการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง วิธีลมร้อน และวิธี far-infrared radiation ร่วมกับการทำแห้งวิธีลมร้อน (FIR-HA) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสี ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไลโคพีน, เบต้าแคโรทีน, ลูทีน) พบว่าวิธีทำแห้งที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารต่างๆ กล่าวคือ การทำแห้งวิธีลมร้อนทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุด (15.5 mg/100 g dry weight) ขณะที่วิธี FIR-HA และการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง ทำให้ปริมาณลูทีนและไลโคพีนสูงสุดตามลำดับ คุณลักษณะด้านสีพบว่าการทำแห้งวิธี FIR-HA ส่งผลให้ดอกดาวเรืองมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยที่สุด และพบสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกสูงสุดในดอกดาวเรืองที่ผ่านการทำแห้งแบบ FIR-HA ได้แก่ p-coumaric acid, ferulic acid และ sinapic acid ดังนั้น การทำแห้งแบบผสมผสานระหว่าง FIR-HA เป็นวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมกับดอกดาวเรือง ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพด้านสี และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

2.3.2 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

ปัณณธร สุขสถาพรสกุล (2547) กล่าวว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการทำแห้งภายใต้ภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำ ช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการ เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อการเสื่อมเสียเมื่อได้รับความร้อน ลดการหดตัวและมีลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับตัวอย่างก่อนทำแห้ง อย่างไรก็ตามข้อเสียของการทำแห้งวิธีนี้คือ ใช้เวลาในการทำแห้งนานและมีค่าใช้จ่ายในการทำแห้งสูง (Oikonomopoulou และคณะ 2011)

กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนหลัก คือ

- การแช่เยือกแข็ง (freezing) ในขั้นนี้เป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงจนถึงจุดเยือกแข็งหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ให้น้ำหรือสารละลายเปลี่ยนสถานะ เป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ สิ่งสำคัญของขั้นตอนนี้ คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง โดยที่อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง ควรเป็นการแช่แข็งแบบเร็ว (quick freezing) ขึ้นไป เนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก ซึ่งเกิดจากน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์แข็งตัวอย่างรวดเร็ว ลักษณะของผลึกเช่นนี้ ไม่ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เสียหาย แต่หากเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) จะใช้เวลาในการเกิดผลึกน้ำแข็งนาน ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหาย การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี เช่น การแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัส และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด เป็นต้น

- การทำแห้งระยะที่ 1 (primary drying) ขั้นนี้เป็นการลดความดันลง เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอ ออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระดับของความดันสุญญากาศควรอยู่ในระดับสุญญากาศละเอียดซึ่งมีความดัน ต่ำกว่า 132 ปาสคาล (fine vacuum) ถึงระดับสุญญากาศสูง (high vacuum) 132 มิลลิกรัมปาสคาล การระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ พฤติกรรมการระเหิดของผลึกน้ำแข็งระหว่างการทำแห้งระยะที่ 1 แหล่งความร้อนถ่ายโอนความร้อนแฝงในการระเหิดกับผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ชั้นผลึกน้ำแข็งซึ่งเป็นน้ำอิสระ (Free water) ระเหิดออกไปจากผลิตภัณฑ์

- การทำแห้งระยะที่ 2 (secondary drying) ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดน้ำที่เกิดอันตรกิริยาผ่านพันธะต่างๆกับสารอื่น (bound water) ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งไม่ตกผลึกและแข็งตัว ไปกับน้ำอิสระ ช่วงการทำแห้งนี้ เรียกว่า “desorption” ขั้นตอนนี้เกิดขึ้น เมื่อการทำแห้งระยะที่ 1 ซึ่งการระเหิดของน้ำอิสระหมดไป ช่วงของการ desorption อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแฝงให้ชั้นน้ำแข็งหมดไป พลังงานจากแหล่งความร้อนจึงถ่ายโอนสู่ผลิตภัณฑ์โดยตรง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การใช้อุณหภูมิต่ำในการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกและส่งผลให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิธีการทำแห้งวิธีอื่น โดยมีงานวิจัยสนับสนุน ต่อไปนี้

Chan และคณะ (2013) ศึกษาการทำแห้งวิธีไมโครเวฟ วิธีตู้อบ (oven drying) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพร 3 ชนิด โดยพบว่าการทำแห้งแบบไมโครเวฟและตู้อบส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบ *E. elatior* ลดลง แต่วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้ใบ *E. elatior* มีค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 26 การทำแห้งแบบไมโครเวฟของใบ *T. laurifolia* เพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกร้อยละ 34 และค่า AEAC (ascorbic acid equivalent antioxidant capacity) ร้อยละ 67 สำหรับใบ M. *alba* เมื่อผ่านการทำแห้งแบบตู้อบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง แต่ค่า AEAC เพิ่มขึ้น 22% ดังนั้นแล้ววิธีการทำแห้งและพืชต่างชนิดกันส่งผลให้สารประกอบเปลี่ยนแปลงได้แตกต่างกัน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงของพืชที่ใช้การทำแห้งแบบให้ความร้อนอาจส่งผลให้เกิดการทำลายสารเอนไซม์ที่จะทำลายสารประกอบฟีนอลิก จึงทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นได้ รวมไปถึงอาจทำลายพันธะของสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มที่เป็น bound phenolics ให้แตกออกสามารถทำให้เกิดสารประกอบตัวใหม่เกิดขึ้นได้

Hsu และคณะ (2003) ศึกษาการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง วิธีลมร้อน และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการ yams (*Dioscorea spp.*) พบว่าการทำแห้งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความชื้น และสี โดยพบว่าการ

ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบลมร้อน และแบบลูกกลิ้ง

จากงานวิจัยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เช่นการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในหลายๆ งานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยเสนอแนะว่าเป็นการทำแห้งที่สามารถรักษาคุณค่าของสารประกอบต่างๆ ได้ดีกว่าวิธีอื่น อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่เสนอข้างต้นว่า ความแตกต่างของสายพันธุ์พืชอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารประกอบต่างๆ ได้แตกต่างกัน เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและสารต่างชนิดกัน อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อาจไม่สามารถรักษาสารประกอบและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้เสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทำแห้งอื่น ดังต่อไปนี้

Di Cesare และคณะ (2003) ศึกษาการทำแห้งใบโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) โดยวิธีไมโครเวฟ (เปรียบเทียบกำลังวัตต์และเวลาในการทำแห้งกับใบโหระพาสด) และเปรียบเทียบการทำแห้งใบโหระพาสดและใบโหระพาลวกที่ทำแห้งโดยวิธีลมร้อน 50 องศาเซลเซียสและการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง โดยวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่อง GC/MS ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี ด้วยเครื่อง HPLC และสี พบว่าใบโหระพาสดที่ผ่านการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งสามารถรักษาสารระเหยต่างๆได้แก่ eucalyptol, linalool, eugenol, และ methyl eugenol ได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีไมโครเวฟและวิธีลมร้อน แต่วิธีไมโครเวฟสามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์และรักษาสีของใบได้ใกล้เคียงกับใบสดได้มากกว่าวิธีลมร้อนและวิธีแช่เยือกแข็ง

Chang และคณะ (2006) ศึกษาการทำแห้งมะเขือเทศด้วยวิธีแช่เยือกแข็งเปรียบเทียบกับวิธีลมร้อน พบว่ามะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งวิธีลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง สำหรับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ferrous ion chelating power ของสารสกัดมะเขือเทศที่ทำแห้งโดยวิธีลมร้อนมีค่าสูงกว่า เนื่องจากความร้อนทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัว พันธะระหว่างไลโคพีนกับองค์ประกอบเคมีของผนังเซลล์ลดลง จึงปลดปล่อยไลโคพีนเป็นอิสระมากขึ้น และความร้อนทำให้โครงสร้างไลโคพีนเปลี่ยนโครงสร้างแบบ trans- เป็น cis- สามารถทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดมะเขือเทศทุกสภาวะทำแห้งมีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

Hossain และคณะ (2010) ได้ศึกษาอิทธิพลของวิธีการทำแห้งและระยะเวลาเก็บรักษา ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด rosemarinic acid และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP และ ORAC (oxygen radical absorbance capacity) ของสมุนไพร 6 ชนิด คือ rosemary, oregano, marjoram, sage, basil และ thyme โดยใช้วิธีการทำแห้ง 3 แบบ คือ แบบลมร้อน แบบแช่เยือกแข็ง และแบบสุญญากาศ พบว่าการทำแห้งด้วยวิธีลมร้อน ทำให้ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิก (3.5-10 g GAE/g dry basis) ปริมาณ rosemarinic acid (9.74-24.6 mg/

g dry basis) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP (8-22.9 g Trolox/100 g dry basis) และค่า ORAC (26.1-48.0 g Trolox/100 g dry basis) มากกว่าตัวอย่างควบคุม รวมทั้งตัวอย่างที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในสมุนไพรทั้ง 6 ชนิดในระยะเวลาการเก็บ 0 วัน และเมื่อเก็บ 60 วัน พบว่าตัวอย่าง rosemary และ thyme ที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิก 6.1 g GAE/100 g dry basis) และ 5.9 g GAE/100 g dry basis ตามลำดับ ส่วนค่า FRAP ใน rosemary (13.0 g Trolox/100 g dry basis) และ thyme (14.0 g Trolox/100 g dry basis) มากกว่าตัวอย่างที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และค่า ORAC แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บครบ 60 วันเฉพาะใน thyme เท่านั้น

Shofian และคณะ (2011) ศึกษาผลการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งต่อสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลไม้เขตร้อน 5 ชนิด ได้แก่ มะเฟือง (*Averrhoa carambola* L.), มะม่วง (*Mangifera indica* L.), มะละกอ (*Carica papaya* L.), แตงไทย (*Cucumis melo* L.) และแตงโม (*Citruluss lanatus*) พบว่าตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นแตงไทย ($p< 0.05$) และปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) และ เบต้าแคโรทีน (β-carotene) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ระหว่างตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง ยกเว้นมะม่วงสดและแตงโมสด มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง ($p<0.05$) การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ reducing power พบว่ามะเฟืองสดและมะม่วงสดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างอื่น อีกทั้งปริมาณเบต้าแคโรทีนและปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

Oikonomopoulou และคณะ (2011) ได้ศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่า ปัจจัยระหว่างการทำแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี โครงสร้าง และสมบัติทางกายภาพของอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยทั่วไปโครงสร้างรูพรุนเป็นคุณลักษณะสำคัญต่อคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารหลังจากทำแห้ง พบว่ามันฝรั่ง เห็ด และ สตรอว์เบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมีความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (ความพรุนลดลง) ตามความดันที่ใช้ในระหว่างการทำแห้ง แต่เมล็ดข้าวที่ต้มในระยะเวลาต่างๆ แล้วทำแห้งด้วยวิธีดังกล่าวมีความหนาแน่นน้อยลง (ความพรุนเพิ่มขึ้น) ตามระยะเวลาการต้ม

2.3.3 การทำแห้งแบบไมโครเวฟ (microwave drying) และการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum drying)

การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum drying) เป็นการให้พลังงานในรูปแบบของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอาหารจะมีความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี พร้อมทั้งร่วมกับการใช้สุญญากาศ ซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติและชนิดของอาหารด้วย (Chang และคณะ, 2006) ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล (2555) กล่าวถึงการทำแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ โดยใช้หลักการสั่นของโมเลกุลซึ่งสามารถทำให้โมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีเกิดเป็นความร้อนขึ้น ดังนั้นเมื่อ vapor pressure ภายในและภายนอกผลิตภัณฑ์ต่างกัน จะเป็นตัวผลักดันและกำจัดความชื้นที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ออกจากตัวผลิตภัณฑ์ได้ จึงช่วยลดปัญหาการเกิดลักษณะเปลือกแข็งและรอยแตกที่ผิวหน้าหรือจุดไหม้ที่เกิดจากการทำแห้งด้วยลมร้อนแบบดั้งเดิม เนื่องจากพลังงานคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ภายในวัสดุโดยตรง ดังนั้นจึงไม่มีการสูญเสียความร้อนไปกับสภาพแวดล้อมเหมือนการทำแห้งด้วยลมร้อนแบบดั้งเดิม แต่การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟยังมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการลงทุนและการใช้งานของเครื่องมือค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อน อย่างไรก็ตามการใช้คลื่นไมโครเวฟในการทำแห้งวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่า และเพื่อเป็นการแก้ไขข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่าย จึงมีการศึกษาการใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งแบบอื่นๆ ได้แก่ การใช้ร่วมกับการทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศ

ปัจจุบันนิยมใช้การทำแห้งแบบผสมผสานเพื่อนำข้อดีแต่ละวิธีมาใช้ เช่น การทำแห้งวิธีไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ สามารถลดเวลาในการทำแห้งและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างสด เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงและยังอาจใช้เวลานานและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ แต่ใช้เวลาในการทำแห้งนานและมีค่าใช้จ่ายสูง โดยพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

Soysal (2004) ศึกษาการทำแห้งใบ Pasley (*Petroslinum crispum* Mill.) โดยวิธีไมโครเวฟกำลัง 360 - 900 วัตต์ โดยศึกษาเวลาการทำแห้ง อัตราการทำแห้ง และสี พบว่ากำลังวัตต์ที่สูงขึ้น ช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทางด้านสีใบสดและใบที่ผ่านการทำแห้งวิธีไมโครเวฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของใบ pasley ไม่ขึ้นกับกำลังวัตต์ของไมโครเวฟ ดังนั้นการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงกับใบสด โดยกำลังวัตต์ที่สูงขึ้น จะลดเวลาในการทำแห้งลงร้อยละ 64 จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีที่สุด

Hu และคณะ (2006) ศึกษาการทำแห้งวิธีลมร้อนและไมโครเวฟสุญญากาศของ edamames การทำแห้งแบบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทำแห้ง 20 นาทีและการทำ

แห้งแบบไมโครเวฟกำลังวัตต์ 9.33 วัตต์/กรัม ความดัน 95 กิโลปาสคาล ใช้เวลา 15 นาที ดังนั้น พบว่าการทำแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ สามารถลดเวลาการทำแห้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อนชนิดเดียว

Alibas (2007) ศึกษาการทำแห้งใบตำแย (*Urtica dioica* L.) โดยวิธีไมโครเวฟ (500, 650, 750 และ 850 วัตต์) เปรียบเทียบกับวิธีลมร้อน (50, 75, 100 และ 125 องศาเซลเซียส) และวิธีสุญญากาศ (20 และ50 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 50 และ 75 องศาเซลเซียส) ในคุณภาพด้านสีและเวลาในการทำแห้ง พบว่าการทำแห้งวิธีไมโครเวฟใช้เวลาในการทำแห้ง 4-6 นาที ซึ่งการทำแห้งวิธีลมร้อนใช้เวลา 30 -120 นาที และ การทำแห้งวิธีสุญญากาศใช้เวลา 35-65 นาที เพื่อลดความชื้นใบตำแยให้ต่ำกว่าร้อยละ 10 จากการทดลองพบว่าการทำแห้งวิธีไมโครเวฟกำลัง 850 วัตต์ ส่งผลให้คุณภาพทางด้านสีดีที่สุดและใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อนและการทำแห้งแบบสุญญากาศ

Ozkan, Akbudak และ Akbudak (2007) ศึกษาการทำแห้งใบผักโขม (*Spinacia oleracea* L. cv. “Meridian”) โดยวิธีไมโครเวฟกำลัง 90 - 1000 วัตต์ พบว่าวิธีไมโครเวฟใช้เวลาในการทำแห้ง 4-67 นาทีขึ้นอยู่กับกำลังวัตต์ของไมโครเวฟที่ใช้โดยกำลังวัตต์สูงขึ้นสามารถลดเวลาในการทำแห้งลง

Figiel (2009) ศึกษาวิธีการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศกระเทียมเต็มกลีบ หั่นครึ่ง และหั่นแผ่นบางโดยใช้กำลังไมโครเวฟ 240, 480 และ 720 วัตต์ และวิธีลมร้อน 70 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มกำลังวัตต์ทำให้การทำแห้งมีอัตราเพิ่มขึ้น ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลง และเพิ่มการดูดน้ำกลับของกระเทียมแห้ง สีของตัวอย่างที่ทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศมีลักษณะสีขาวสว่างขึ้นเมื่อเทียบกับกลีบกระเทียมสด และกระเทียมทำแห้งโดยไมโครเวฟ 720 วัตต์ สามารถรักษาน้ำมันหอมระเหยได้มากกว่าการทำแห้งวิธีลมร้อน

Therdthai และ Zhou (2009) ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศและวิธีลมร้อนในการทำแห้งใบสะระแหน่ โดยวิธีแรกใช้กำลังไฟฟ้าที่ 8.0 วัตต์/กรัม, 9.6 วัตต์/กรัม และ 11.2 วัตต์/กรัม ที่ความดัน 13.33 กิโลปาสคาล และวิธีหลังใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง คือ 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศลดเวลาในการทำแห้งลงร้อยละ 85–90 เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อน สีของใบสะระแหน่ที่ทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ มีลักษณะเขียวสว่างปนเหลืองมากกว่าการใช้ลมร้อน เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ตรวจสอบโครงสร้างของใบ พบว่าการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศทำให้ใบมีลักษณะเป็นรูพรุนและโครงสร้างคงเดิมมากกว่าการใช้วิธีลมร้อน

Duan และคณะ (2010) พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้แตงกวาทะเลมีคุณภาพสูงสุด แต่พบว่ามีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากใช้เวลาในการทำแห้งนาน การทำแห้งแบบลมร้อนส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง และใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อย่างไรก็ตามพบว่าการทำแห้งแบบผสมผสานโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็งกลับทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและยังส่งผลให้วัตถุดิบมีคุณภาพดี ดังนั้นการทำแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเหมาะนำมาใช้ในการทำแห้งแตงกวาทะเล

Jiang, Zhang และ Mujumdar (2010) ศึกษาการทำแห้งกล้วยผสมมันฝรั่งในสัดส่วนต่างๆ โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็งและไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่า การทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่า 60 นาที แต่การทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสัดส่วนการคืนตัวกลับมากกว่าการทำแห้งวิธีไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ คุณภาพทางด้านสีพบว่าการทำแห้งด้วยกำลัง 3 วัตต์/กรัม ทำให้ตัวอย่างไหม้เกรียมเล็กน้อย และการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าความแข็งสูงกว่าตัวอย่างที่ทำแห้งวิธีไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็ง

Leusink และคณะ (2010) ศึกษาการทำแห้งแครนเบอร์รี่โดยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งวิธีลมร้อน โดยเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านกายภาพและการรักษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าแครนเบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยวิธี ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศมีรูพรุน (total porosity) และขนาดเฉลี่ยรูพรุนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งและการทำแห้งวิธีลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศและการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งสามารถรักษาปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) เมื่อเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อน

Yang และคณะ (2010) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการทำแห้งวิธีลมร้อน วิธีไมโครเวฟ และ วิธีทำแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับแช่เยือกแข็ง ต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของมันเทศ (*Ipomoea batatas* L. Lam.) พบว่าการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ สามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกและมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยที่การทำแห้งโดยลมร้อนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด

Arslan และ Özcan (2011) ศึกษาการทำแห้ง red bell-pepper โดยใช้แสงอาทิตย์ วิธีตู้อบ (oven drying) (อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส) และไมโครเวฟ (กำลัง 210 และ 700 วัตต์) ในคุณภาพด้านสีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าการทำแห้งโดยวิธีพลังงาน

แสงอาทิตย์และไมโครเวฟกำลัง 700 วัตต์ ส่งผลให้พริกมีค่าสี *L**, *a** และ *b** สูงกว่าการทำแห้งวิธีอื่น การทำแห้งตู้อบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและไมโครเวฟกำลัง 700 วัตต์ ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากวิธีนี้สามารถลดเวลาและอุณหภูมิในการทำแห้ง ทำให้สามารถรักษาคุณภาพในด้านต่างๆ เทียบกับการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งและวิธีทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์

Huang และคณะ (2011) ศึกษาการทำแห้งแอปเปิ้ลโดยไมโครเวฟสุญญากาศการและวิธีแช่เยือกแข็งโดยตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่าการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศก่อนวิธีแช่เยือกแข็งส่งผลให้ตัวอย่างมีปริมาณน้ำตาล สารประกอบฟีนอลิกและเพคตินมากกว่าการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งก่อนวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งก่อนวิธีไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้แอปเปิ้ลมีความกรอบสูง แต่มีความแข็งน้อยกว่าแอปเปิ้ลที่ทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศก่อนวิธีแช่เยือกแข็ง

Huang และคณะ (2011) ศึกษาการทำแห้งไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ และการทำแห้งแบบสุญญากาศ ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัส สี การคืนตัว การประเมินทางประสาทสัมผัส และโครงสร้าง พบว่า การทำแห้งไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีที่สุดเมื่อประเมินโดยผู้บริโภค และเวลาในการทำแห้งน้อยกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดแต่พบว่า การทำแห้งวิธีไมโครเวฟไม่สามารถลดเวลาการทำแห้งได้แต่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้งได้ ดังนั้นแล้วการทำแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็ง และไมโครเวฟสุญญากาศเหมาะสมสำหรับการทำแห้งมันฝรั่งผสมแอปเปิ้ล ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสแข็งที่สุด วิธีไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็งทำให้การคืนตัวดีที่สุด และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างสูงสุด

Igual และคณะ (2012) ศึกษาการทำแห้งวิธีไมโครเวฟและการทำแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟที่มีผลต่อสารประกอบฟีนอลิก สารอินทรีย์ และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ apricot พบว่า การทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสามารถช่วยลดเวลาในการทำแห้ง การทำแห้งส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น การทำแห้งทำให้สารอินทรีย์ลดลง พบว่าการใช้ไมโครเวฟส่งผลให้มีปริมาณฟีนอลิกและกรดทาทาริกสูงที่สุด อย่างไรก็ตามฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Śledź และคณะ (2013) ใช้วิธีการทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพ ของสมุนไพร basil (*Ocimumbasilicum*), lovage (*Levisticum officinale*), mint (*Mentha* sp.), oregano (*Origanum vulgare*), parsley (*Petroselinum*

crispum) และ rocket (*Eruca vesicaria*) โดยใช้ไมโครเวฟ 300 วัตต์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หลังจากทำแห้งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สี sorption properties มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยที่สมุนไพรกลุ่ม *Apiaceae* family (lovage, parsley) เปลี่ยนแปลงทางด้านสีน้อยที่สุด และมีสารประกอบฟีนอลิก และ water vapor adsorption สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับ *Lamiaceae* (basil, oregano, mint) และ *Brassicaceae* (rocket)

จากงานวิจัยข้างต้น สรุปได้ว่าการใช้กำลังไมโครเวฟสูงขึ้นสามารถลดเวลาในการทำแห้งและสามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีอื่น นอกจากนั้นการทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศ ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ (40 องศาเซลเซียส) และใช้ระยะเวลาการทำแห้งสั้น อย่างไรก็ตามพบว่ามีงานวิจัยที่กล่าวว่าการทำแห้งโดยกำลังไมโครเวฟที่ต่ำลงสามารถรักษาสารประกอบต่างๆ ได้เช่นกัน

Wojdylo, Figiel และ Oszmianski (2009) ศึกษาการทำแห้งของสตรอว์เบอร์รี่ โดยไมโครเวฟสุญญากาศ (240, 360, และ 480 วัตต์, 4-6 กิโลปาสคาล) การทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง (-60 องศาเซลเซียส) และการทำแห้งวิธีสุญญากาศ (50 องศาเซลเซียส, 100 ปาสคาล) ต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ไวต่อความร้อน และฤทธิ์ในการต้านอนมูลอิสระ พบว่าวิธีทำแห้งและการเก็บเกี่ยวส่งผลให้ปริมาณ ellagic acid และ flavanol เปลี่ยนแปลง ซึ่งการทำแห้งสามารถทำลาย anthocyanins, flavanols, ascorbic acid และลดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยพบว่าตัวอย่างที่ทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังวัตต์ 240 และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สามารถรักษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี ใกล้เคียงกับผลสด เนื่องจากอุณหภูมิและวัตต์ที่ใช้ในการทำแห้งต่ำพร้อมทั้งสภาวะสุญญากาศสามารถลดการเกิดออกซิเดชันได้ และการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศลดเวลาในการทำแห้งลงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง

Chaikham, Kreungngern และ Apichartsrangkoon (2013) ศึกษาวิธีการทำแห้งลำไยโดยวิธีไมโครเวฟ (100 และ 300 วัตต์) ร่วมกับลมร้อน (5 และ 10 เมตร/วินาที) พบว่า การทำแห้งโดยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนส่งผลให้สามารถกำจัดความชื้นออกจากตัวอย่างได้รวดเร็วกว่าการทำแห้งแบบดั้งเดิม วิธีไมโครเวฟ (300 วัตต์) ร่วมกับลมร้อน ส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็ง (firmness) มากกว่า 100 วัตต์ ตัวอย่างที่ใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ 300 วัตต์ มีค่า L^* ลดลง และ ค่า a^* เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยา Maillard browning และ caramelization reactions และยังพบว่ากำลังไมโครเวฟต่ำสามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิก เช่น gallic acid และ ellagic acid ได้ดีกว่าการทำแห้งวิธีดั้งเดิมหรือการใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้น ในด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างพบว่าผู้ประเมินยอมรับลำไยที่ผ่านการทำแห้งที่กำลัง 100 วัตต์ร่วมกับความเร็วลมร้อน 5 เมตร/วินาที

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร ที่ทำให้ลักษณะอาหารมีความแตกต่างกันด้านกายภาพและด้านเคมี มีดังต่อไปนี้

<u>วิธีการทำแห้ง</u>

- วิธีการทำแห้งแต่ละวิธี มีกลไกการทำแห้งที่แตกต่างกัน ทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน (Lin และคณะ, 1998; Harbourne และคณะ, 2009; Therdthai และ Zhou, 2009; Huang และคณะ, 2011; Lin และคณะ, 2011; Djendoubi Mrad. 2012; Chaikham และคณะ, 2013; Igual และคณะ, 2013; Wangcharoen และ Gomolmenee 2013)

<u>เวลา, อุณหภูมิ และกำลังวัตต์ในการทำแห้ง</u>

- การทำแห้งที่ใช้เวลานาน ส่งผลให้สูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการทำแห้งที่ใช้เวลาสั้น (Diaz และคณะ, 2003; Figiel 2010; Leusink และคณะ, 2010; Huang และคณะ, 2011; Djendoubi Mrad 2012)

- อุณหภูมิในการทำแห้งสูง ส่งผลให้สูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งอุณหภูมิต่ำ (Lin และคณะ, 1998; Harbourne และคณะ, 2009; Yang และคณะ, 2010; Lin และคณะ, 2011; Djendoubi Mrad. 2012; Wangcharoen และ Gomolmenee 2013)

- การใช้กำลังวัตต์สูงในการทำแห้งส่งผลให้สามารถรักษาสารประสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งที่ใช้กำลังวัตต์ต่ำกว่า (Soysal 2004; Alibas 2007; Ozkan และคณะ, 2007; Figiel 2009; Leusink และคณะ, 2010; Arslan และ Ozcan 2011; Šledž และคณะ, 2013)

<u>ลักษณะของอาหาร</u>

- ลักษณะอาหารต่างกันส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกัน (Figiel 2009; Hossain และคณะ, 2010)

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังจากการทำแห้ง

- การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำและในสภาวะสุญญากาศ สามารถช่วยชะลอการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิก วิตามิน และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Hossain และคณะ, 2010; Lin และคณะ, 2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี

3.1.1. วัตถุดิบ

ใบอ่อนผักหวานป่า จากจังหวัดสระบุรี (เก็บเกี่ยวเพาะปลูกในเดือนพฤศจิกายน ปี 2555 ถึง ธันวาคม ปี 2556

3.1.2 สารเคมี

Methanol 95%, AR grade (J.T. BAKER), Sodium hydroxide, anhydrous, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand), 2,2 - diphenyl-1-picrylhydrazyl (ALDRICH), Gallic acid 98% (Fluka), Folin-Ciocalteu phenol reagent (CARLO ERBA), Sodium carbonate, anhydrous, AR grade (QRëC™, Quality Reagent Chemical, New Zealand), Sodium acetate, anhydrous, AR grade (Fluka, 99%), 2,4,6-tri (2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) (ALDRICH), Ferric chloride ($FeCl_3.6H_2O$) (LOBA), Hydrochloric acid และ Trolox 6-hydroxy-2,5,7,8 tetramethylchroman-2-carboxylic acid (ALDRICH)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Spectrophotometer (Geneys-20 Thermo Spectronic, USA)
2. Chroma meter (CR-400, KONIKA MINOLTA SENSING, Japan)
3. Rotary Evapotor (Rotavapor R-200BUCHI, UK)
4. Laboratory hot air oven (Model 600, Memmert. Schwabach, Germany)
5. Microwave vacuum drying (MarchCool, Thailand)
6. Freeze drying (Supermodolyo-230, Thermo Scientific, England)
7. Hot air drying (UM-Oven950L, UMAC SCIENTIFIC Co., Ltd, Thailand)
8. Scanning electron microscope (JSM-6400, JEOL Co., Ltd, Japan)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

9. texture analyzer (TA XTplus, Stable Micro System, Surrey, UK)

10. เครื่องชั่งน้ำหนักหยาบ 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Model MS304S, Switzerland)

11. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Model MS304S, Switzerland)

12. ไมโครปิเปต (BIOHIT PROLINE 100-1000 µl, Finland)

13. เครื่องปั่นผสม (Philips, HR1847, China)

14. Water bath (TUTTLINGEN, E53, Germany)

15. เครื่องซีลปากถุง (Model PHS 450 10D, GLORY-PACK, Korea)

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมใบผักหวานป่า

ใบผักหวานป่าที่เลือกใช้ในการวิจัยคือสายพันธุ์ *Melientha suavis* Pierre. จากจังหวัดสระบุรี ซึ่งจะเก็บตัวอย่างจากสวนโดยตรงภายใน 7 วันหลังจากแตกยอดอ่อนทุกครั้ง ใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค และเก็บลงในกล่องโฟมที่มีน้ำแข็งแห้งเพื่อรักษาความเย็นระหว่างเดินทางโดยใช้เวลาในการขนส่งถึงสถานที่วิจัยภายใน 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ภายใน 3 วัน ฤดูกาลเก็บเกี่ยวผักหวานป่าที่ใช้ในงานวิจัยอยู่ในช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือน ธันวาคม ปี พ.ศ. 2556

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของใบผักหวานป่าสด

นำตัวอย่างใบผักหวานป่ามาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร เถ้า ดัดแปลงวิธีจาก A.O.A.C. (1995) (แสดงรายละเอียดตามภาคผนวก)

3.3.3 การศึกษาผลของการทำแห้งใบผักหวานป่า

นำใบผักหวานป่ามาทำแห้งโดยให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก (มาตรฐานสินค้าเกษตร, 2551) ด้วยวิธีดังนี้

- การทำแห้งแบบลมร้อน (hot air drying) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้ตัวอย่างถาดละ 100 กรัม จำนวน 20 ถาด

- การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ที่ความดันสุญญากาศ 5.0 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส ใช้ตัวอย่าง ครั้งละ 1000 กรัม

- การทำแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum drying) กำลังวัตต์ 960-1680 วัตต์ (ที่ความดัน 600 มิลลิเมตรปรอท) ใช้ตัวอย่างในการทำแห้งครั้งละ 400 กรัม

3.3.4 ศึกษาเวลาการทำแห้งที่เหมาะสม

ศึกษาการทำแห้งผักหวานป่าโดยติดตามกราฟการทำแห้งที่สภาวะการทำแห้งต่างๆ ในข้อ 3.3.3 โดยการชั่งน้ำหนักของใบผักหวานป่าก่อนทำแห้ง และชั่งน้ำหนักของใบผักหวานป่าระหว่างทำแห้งทุกๆ 2, 5, 10 นาที ให้เหมาะสมสำหรับวิธีทำแห้งแต่ละวิธี จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และนำตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ไปหาปริมาณความชื้น เพื่อนำไปคำนวณหาเวลาการทำแห้งที่ทำให้ใบผักหวานมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก

3.3.5 การสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกจากใบผักหวานป่า

นำใบผักหวานป่ามาปั่นละเอียดเป็นเวลา 1 นาที นำตัวอย่างใบผักหวานปั่นมาสกัดด้วยเมทานอล 95% ในอัตราส่วน 2 กรัม ต่อ 25 มิลลิลิตร (4 ซ้ำ) ที่อุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้ 1 คืน นำตัวอย่างกรองและเหวี่ยงแยกด้วยความเร็ว 3500 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที เพื่อแยกตะกอนออกจากสารสกัด จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนเป็นเวลา 20 นาที ที่ 40 องศาเซลเซียส จนได้สารสกัดเข้มข้นร้อยละ 10 ดัดแปลงวิธีจาก Hossain และคณะ (2010)

3.3.6 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของใบผักหวานป่า

- ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดโดยดัดแปลงวิธีจาก Chan และคณะ (2009) โดยใช้สารสกัดตัวอย่างนำไปทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu phenol reagent ในสภาวะด่าง และวัดการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร เปรียบเทียบด้วยสารละลายมาตรฐาน gallic acid (mg GAE/ g dry weight) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก)

- ความสามารถเป็นสารต้านออกซิเดชัน (total antioxidant activity) โดยดัดแปลงวิธีจาก Maisuthisakul, Suttajit และ Pongsawatmanit (2007) ใช้เทคนิควิเคราะห์ ด้วยวิธี DPPH scavenging โดยรายงานค่าในหน่วย % inhibition และ FRAP assay ดัดแปลงวิธีจาก Hossain และคณะ (2010) โดยรายงานค่าในหน่วย μM trolox/g dry weight (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก)

- สีใบผักหวานป่า ดัดแปลงวิธีจาก Tapbuntom และ Chinnasarn 2007 โดยวัดค่าสีในระบบ CIE LAB โดย Chroma meter ใบสดวัด 3 ตำแหน่งบนใบโดยตรง ในใบผักหวานแห้งจะบรรจุใบแห้งลงในถ้วยก่อนวัดค่า โดยวัดค่า *L* a* b** (โดยที่ *L** แสดงค่าความสว่างของสีมีค่า 0-100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว, *+a** แสดงลักษณะสีแดง, *-a** แสดงลักษณะสีเขียว , *+b** แสดงลักษณะสีเหลือง และ *-b** แสดงสีน้ำเงิน) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D-light 65 และเทียบมาตรฐานในการวัดสีทุกครั้งก่อนด้วยแผ่นกระเบื้องสีดำและสีขาวตามลำดับ

- ตรวจสอบโครงสร้างใบผักหวานป่าทั้งใบสดและใบที่ผ่านการทำแห้ง ดัดแปลงวิธีจาก Therdthai และ Zhou (2009) นำตัวอย่างใบผักหวานป่าจุ่มไนโตรเจนเหลวและตัดขวางใบโดยการหักใบและใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) โดยใช้กำลังขยาย 850 เท่า เพื่อตรวจสอบโครงสร้าง

- การวิเคราะห์การคืนรูปใบผักหวานแห้ง ดัดแปลงวิธีจาก Therdthai และ Zhou (2009) โดยนำใบผักหวานแห้ง 10 กรัม แช่ลงในน้ำ 80 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งคงที่ และแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และนำมาคำนวณสัดส่วนการคืนน้ำกลับดังนี้

$$\text{สัดส่วนการคืนน้ำกลับ (rehydration ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักที่เวลาต่างๆ(กรัม)} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)}}$$

- ตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของใบผักหวานแห้ง โดยใช้เครื่อง texture analyzer วัดความกรอบ (crispiness) โดยใช้หัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (cylinder probe) และความแข็ง (hardness) โดยใช้หัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร และใช้แรงขนาด 10 กรัม โดยระยะห่างของหัววัดกับใบผักหวานป่าคือ 0.5 มิลลิเมตร รายงานผลในหน่วย แรง (กรัม) ดัดแปลงวิธีจาก Wang และคณะ (2010)

3.3.7 ศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพใบผักหวานป่า

นำใบผักหวานป่าที่ทำแห้งดังรายละเอียดในข้อ 3.3.3 มาบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิท เก็บในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังรายละเอียดในข้อ 3.3.6 ดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัด
- วัดสี (*L* a* b**)

- ตรวจสอบโครงสร้างใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)
- วิเคราะห์การคืนรูปใบผักหวานแห้ง (rehydration ratio)
- ตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture)

3.3.8 การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของใบผักหวานแห้ง

โดยนำตัวอย่างที่ทำแห้ง 3 วิธี บรรจุถุงในอะลูเนียมฟอยล์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์และตรวจวัดสมบัติต่างๆ ตามข้อ 3.3.6 โดยวิเคราะห์ปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดและตรวจวัดสี (*L* a* b**) ทุกๆ 15 วัน จนครบ 90 วัน ดัดแปลงวิธีจาก Hossain และคณะ (2010) และศึกษา microstructure ที่มีผลต่อ stability ของ active compounds เช่น สารกลุ่มฟีนอลิก

3.3.9 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของใบผักหวานป่า โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ การคืนรูปใบผักหวานแห้ง ลักษณะเนื้อสัมผัส และการศึกษาอายุการเก็บรักษา วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 17.0 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของใบผักหวานป่าสด

นำใบสดของผักหวานป่ามาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร เถ้า โดยวิธีจาก A.O.A.C. (1995) โดยมีองค์ประกอบหลักแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบหลักของใบผักหวานป่าสด

องค์ประกอบหลัก	ร้อยละ (100 g dry weight)
ความชื้น	83.20±0.34% (wet basis)
โปรตีน	6.26 ± 0.28%
ไขมัน	1.43 ± 0.62%
เถ้า	1.47 ± 1.92%
คาร์โบไฮเดรต	5.45 ± 0.11%
เส้นใย	2.19 ± 0.55%

*ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

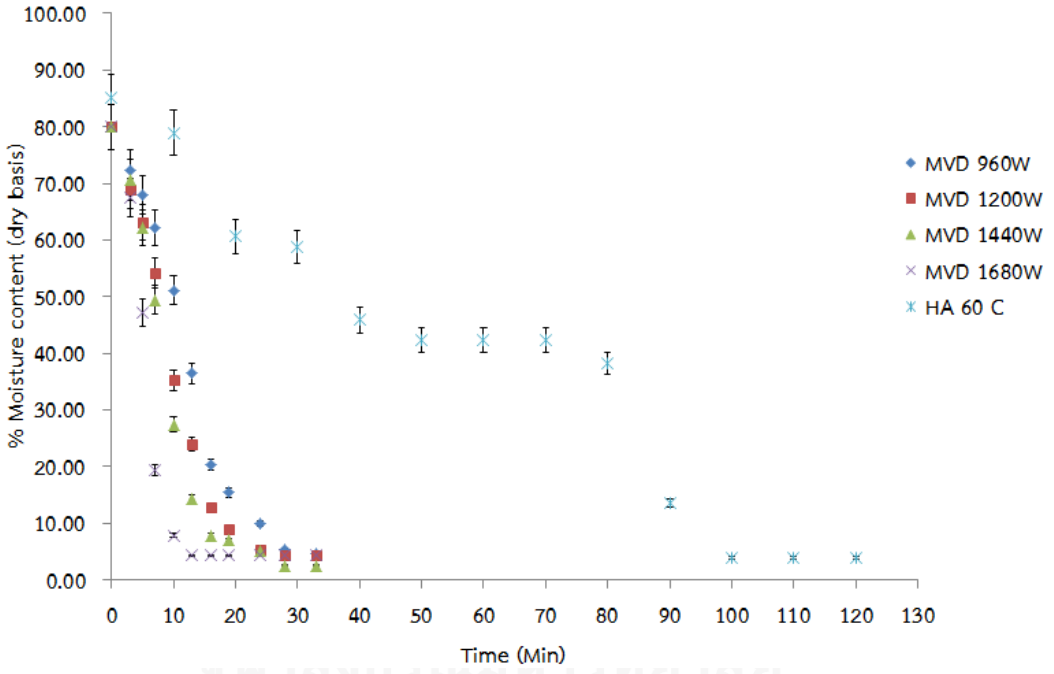
ผลวิเคราะห์จากตารางที่ 4.1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tianpech และคณะ (2008) ที่ศึกษาองค์ประกอบหลักและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักหวานป่าและใบผักหวานป่ามีปริมาณความชื้นสูง และโปรตีนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับใบผักอื่น Shafqatullah และคณะ (2013) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบหลักใบกระเพรา พบว่ามี ความชื้น 5.30 %w/w โปรตีน 0.80 %w/w

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ผลของการทำแห้งใบผักหวานป่า

นำใบผักหวานป่าสดมาทำแห้งโดยให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีดังนี้ การทำแห้งแบบลมร้อน (HA) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ (FD) -60 องศาเซลเซียส และการทำแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ (MVD) กำลังวัตต์ 960-1680 วัตต์ โดยการชั่งน้ำหนักของใบผักหวานป่าก่อนทำแห้ง และชั่งน้ำหนักของใบผักหวานป่าระหว่างทำแห้งทุกๆ 2, 5, 10 นาที ให้เหมาะสมสำหรับวิธีทำแห้งแต่ละวิธีจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และนำตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ไปหาปริมาณความชื้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลาดังภาพที่ 4.1

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้ง



ภาพที่ 4.1 ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปเทียบกับเวลาในระหว่างการทำแห้งผักหวานป่าด้วยวิธีต่างๆ

จากภาพที่ 4.1 พบว่าวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันส่งผลต่อการลดของความชื้นของใบสดในช่วงเวลาต่างๆ กล่าวคือ การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน และการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังวัตต์มากขึ้นใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลง โดยที่ 960, 1200, 1440, 1680 วัตต์ ใช้เวลาการทำแห้ง 33, 24, 16, 10 นาที ตามลำดับ ขณะที่การทำแห้งวิธีลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการทำแห้งมากกว่า 90 นาที และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการทำแห้ง 24 ชั่วโมง (ไม่ได้แสดงผล) เพื่อลดความชื้นของใบผักหวานให้ต่ำกว่าร้อยละ 7 (น้ำหนักแห้ง) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Therdthai และ Zhou (2009) พบว่า การทำแห้งใบสะระแหน่ โดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลัง

1600-2240 วัตต์ ใช้เวลาในการทำแห้ง 10-13 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อน 60-70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้ง 60-90 นาที การทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศลดเวลาในการทำแห้ง 85-95% ซึ่งการทำแห้งวิธีลมร้อนใช้หลักการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนโดยลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ช่วงแรกความชื้นภายในวัตถุดิบเคลื่อนที่มายังบริเวณผิวหน้าของวัตถุดิบเพื่อกำจัดออกความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและเมื่อความชื้นบริเวณผิวหน้าถูกกำจัดเกิดลักษณะเปลือกแข็งขึ้น ส่งผลให้ความชื้นภายในวัตถุดิบกำจัดออกได้ยากขึ้นในช่วง 40-80 นาที หลังจากนั้นความชื้นลดลงอีกครั้ง (Gowen และคณะ 2008; Orikasa และคณะ 2014) เนื่องมาจากผิวหน้าที่แข็งเกิดการแตกออก (crack) จึงกำจัดความชื้นได้รวดเร็วอีกครั้งในเวลา 80-90 นาที ดังนั้นการทำแห้งแบบลมร้อนจึงใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้นทำให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปร่างหดย่น Giri และ Prasad (2007) พบว่า การทำแห้งเห็ดโดยไมโครเวฟสุญญากาศ (115-285 วัตต์) ใช้เวลาในการทำแห้ง 20-45 นาที น้อยกว่าการทำแห้งวิธีลมร้อน 50-70 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาในการทำแห้ง 150-270 นาที และจากงานวิจัยของ Soysal (2004) ที่ทำแห้งใบ parsley โดยไมโครเวฟ (360-900 วัตต์) พบว่าเมื่อกำลังวัตต์สูงขึ้น สามารถลดเวลาในการทำแห้งลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) Wang และ Xi (2005) สรุปว่าการทำแห้งแครอทโดยวิธีไมโครเวฟ (120-240 วัตต์) ลดเวลาในการทำแห้งร้อยละ 80-90 เช่นเดียวกันกับ Figiel (2009) ซึ่งพบว่า การทำแห้งกระเทียมโดยไมโครเวฟ ด้วยกำลังวัตต์สูงขึ้น สามารถลดเวลาในการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล (2555) กล่าวว่า การทำแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ ใช้หลักการสั่นของโมเลกุล ซึ่งสามารถทำให้โมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีเกิดเป็นความร้อนขึ้น ดังนั้นเมื่อ vapor pressure ภายในและภายนอกผลิตภัณฑ์ต่างกัน จะเป็นตัวผลักดันและกำจัดความชื้นที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ออกจากตัวผลิตภัณฑ์ได้ จึงช่วยลดปัญหาการเกิดลักษณะเปลือกแข็งและรอยแตกที่ผิวหน้าหรือจุดไหม้ที่เกิดจากการทำแห้งด้วยลมร้อนแบบดั้งเดิม เนื่องจากพลังงานคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ภายในวัสดุโดยตรง ดังนั้นจึงไม่มีการสูญเสียความร้อนไปกับสภาพแวดล้อมเหมือนการทำแห้งด้วยลมร้อนแบบดั้งเดิม และสอดคล้องกับ Calín-Sánchez และคณะ (2011) กล่าวว่า การทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศที่ใช้กำลังวัตต์สูงขึ้น โมเลกุลน้ำจะเกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีกันได้มากขึ้น เกิดความร้อนภายในวัตถุดิบอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น และสามารถป้องกันการเกิดเปลือกแข็งบนผลิตภัณฑ์ที่เป็นอุปสรรคต่อการกำจัดน้ำออกจากมวลอาหาร จึงใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลง

จากการวิจัยพบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้เวลาในการทำแห้งนานที่สุด (24 ชั่วโมง) เพื่อลดความชื้นของวัตถุดิบให้ต่ำกว่าร้อยละ 7 ซึ่งปัณณธร ภัทรสถาพรกุล (2547) กล่าวว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการทำแห้งภายใต้ภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำ จึงช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการและลักษณะปรากฏได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างก่อนทำแห้งมาก เนื่องจาก

กระบวนการทำแห้งวิธีนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การแช่เยือกแข็ง (freezing) ในขั้นนี้เป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงจนถึงจุดเยือกแข็งหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็งให้น้ำหรือสารละลายเปลี่ยนสถานะ เป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ การทำแห้งระยะที่ 1 (primary drying) ขั้นนี้เป็นการลดความดันลงเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ และการทำแห้งระยะที่ 2 (secondary drying) ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดน้ำที่เกิดอันตรกิริยาผ่านพันธะต่างๆ กับสารอื่น (bound water) ในผลิตภัณฑ์ซึ่ง ไม่ตกผลึกและแข็งตัวไปกับน้ำอิสระ แต่ละขั้นตอนใช้เวลาในการทำแห้งนาน จึงส่งผลให้ใช้เวลาในการทำแห้งทั้งหมดนานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีไมโครเวฟสุญญากาศและการทำแห้งแบบลมร้อน แต่ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถที่จะช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และลักษณะปรากฏได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างก่อนทำแห้ง

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของใบผักหวานป่า

4.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบผักหวานที่ผ่านการทำแห้งเปรียบเทียบกับใบสด

นำใบสดผักหวานป่าและใบที่ผ่านการทำแห้งนำมาสกัด เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดโดยดัดแปลงวิธีจาก Chan และคณะ (2009) แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเปรียบเทียบทั้งใบสดและใบที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ

ผักหวานป่า	mg GAE/g dry weight
ใบสด	$953.40^{a} \pm 40.23$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์	$324.38^{c} \pm 91.56$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์	$471.13^{b} \pm 95.90$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์	$528.08^{b} \pm 83.18$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	$593.36^{b} \pm 70.78$
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	$282.71^{c} \pm 34.74$
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	$91.67^{d} \pm 9.23$

a, b,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิธีการทำแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ ลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำที่สุด (-60 องศาเซลเซียส) ใช้เวลาในการทำแห้ง 24 ชั่วโมง ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำสุด (91.67 mg GAE/g dry weight) ในขณะที่การทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังวัตต์

สูงที่สุด (1680 วัตต์, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส, เวลา 10 นาที) ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (593.36 mg GAE/g dry weight) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีอื่น ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรัณยา ลาภส่งผล (2550) ซึ่งศึกษาผลของการทำแห้งลำไยด้วยลมร้อนพร้อมเปลือกและชาลำไย (60-90 องศาเซลเซียส) ต่อสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสและสารประกอบฟีนอลิก พบว่าสารประกอบฟีนอลิกก่อนการทำแห้งมีปริมาณมากกว่าในลำไยที่ทำแห้งด้วยลมร้อน (60-90 องศาเซลเซียส) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เช่นเดียวกับ Chan และคณะ (2009) พบว่า ใบพืชในกลุ่มขิง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงหลังจากผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ ตู้อบ (oven drying) และแสงอาทิตย์ (sun drying) และ Lim และ Murtijaya (2007) พบว่า ลูกใต้ใบ (*Phyllanthus amarus*) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) หลังจากการทำแห้งวิธีไมโครเวฟ ตู้อบ และการใช้แสงอาทิตย์ (sun drying) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Hossain และคณะ (2010) ได้ศึกษาผลของการทำแห้งวิธีลมร้อนสุญญากาศ (vacuum drying) วิธีทำแห้งแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บรักษา 60 วันต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP และ ORAC ของสมุนไพร 6 ชนิด (rosemary, oregano, marjoram, sage, basil และ thyme) กลับพบว่าสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณเพิ่มขึ้น ภายหลังจากการทำแห้งลมร้อน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Santos-Sánchez และคณะ (2012) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นภายหลังจากการทำแห้งด้วยวิธีทำแห้งแบบถาดหมุน (rotating tray drying) อุณหภูมิ 45-60 องศาเซลเซียส โดยความแตกต่างของผลการทดลอง เนื่องมาจาก ชนิดของวัตถุดิบ วิธีการทำแห้ง อุณหภูมิการทำแห้ง และเทคนิคที่ใช้ในการสกัด

สาเหตุของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการทำแห้ง อาจเนื่องมาจากสารกลุ่มดังกล่าวอาจสลายตัวในขณะการทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงและระยะเวลาของการทำแห้งนาน (Ferreira และคณะ 2002) จากการทดลองการทำแห้งโดยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการทำแห้งแบบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มกำลังวัตต์ในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงขึ้น เนื่องจากกำลังวัตต์ที่สูงขึ้นใช้เวลาในการทำแห้งที่สั้นลงเพื่อให้ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 และการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 38 องศาเซลเซียส และสภาวะการทำแห้งเป็นแบบสุญญากาศ สามารถช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ จึงรักษาสารประกอบฟีนอลิกได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Figiel (2010) ที่ศึกษาการทำแห้งบีทรูท (beetroot) ด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและพบว่าเมื่อใช้กำลังวัตต์สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เช่นเดียวกับ Siriamornpun

และคณะ (2012) ที่พบว่าการทำแห้งดอกดาวเรืองโดยไมโครเวฟสุญญากาศ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ใช้อุณหภูมิต่ำแต่ใช้เวลาในการทำแห้งนาน มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงมากกว่า เนื่องจากขั้นตอนแรกในการทำแห้ง ได้แช่เยือกแข็งตัวอย่างในตู้แช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) 12 ชม. (slow freezing) ซึ่งอาจทำให้สารประกอบฟีนอลิกถูกทำลาย เนื่องจากแช่เยือกแข็งแบบ slow freezing น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดผลึกใหญ่และช้าเซลล์เกิดการฉีกขาดส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและเกิดการ oxidation

ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shofian และคณะ (2011) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลไม้ในเขตร้อน มีค่าลดลงเมื่อผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และงานของ Chang และคณะ (2006) ที่พบว่าการทำแห้งมะเขือเทศแบบลมร้อนทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นอกจากนั้น Hossain และคณะ (2010) ยังพบว่าการทำแห้งสมุนไพรด้วยลมร้อนทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเช่นกัน ทั้งนี้ Chism และ Haard (1996) ให้เหตุผลว่า โดยทั่วไปผักและผลไม้จะมีสารประกอบฟีนอลิกสะสมอยู่ใน cell vacuoles เมื่อแปรรูปโดยการทำแห้ง ส่วนประกอบดังกล่าวนี้จะถูกทำลาย จึงปล่อยสารประกอบฟีนอลิก พร้อมทั้ง oxidative และ hydrolytic enzymes ออกจากเซลล์ ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวสามารถทำลายสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ได้ แต่การทำแห้งแบบลมร้อนซึ่งใช้อุณหภูมิสูง ทำให้เอนไซม์ดังกล่าวเสียสภาพธรรมชาติ สารประกอบฟีนอลิกจึงไม่ถูกทำลายจากเอนไซม์ดังกล่าว การทำแห้งแบบลมร้อนจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าแบบแช่เยือกแข็ง ตรงข้ามกับผลของ Hsu และคณะ (2003) และ Chan และคณะ (2013) พบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน โดยให้เหตุผลว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้ง จึงส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกไม่ถูกทำลายด้วยความร้อน จึงสามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้มากกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน

4.3.2 ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

นำใบสดผักหวานป่าและใบที่ผ่านการทำแห้งนำมาสกัดและวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระโดย FRAP assay ดัดแปลงวิธีจาก Hossain และคณะ (2010) แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP

ผักหวานป่า	µM Trolox/g dry weight
ใบสดผักหวาน	$954.50^{a} \pm 23.13$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์	$109.40^{e} \pm 13.01$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์	$170.44^{d} \pm 6.69$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์	$502.74^{c} \pm 79.09$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	$867.63^{b} \pm 56.98$
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	$136.27^{de} \pm 22.63$
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	$61.99^{f} \pm 34.25$

a, b,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.3 ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

นำใบสดผักหวานป่าและใบที่ผ่านการทำแห้งนำมาสกัดและวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระโดย DPPH assay ดัดแปลงวิธีจาก Maisuthisakul และคณะ (2007) แสดงผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH

ผักหวานป่า	% inhibition
ใบสดผักหวานป่า	$64.18^{b} \pm 13.79$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์	$63.34^{b} \pm 9.33$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์	$59.81^{bc} \pm 8.00$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์	$53.58^{c} \pm 9.22$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	$66.30^{b} \pm 10.02$
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	$55.314^{bc} \pm 23.05$
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	$77.55^{a} \pm 7.21$

a, b,... ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วย FRAP assay และตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ DPPH assay (%inhibition) ของสารสกัดใบสดและใบผักหวานที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ การทำแห้งแบบลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าใบผักหวานสดมีค่า FRAP สูงสุด (954.50 μM Trolox/ g dry weight) ใบผักหวานป่าที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีค่า FRAP สูงกว่าใบผักหวานป่าที่ทำแห้งวิธีลมร้อน และวิธีแช่เยือกแข็ง สอดคล้องกับ Lin และคณะ (1998) ซึ่งพบว่าแครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเช่น เบต้าแคโรทีน วิตามินซีสูงกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน Siriamornpun และคณะ (2012) พบว่าดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta* L.) ที่ทำแห้งส่งผลให้มีค่า FRAP ลดลง การทำแห้งแบบผสมผสานช่วยรักษาปริมาณ FRAP ได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างสด Figiel (2010) พบว่าการเพิ่มกำลังไมโครเวฟสุญญากาศร่วมกับการทำแห้งแบบลมร้อนรักษาคุณภาพของบีทรูทได้ดีกว่าการทำแห้งแบบลมร้อนเพียงวิธีเดียว Arslan และ Özcan (2011) พบว่าการทำแห้งแบบตู้อบ (oven drying) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและไมโครเวฟกำลัง 700 วัตต์ และแบบแสงอาทิตย์ ส่งผลให้ red bell-pepper มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง Hossain และคณะ (2010) พบว่าการทำแห้งส่งผลให้การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มเดียวกับกับการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP จากการทดลองนี้พบว่าการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งส่งผลให้ใบผักหวานป่ามีค่า FRAP ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH แสดงผลในค่า % inhibition พบว่าใบผักหวานป่าที่ทำแห้งวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า % inhibition สูงสุด (77.55±7.21%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ใบผักหวานป่าสด ผักหวานป่าที่ทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศและการทำแห้งแบบลมร้อนมีค่า % inhibition ของการยับยั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายกลุ่ม กลุ่มที่เลือกศึกษาได้แก่ สารประกอบกลุ่มฟีนอลิก ซึ่งความแตกต่างของค่าที่ได้โดยวิธี DPPH อาจไม่สัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP ทั้งนี้ Wong และคณะ (2006) กล่าวว่าสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลิกแต่ละชนิดมีกลไกการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน โดยวิธี DPPH เป็นวิธี radical scavenging และอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ จัดเป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วง การวิเคราะห์เป็นการวัดความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และเมื่อได้รับไฮโครเจนอะตอมจะเปลี่ยนเป็น สารละลายสีเหลือง Mishra, Ojha และ Chaudhury (2012) ส่วนวิธี FRAP เป็นวิธี reducing metal ion วิเคราะห์สารที่สามารถรีดิวซ์อะตอมเหล็กเฟอริกในโครงสร้าง (Fe^{3+}) ให้เปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส (Fe^{2+}) ดังนั้นการทำแห้งใบผักหวานป่าด้วยวิธี

ต่างๆ อาจทำให้โครงสร้างของสารประกอบเปลี่ยนไป จากการวิเคราะห์พบว่า การทำแห้งโดยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ อาจไม่ได้ทำลายสารต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากทำแห้งในอุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสและในสภาวะสุญญากาศ สามารถรักษาสารต่างๆ ได้ดี สำหรับการทำแห้งวิธีลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มี %inhibition สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Wangcharoen และ Gomolmanee (2012) พบว่าใบมะรุมที่ทำแห้งโดยวิธีลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปรากฏสีน้ำตาลบนผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสารตัวใหม่จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ (Maillard reaction) คือ HMF (hydroxymethylfurfural) ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และพบว่าวิธี DPPH สัมพันธ์กับ browning pigment (R^2 = 0.834) โดยจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักใบผักหวานป่าพบปริมาณ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ อาจเป็นผลให้วิเคราะห์ DPPH ได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม Turkmen และคณะ (2005) และ Chuah และคณะ (2008) กล่าวว่า อนุมูล DPPH จะทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระได้ค่าเพิ่มขึ้นหรือไม่เปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของผักและวิธีการแปรรูปที่ใช้ Arslan และ Özcan (2011) พบว่าสภาวะการทำแห้งที่แตกต่างกันส่งผลให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของ red bell-pepper แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การทำแห้งแบบแสงอาทิตย์ ตู้อบ (oven drying) และไมโครเวฟ 700 วัตต์ ส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้น 67.02–76.14% ซึ่งการทำแห้งแบบตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสไม่มีผลในการลดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยใบผักหวานป่าทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Madrau และคณะ (2009) พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแอปริคอทเพิ่มขึ้นหลังจากทำแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส Oboh และ Akindahunsi (2004) พบว่าการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ เพิ่มฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระผักใบเขียว Pérez-Gálvez และ Mínguez-Mosquera (2005) กล่าวว่าการทำแห้งที่นานและใช้อุณหภูมิสูงอาจก่อให้เกิด caramelisation, Maillard reactions, enzymatic reactions, pigment degradation และ L- ascorbic acid oxidation Piga และคณะ (2003) พบว่าการทำแห้งลูกพลัมและลูกพรุนโดยวิธีลมร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ให้เหตุผลว่าที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เกิดสารใหม่ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงโดย Maillard reaction การทำแห้งผักหวานป่าแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้ %inhibition สูงกว่าการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศและวิธีลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) อาจเป็นไปได้ว่า เพราะเอนไซม์ที่ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อน ทำให้เกิดการ oxidation สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟีนอกลิกที่ถูก oxidized อาจมีโมเลกุลที่เล็กลง จึงเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีกับสาร DPPH ส่งผลให้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ ไม่ได้ศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกของใบผักหวานป่า สารประกอบฟีนอลิก

ที่มีอยู่หลังจากการทำแห้งแล้ว อาจมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี จึงควรมีการศึกษาต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีใบผักหวานทำแห้งโดยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ 960-1680 วัตต์, ลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เปรียบเทียบกับใบสด

นำใบผักหวานป่าสดและใบที่ทำแห้งมาตรวจวัดทางกายภาพด้านสีในระบบ CIE โดย ดัดแปลงวิธีจาก Tapbuntom และ Chinnasarn 2007 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสีของใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งวิธีต่างๆ เปรียบเทียบกับใบสด

วิธีการทำแห้ง/เวลาทำแห้ง	L*	a*	*b**	ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE)
ใบสดผักหวานป่า	46.76 ^{a} ±3.29	-19.62 ^{c} ±1.06	33.84 ^{a} ±4.98	-
ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์/33นาที	16.42 ^{d} ±2.13	-10.25 ^{b} ±0.54	14.73 ^{d} ±1.06	39.72 ^{a} ±2.82
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์/24นาที	17.45 ^{c} ±3.79	-11.10 ^{c} ±0.85	16.54 ^{c} ±1.79	36.48 ^{b} ±1.40
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์/16นาที	18.33 ^{c} ±1.63	15.09 ^{d} ±0.74	15.09 ^{c} ± 0.74	35.55 ^{b} ±0.86
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์/10นาที	17.23 ^{c} ±3.69	-10.06 ^{b} ±1.25	14.51 ^{d} ±2.29	36.57 ^{b} ±1.09
ตู้อบลมร้อน 60 ° C/120 นาที	20.23 ^{b} ±4.44	-6.35 ^{a} ±2.46	17.05 ^{c} ±3.23^{c}	34.40 ^{b} ±1.15
แช่เยือกแข็ง-60 ° C/24 ชั่วโมง	47.12 ^{a} ±9.49	-11.62 ^{c} ±4.75	21.81 ^{b} ±9.00^{b}	15.32 ^{c} ±1.59

a, b,... ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาผลของวิธีการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสีของใบผักหวานป่าหลังการทำแห้ง โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ *L** คือ ค่าความสว่าง มีค่า 0-100, *a** คือ *-a** แทนสีเขียว *+a** แทนสีแดง, *-b** แทน สีน้ำเงิน *+b** แทนสีเหลือง พบว่าวิธีการทำแห้งที่ใช้มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ต่อค่า *L*, a** และ *b** ดังตารางที่ 4.5 ใบสดมีค่า *L*, a*, b** คือ 46.76, -19.62 และ 33.84 ตามลำดับ การทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์/33 นาที, 1200วัตต์/24 นาที, 1440 วัตต์/16 นาที, 1680 วัตต์/10นาที และวิธีลมร้อน 60 องศาเซลเซียส/90 นาที ทำให้ค่า *L*, b** ลดลง แต่ *a** เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับใบสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่วิธีแช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส/24 ชั่วโมง ไม่ทำให้ค่าความสว่าง *L** แตกต่างกับใบสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ จะปรากฏสีเขียวเข้มขึ้นสม่ำเสมอ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้ใบผักหวานป่ามีสีเขียวสว่าง ดังภาพที่ 5-จ แต่การทำแห้งด้วยลมร้อนใบผักหวานป่ามีสีเขียวเข้มปนน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ ดังภาพที่ 5-ฉ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin และคณะ (1998) ที่พบว่าแครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบลมร้อนมีสีคล้ำขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีสุญญากาศและการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งจากงานวิจัยของ Di Cesare และคณะ (2003) พบว่าใบโหระพาที่ทำแห้งโดยไมโครเวฟ สามารถรักษาสีและปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ใกล้เคียงใบสด และงานวิจัยของ Therdthai และ Zhou (2009) พบว่าใบสะระแหน่ที่ทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ ปรากฏสีสม่ำเสมอมากกว่าใบสะระแหน่ที่ทำแห้งวิธีลมร้อน Pott และคณะ (2005) กล่าวว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงและเวลานานในการทำแห้ง ส่งผลให้เกิดลักษณะสีน้ำตาลแดงในมะม่วงแผ่น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Maillard reactions) ในระหว่างที่ทำแห้ง (Adam และคณะ 2000) จากงานวิจัยของศรัณยา ลาภส่งผล (2550) พบว่าการทำแห้งลำไยด้วยอุณหภูมิสูงสุด 90 องศาเซลเซียส/19 ชั่วโมง สีเนื้อลำไยจะมีสีน้ำตาลเข้มมากที่สุด งานวิจัยของรุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม (2549) ทำแห้งลำไยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส/28 ชั่วโมง สีของเนื้อลำไยจะมีสีน้ำตาลเข้มมากที่สุด โดยให้เหตุผลการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากองค์ประกอบมีโปรตีนและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ เป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ งานวิจัยของ Chaikham และคณะ (2013) พบว่าลำไยที่ใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ 300 วัตต์ มีค่า *L** ลดลง และ ค่า *a** เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีขึ้นอยู่กับวิธีการทำแห้ง อุณหภูมิในการทำแห้ง เวลาในการทำแห้ง และปริมาณออกซิเจนในระบบ (Therdthai และ Zhou, 2009) สีใบผักหวานป่าที่ทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศมีสีเขียวเข้มสม่ำเสมอ เนื่องจากใช้เวลาในการทำแห้งสั้นและทำแห้งในสภาวะสุญญากาศ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับใบสด เนื่องจากทำแห้งในสภาวะอุณหภูมิต่ำ สามารถรักษารูปร่าง และสีใกล้เคียงกับตัวอย่างสด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiang และคณะ (2010) พบว่าการทำแห้งแผ่นกล้วยด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ซึ่งได้ให้เหตุผลว่า

เนื่องจากแผ่นความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งสามารถกระจายพลังงานความร้อนได้สม่ำเสมอในระหว่างการทำแห้งส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างตัวอย่างสดและตัวอย่างทำแห้งจึงมีค่าน้อย ทั้งนี้การเกิดสีน้ำตาลกับผลิตภัณฑ์เป็นไปได้หลายกลไก คือ

(1) เมื่ออุณหภูมิสูง อะตอมแมกนีเซียมในโครงสร้างคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่ด้วยอะตอมไฮโดรเจน เปลี่ยนคลอโรฟิลล์กลายเป็นฟีโอไฟตินซึ่งให้สีน้ำตาล (Therdthai และ Zhou, 2009)

(2) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ได้แก่

- Maillard reaction เกิดขึ้นระหว่างหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาล (reducing sugar) กับกรดอะมิโนอิสระ หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา เกิดผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่สำคัญคือ HMF (hydroxymethylfurfural) เป็นอนุพันธ์ฟูแรน ซึ่งจะเกิดพอลิเมอไรเซชัน กลายเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Melanoidin) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Wangcharoen และ Gomolmanee, 2012)

- Caramelization เป็นการเกิดสารสีน้ำตาลเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงโดยไม่มีสารประกอบจำพวกอะมิโน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูง และมีการเกิดพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัว เรียกว่า คาราเมล (caramel) (Berk, 1976)

- Ascorbic acid browning เป็นการเกิดสีน้ำตาลจากกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อน ทำให้สูญเสียน้ำ ในสภาวะกรด หรือมีออกซิเจน ทำให้เกิดออกซิเดชันเปลี่ยนเป็นสารเฟอฟูราล (furfural) และอาจยังเกิดสารตัวกลางอื่นๆ เช่น 2-furoic acid, threonic acid, oxalic acid, L-xylose (Eskin และคณะ, 1971; รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม, 2549)

(3) การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวกับเอนไซม์นี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) สาร monophenol อยู่ในเซลล์ vacuole เมื่อเซลล์ถูกทำให้ ฉีก ขาด สาร monophenol (ไม่มีสี) จึงเข้าทำปฏิกิริยา oxidation กับเอนไซม์ polyohenol oxidase ในสภาวะมีออกซิเจน กลายเป็นสาร diphenol (ไม่มีสี) และ ถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น *o*-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดแอมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาลและจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่และมีสีน้ำตาล เช่น เมลานิน (melanin) (Nicolas และคณะ 1994)

ภาพถ่ายของใบผักหวานป่าหลังจากผ่านการทำแห้งแต่ละวิธีแสดงดังภาพที่ 4.2

ก. ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์

ข. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์

ค. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์

ง. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์

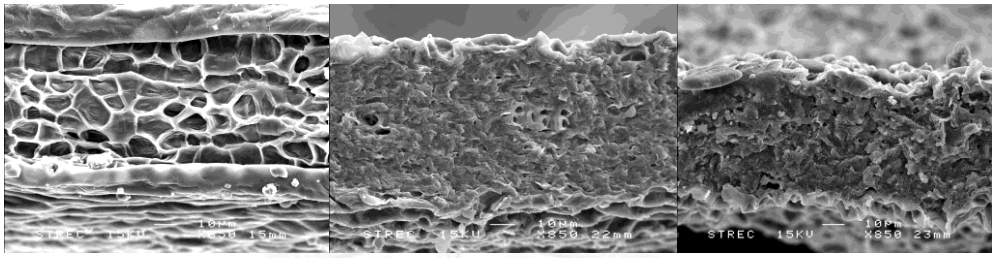
จ . แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส

ฉ. ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

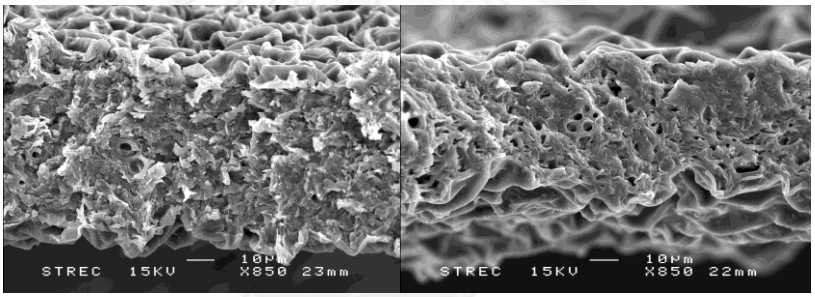
ภาพที่ 4.2 ใบผักหวานทำแห้งด้วยวิธี (ก-ง) ไมโครเวฟสุญญากาศ (960-1680 วัตต์), (จ) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ฉ) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

4.3.4 โครงสร้างใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

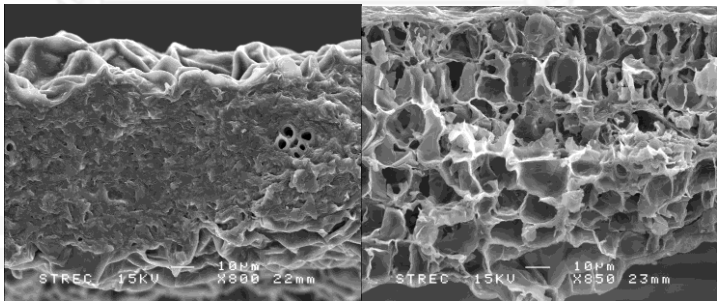
นำใบผักหวานป่าสดและใบที่ผ่านการทำแห้ง มาวิเคราะห์โครงสร้างตัดขวางภายใน ดัดแปลงวิธีจาก Therdthai และ Zhou (2009) ให้ผลดังนี้



ก. ใบสดผักหวานป่า ข. ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์ ค. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์



ง. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์ จ. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์



จ. ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ช. แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.3 โครงสร้างตัดขวางใบผักหวานสด (ก) ใบผักหวานทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (ข-จ) แบบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส (ฉ) และแบบแช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส (ช) กำลังขยาย 850 เท่า

โครงสร้างของอาหารหลังจากการทำแห้งเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพ เนื้อสัมผัส และการคืนตัว อาหารที่ผ่านการทำแห้งจะมีโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลง เช่น การทำแห้งวิธีลมร้อนทำให้โครงสร้างหดตัวเสียสภาพ (Oikonomopoulou และคณะ 2011) จากภาพที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายตัดขวางโครงสร้างภายใน กำลังขยาย 850 เท่า พบว่าใบผักหวานป่าสด (ก) และ ใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ช) มีโครงสร้างภายในที่มองเห็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (ข-จ) และการทำแห้งแบบลมร้อน (ฉ) เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในขั้นตอน freezing น้ำในผลิตภัณฑ์ถูกทำให้แข็งอย่างรวดเร็วเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กๆ แทรกตามเซลล์และกระจายตัวอย่างทั่วถึง และการระเหิดผลึกน้ำแข็งโดยลดความดัน ในขั้นตอน primary drying ทำให้เกิดช่องว่างและรูพรุนขนาดใหญ่แทนที่ผลึกน้ำแข็งซึ่งทำให้โครงสร้างไม่หดตัว ยังคงรูปร่างใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิม (Krokida, Tsami และ Maroulis (1998); Oikonomopoulou และคณะ 2011) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jankovie (1993) พบว่าการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งเบอร์รี่เกิดการหดตัว (5-15 %) เปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อน (80%) Krokida และคณะ (1998) พบว่าการลดอุณหภูมิในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ตัวอย่างมีรูพรุนมากขึ้น (90%) Lin และคณะ (1998) พบว่าแครอทที่ทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะโครงสร้างที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด (รูพรุนมาก) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศและการทำแห้งแบบลมร้อน ดังนั้นจากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าสิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใบผักหวานป่า ได้แก่ วิธีการทำแห้ง อุณหภูมิ และกำลังวัตต์

เมื่อกำลังวัตต์ที่ใช้สำหรับวิธีไมโครเวฟสุญญากาศสูงขึ้นทำให้ใบผักหวานป่ามีรูพรุนเพิ่มขึ้นและเห็นรูพรุนชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Giri และ Prasad (2007) ที่พบว่าเห็ดที่ผ่านการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ มีลักษณะเป็นรูพรุนมากกว่าแบบลมร้อน เนื่องจาก การทำแห้งวิธีลมร้อนใช้หลักการการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนและความชื้นภายในวัตถุดิบจะเคลื่อนที่มายังบริเวณผิวหน้าของวัตถุดิบเพื่อกำจัดออก เมื่อความชื้นบริเวณผิวหน้าถูกกำจัดส่งผลให้เกิดลักษณะเปลือกแข็ง ต้องใช้เวลาในการกำจัดความชื้นออกจากผิวหน้านานขึ้นทำให้โครงสร้างหดตัวแน่น (Therdthai และ Zhou, 2009)

Therdthai และ Zhou (2009) พบว่าการใช้วิธีไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังวัตต์สูงขึ้นทำให้ใบสะระแหน่มีลักษณะเป็นรูพรุนเพิ่มขึ้นและมีโครงสร้างคงตัวมากกว่าการใช้วิธีลมร้อน และสอดคล้องกับ Leusink และคณะ (2010) ที่วิจัยโดยการทำแห้งแครนเบอร์รี่ ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล (2555) กล่าวว่าจากการทำแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ ใช้หลักการสั่นของโมเลกุลซึ่งสามารถทำให้โมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสี เกิดเป็นความร้อนขึ้นในสภาวะสุญญากาศ จึงลดจุดเดือดของน้ำให้ต่ำลง เมื่อ vapor pressure ภายในและภายนอก

ผลิตภัณฑ์ต่างกัน จะเป็นตัวผลักดันและกำจัดความชื้นที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ออกทางผิวหน้าผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น จึงช่วยลดปัญหาการเกิดลักษณะเปลือกแข็งและการหดตัว (shrinkage)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.5 การคืนตัวของใบผักหวานป่าทำแห้ง (Rehydration ratio)

นำใบผักหวานป่าที่ทำแห้งแต่ละวิธีวิเคราะห์การคืนตัว โดย ดัดแปลงวิธีจาก Therdthai และ Zhou (2009) แสดงผลของสัดส่วนการคืนน้ำกลับ (Rehydration ratio) ใช้น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 30-120 นาที ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สัดส่วนการดูดน้ำกลับของผักหวานทำแห้ง อุณหภูมิน้ำ 30 องศา

วิธีการทำแห้ง	สัดส่วนการดูดน้ำกลับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส			
	30นาที	60นาที	90นาที	120นาที
ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์	1.51^{c}±0.01	2.10^{a}±0.08	2.69^{d}±0.04	2.75^{c}±0.08
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์	2.36^{bc}±0.12	2.53^{c}±0.01	2.84^{c}±0.01	2.80^{c}±0.01
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์	2.55^{b}±0.02	2.80^{b}±0.15	2.91^{b}±0.03	3.07^{b}±0.97
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	2.53^{b}±0.10	2.86^{b}±0.45	2.97^{b}±0.56	2.98^{b}±0.01
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	1.95^{d}±0.25	2.37^{d}±0.32	2.80^{c}±0.06	2.85^{c}±0.16
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	3.28^{a}±0.22	3.43^{a}±0.13	3.47^{a}±0.10	3.54^{a}±0.02

a, b,... ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

นำใบผักหวานป่าที่ทำแห้งแต่ละวิธีวิเคราะห์การคืนตัว โดย ดัดแปลงวิธีจาก Therdthai และ Zhou (2009) แสดงผลของสัดส่วนการคืนน้ำกลับ (Rehydration ratio) ใช้น้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 2-8 นาที ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนการดูดน้ำกลับของผักหวานป่าทำแห้ง อุณหภูมิน้ำ 100 องศา

วิธีการทำแห้ง	สัดส่วนการดูดน้ำกลับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส			
	2 นาที	4 นาที	6 นาที	8 นาที
ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์	$2.54^{c}\pm0.12$	$2.96^{bc}\pm0.60$	$2.94^{bc}\pm0.49$	$2.95^{b}\pm0.39$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์	$2.56^{d}\pm0.12$	$2.82^{c}\pm0.02$	$2.87^{bc}\pm0.01$	$2.93^{b}\pm0.05$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์	$3.01^{b}\pm0.01$	$2.96^{bc}\pm0.12$	$3.25^{ab}\pm0.03$	$3.21^{b}\pm0.03$
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	$3.03^{b}\pm0.03$	$3.29^{ab}\pm0.26$	$3.49^{a}\pm0.46$	$3.52^{a}\pm0.30$
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	$2.36^{d}\pm0.01$	$2.73^{c}\pm0.29$	$2.77^{cA}\pm0.24$	$2.94^{b}\pm0.67$
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	$3.50^{a}\pm0.09$	$3.57^{a}\pm0.03$	$3.62^{a}\pm0.03$	$3.70^{a}\pm0.04$

a, b,... ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การคืนตัวของผลิตภัณฑ์เป็นการวิเคราะห์ที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ทำแห้ง (Drouzas และ Schubert, 1996) ผลการทดลองตารางที่ 4.6 แสดงสัดส่วนการดูดน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ที่ 30 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 30-120 นาที และตารางที่ 4.7 แสดงค่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 2-8 นาที และภาพที่ 4.4 และ 4.5 แสดงภาพถ่ายของใบผักหวานป่าหลังจากคืนตัวที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าใบผักหวานป่าที่ทำแห้งทุกวิธีมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เร็วกว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เนื่องจาก น้ำที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ผนังเซลล์อ่อนตัว และทำให้สามารถดูดน้ำกลับเข้าโครงสร้างได้เร็วกว่าการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิห้องปกติ (Singh และคณะ 2008) การทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งส่งผลให้ใบผักหวานมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงสุดทั้ง 2 อุณหภูมิ เนื่องจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ใบผักหวานป่ามีโครงสร้างเป็นรูพรุนและมีโครงสร้างเปิดมากที่สุด ส่งผลให้สัดส่วนการดูดน้ำกลับมากกว่าใบผักหวานที่ทำแห้งวิธีลมร้อนและวิธีไมโครเวฟสุญญากาศซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของโครงสร้างใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และ สอดคล้องกับ Drouzas และ Schubert (1996) และ Lin และคณะ (1998) พบว่าแครอทและผลไม้ที่ทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมีค่าการดูดน้ำกลับมากกว่าการทำแห้งวิธีลมร้อนและวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ Wang และคณะ (2010) พบว่ามันฝรั่งแผ่นที่ทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง มีความสามารถในการดูดน้ำกลับมากกว่าการทำแห้งวิธีไมโครเวฟร่วมกับแช่เยือกแข็ง แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศเมื่อกำลังวัตต์เพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างใบผักหวานป่ามีรูพรุนและโครงสร้างเปิดมากขึ้นสอดคล้องกับ Therdthai และ Zhou (2009) พบว่าเมื่อกำลังวัตต์ในการทำแห้งไมโครเวฟสุญญากาศเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างใบสะระแหน่เป็นรูพรุนเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้การดูดน้ำกลับสูงขึ้นใบผักหวานป่าที่ทำแห้งแบบลมร้อนมีค่าการดูดคืนน้ำกลับต่ำ เนื่องจากการทำแห้งแบบลมร้อนส่งผลให้โครงสร้างจับตัวกันแน่นโครงสร้างมีรูพรุนต่ำ (Karathanos และ Belessiotis, 1997) แต่อย่างไรก็ตาม Diaz และคณะ (2003) พบว่าการใช้กำลังวัตต์ในการทำแห้งที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อการคืนตัวของส้ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก. ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์

ข. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์

ค. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์

ง. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์

จ. แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส

ฉ. ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.4 ใบผักหวานทำแห้งด้วยวิธี (ก-ง) ไมโครเวฟสุญญากาศ (960-1680 วัตต์ (จ) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ฉ) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ที่คืนตัวด้วยน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ก. ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์

ข. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์

ค. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์

ง. ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์

จ. แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส

ฉ. ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.5 ใบผักหวานทำแห้งด้วยวิธี (ก-ง) ไมโครเวฟสุญญากาศ (960-1680 วัตต์ (จ) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ฉ) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ที่คืนตัวด้วยน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4.3.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

นำใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็งและความกรอบ โดยอ้างอิงวิธีจาก Wang และคณะ (2010) ได้ผลดังตาราง 4.8

4.3.6.1 ความแข็ง (Hardness) และความกรอบ (Crispness)

ตารางที่ 4.8 ค่าความแข็งและความกรอบของใบผักหวานป่าทำแห้ง

ผักหวานป่า	ความแข็ง	ความกรอบ
	แรง (กรัม)	แรง (กรัม)
ไมโครเวฟสุญญากาศ 960 วัตต์	79.40^{a} ±20.68	118.00^{bc} ±38.57
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1200 วัตต์	84.65^{a} ±23.79	136.19^{a} ±53.83
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1440 วัตต์	89.84^{a} ±30.62	125.91^{abc} ±52.05
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	88.18^{a} ±29.09	107.31^{c} ±44.38
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	49.27^{b} ±27.03	132.11^{ab} ±75.29
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	43.47^{b} ±15.54	48.70^{d} ±22.65

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความแข็งคือ ปริมาณของแรงสูงสุดที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างแตกออก วัสดุที่มีความแข็งมากจะต้านทานแรงกดได้มาก ทำให้แรงกดสูงสุดมาก (Wang และคณะ, 2010) ค่าความแข็งของใบผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้งแสดงในตารางที่ 4.8 ค่าความแข็งของใบผักหวานป่าทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ 960-1680 วัตต์ มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 79.40 - 88.18 กรัม การทำแห้งด้วยวิธีลมร้อน 49.27 กรัม และการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง 43.47 กรัมตามลำดับ ซึ่งการทำแห้งใบผักหวานป่าด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศมีค่าความแข็งสูงกว่าการทำแห้งอีกทั้งสองวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับ Zielinska และคณะ (2013) ที่พบว่าถั่วลันเตาทำแห้งโดยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศมีความแข็งมากกว่าการทำแห้งวิธีลมร้อน Jiang และคณะ (2010) พบว่าการทำแห้งกล้วยผสมมันฝรั่งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศมีความแข็งมากกว่าการทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับ Lin และคณะ (1998) ที่พบว่าแครอทที่ทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมีความแข็งต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศและวิธีลมร้อน Cui และคณะ (2008) พบว่าการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งทำให้แครอทและแอปเปิ้ลมีค่าความแข็งต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อน Wang และคณะ (2010) พบว่ามันฝรั่งทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งวิธีเดียวมีค่าความแข็งต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีไมโครเวฟร่วมกับวิธีแช่เยือกแข็ง ความกรอบ เป็นคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ที่เกิดขึ้นจากแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกออกจากกันพร้อมกับการเกิดเสียง (Vincent, 1998) ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความกรอบของใบผักหวานที่ผ่านการ

ทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ 960-1680 วัตต์ (107.31 - 118.0 กรัม) การทำแห้งแบบลมร้อน (132.11 กรัม) และการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง (48.70 กรัม) การทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งมีค่าความกรอบมากกว่าเกิดจากการที่ตัวอย่างแตกออกอย่างรวดเร็วเมื่อมีแรงมากระทำ เนื่องจากใบสดผักหวานป่ามีลักษณะบางและขนาดใบเล็ก เมื่อผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ใบพองตัวออกมีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนมากที่สุดเนื้อสัมผัสจึงกรอบมากกว่าการทำแห้งวิธีอื่น จึงใช้แรงต่ำที่สุดจึงส่งผลให้มีความแข็งต่ำที่สุดซึ่งให้ผลทดลองเช่นเดียวกับ (Bai-Ngew, Therdthai และ Dhamvithee, 2011) ที่วิจัยกับทุเรียน จากการทดลองของ Huang และคณะ (2011) พบว่า มันฝรั่งผสมแอปเปิ้ลที่ทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งมีค่าความกรอบต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง Sham และคณะ (2001) พบว่า แอปเปิ้ลทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งมีความกรอบต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อนและไมโครเวฟสุญญากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.7 การศึกษาผลการเก็บรักษาใบผักหวานป่าทำแห้งวิธีต่างๆ ต่อคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ

นำตัวอย่างที่ทำแห้ง 3 วิธี บรรจุถุงในอะลูเนียมฟอยล์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดและทางด้านสี (*L*a*b**) ทุกๆ 15 วัน จนครบ 90 วัน ดัดแปลงวิธีจาก Hossain และคณะ (2010) ผลที่ได้แสดงดังตาราง 4.9-4.14

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบผักหวานป่าทำแห้ง เมื่อเก็บที่ระยะเวลาต่างๆ

ผักหวานป่าแห้ง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry weight)						
	ระยะเวลา (วัน)						
	0	15	30	45	60	75	90
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	593.36^{a}±70.78	210.14^{a}±12.95	206.15^{a}±22.29	109.50^{b}±2.54	149.10^{a}±5.10	192.42^{a}±4.79	161.67^{a}±8.82
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	282.71^{b}±34.74	184.01^{b}±19.48	127.46^{b}±7.46	135.67^{a}±6.33	128.19^{b}±6.07	142.96^{b}±7.96	126.44^{b}±8.92
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	91.67^{c}±9.23	63.64^{C}±6.37	123.32^{b}±2.84	136.10^{a}±5.55	125.33^{b}±12.21	149.10^{b}±15.57	125.73^{b}±11.22

a, b,... ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP ของใบผักหวานป่าทำแห้ง เมื่อเก็บที่ระยะเวลาต่างๆ

ผักหวานป่าแห้ง	FRAP (μM Trolox/g dry weight)						
	ระยะเวลา (วัน)						
	0	15	30	45	60	75	90
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	867.63^{a}±56.98	82.00^{b}±6.58	45.78^{a}±4.39	43.57^{a}±1.23	90.01^{a}±13.44	130.71^{a}±20.08	117.63^{a}±2.56
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	136.27^{b}±22.63	74.27^{b}±11.35	32.72^{b}±5.25	35.15^{b}±1.79	55.05^{b}±3.72	116.09^{b}±3.05	92.79b±4.33
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	61.99^{c}±34.25	87.11^{a}±9.53	32.18^{b}±6.54	35.60^{b}±1.87	50.69^{b}±1.87	98.65^{c}±2.54	77.16^{c}±13.71

a, b,...ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ของใบผักหวานป่าทำแห้ง เมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

ผักหวานป่าแห้ง	%inhibition						
	ระยะเวลา (วัน)						
	0	15	30	45	60	75	90
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	66.30^{ab}±10.02	82.10^{a}±1.55	74.96^{a}±1.37	80.94^{a}±0.46	63.38^{a}±0.60	74.92^{a}±0.73	46.69^{a}±1.38
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	55.31^{b}±23.05	66.34^{b}±9.90	73.50^{b}±1.28	77.63^{b}±0.83	62.91^{a}±1.21	69.96^{b}±1.20	19.95^{c}±6.22
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	77.55^{a}±7.21	69.31^{b}±2.24	67.99^{c} ±0.65	80.77^{a}±0.43	51.07^{b}±0.90	69.57^{b}±1.13	36.97^{b}±1.67

a, b,... ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลทดลองที่ผ่านมาเลือกการทำแห้งวิธีไมโครเวฟสุญญากาศกำลัง 1680 วัตต์มาศึกษาอายุการเก็บรักษา เนื่องมาจากในการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าวิธีไมโครเวฟสุญญากาศกำลัง 1680 วัตต์ส่งผลให้ใบผักหวานมีคุณภาพทางด้านเคมี (DPPH, FRAP, Total phenolic content) และด้านกายภาพ (Rehydration ratio, colors, structure) สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังวัตต์ 960-1440 วัตต์ โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ คุณภาพทางกายภาพได้แก่ สีของผักหวานป่าทำแห้งโดยเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีลมร้อน 60 องศาเซลเซียส และการทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิท เป็นระยะเวลา 90 วัน จากตารางที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบผักหวานป่าทำแห้งที่เก็บรักษานาน 90 วัน พบว่า เมื่อเก็บรักษา 15 วัน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในทุกวิธีการทำแห้ง และการทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศหลังจากเก็บรักษา 90 วัน สามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกได้สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม การทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา 30-90 วัน ตารางที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP ของใบผักหวานป่าแห้ง เก็บรักษานาน 90 วัน พบว่าหลังจาก 15 วัน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกวิธีการทำแห้ง และหลังจากผักหวานป่าทำแห้งเก็บรักษา 90 วัน พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของวิธีไมโครเวฟสุญญากาศมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตารางที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ของผักหวานป่าที่ผ่านการทำแห้ง พบว่าใบผักหวานป่าที่ทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง วิธีลมร้อน วิธีไมโครเวฟสุญญากาศ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากเก็บรักษา 90 วัน และตัวอย่างที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศมีค่าสูงที่สุดมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผักหวานป่าที่ทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างรวดเร็วในระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีลมร้อนและวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ ใช้อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำแห้งสั้น อาจจะส่งผลให้เอนไซม์ไม่ถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ เอนไซม์ยังคงทำงานได้ เช่น เอนไซม์ PPO (polyphenoloxidase) ที่พบมากในผักและผลไม้ (Haard และ Chism, 1996) ซึ่งสามารถทำลายสารประกอบฟีนอลิกได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Jaiswal, Dermarderosian และ Porter 2010) สอดคล้องการทดลองของ Burda, Oleszek และ Lee (1990) พบว่าปริมาณฟีนอลิกของแอปเปิ้ลลดลงในระหว่างการเก็บรักษา และ Coseteng และ Lee (1987) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลไม้ทำแห้งมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา Naithani, Nair และ Kakkar (2006) พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของ herb teas ทำแห้งลดลง

หลังจากเก็บรักษา 15 เดือน อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผักหวานป่าทำแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เป็นสภาวะสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องปกติ (28 องศาเซลเซียส) อาจเกิดการออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกได้ ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง โดย Michalczyk, Macura และ Matuszak (2009) พบว่า เบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งโดยเก็บรักษาในโหลแก้วที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงระหว่างการเก็บรักษา 10 เดือน แต่งานวิจัยของ Padda และ Picha (2008) กลับพบว่า การเก็บรักษามันเทศที่อุณหภูมิต่ำ (5 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นในระยะเวลาเก็บรักษา 4 สัปดาห์ Hossain และคณะ (2010) พบว่าการทำแห้งสมุนไพร 6 ชนิดบรรจุถุงสภาพสุญญากาศ เก็บรักษา 60 วัน ที่อุณหภูมิต่ำ (-20 องศาเซลเซียส) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) โดยให้เหตุผลว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและสภาพสุญญากาศสามารถลดการเกิด enzymatic oxidation จึงช่วยรักษาสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามในช่วงการเก็บรักษา 15 วัน การทำแห้งแบบลมร้อนส่งผลให้ผักหวานป่ามีสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง หลังจากนั้นพบว่า การทำแห้งใบผักหวานป่าโดยวิธีแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากสมมติฐานงานวิจัยคาดว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของในใบผักหวานป่าจึงเอื้อต่อการเกิดออกซิเดชันและส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง Chang และคณะ (2006) ศึกษาการทำแห้งเห็ด และให้เหตุผลว่าโครงสร้างและความเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์ทำแห้งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเคมีและกายภาพของอาหารในระหว่างอายุการเก็บรักษา (Oikonomopoulou และคณะ 2011) การทำแห้งวิธีแช่เยือกแข็งทำให้โครงสร้างมีรูพรุนมากอาจไม่เป็นผลดีต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในระยะเวลานาน เนื่องจากสามารถดูดซับออกซิเจนได้ดีทำให้ต่อเกิดออกซิเดชันได้ง่าย (Ratti, 2001)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง L* ของใบผักหวานป่าทำแห้ง

วิธีการทำแห้ง	L*อายุการเก็บรักษา (วัน)						
	0	15	30	45	60	75	90
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	17.23^{b}±3.69	16.08^{b}±0.84	19.37^{b}±1.60	26.62^{b}±3.34	26.22^{b}±1.87	24.01^{b}±2.75	20.29^{b}±1.47
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	20.23^{b}±4.44	21.66^{b}±2.41	21.82^{b}±1.96	20.92^{c}±1.28	21.81^{b}±1.21	20.77^{b}±3.45	21.61^{b}±1.66
แช่เยือกแข็ง -60องศาเซลเซียส	47.12^{a}±20.16	48.90^{a}±5.76	37.55^{a}±1.68	45.94^{a}±2.11	49.13^{a}±2.44	52.87^{a}±3.97	49.03^{a}±1.49

a, b,...ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.13 ค่าความเป็นสีแดง - เขียว a* ของใบผักหวานป่าทำแห้ง

วิธีการทำแห้ง	a*อายุการเก็บรักษา (วัน)						
	0	15	30	45	60	75	90
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	-10.06^{b}±1.25	-9.01^{ab}±0.39	-9.89^{b}±1.52	-9.57^{a}±0.62	-6.94^{a}±0.46	-6.56^{b}±0.44	-5.81^{a}±0.33
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	-6.35^{a}±2.46	-7.04^{a}±0.95	-3.86^{a}±2.71	-7.83^{a}±0.72	-5.65^{a}±1.33	-4.93^{a}±0.37	-5.21^{a}±0.82
แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส	-11.12^{b}±4.75	-10.94^{b}±1.39	-9.88^{b}±1.54	-11.88^{b}±0.63	-11.41^{b}±0.23	-10.71^{c}±0.41	-10.75^{b}±0.28

a, b,...ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความเป็นสีเหลือง – น้ำเงิน b* ของใบผักหวานป่าทำแห้ง

วิธีการทำแห้ง	b*อายุการเก็บรักษา (วัน)						
	0	15	30	45	60	75	90
ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์	14.51^{b}±2.29	13.79^{b}±0.57	18.71^{b}±0.25	20.21^{ab}±2.33	20.57^{a}±0.73	19.92^{b}±0.51	18.67^{b}±1.07
ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส	17.05^{b}±3.23	18.20^{a}±0.51	15.82^{c}±1.11	15.89^{b}±0.06	17.07^{a}±1.84	16.28^{c}±0.96	17.12^{b}±0.73
แช่เยือกแข็ง -60องศาเซลเซียส	21.81^{a}±9.00	22.32^{a}±3.88	21.57^{a}±21.13	22.98^{a}±1.61	21.38^{a}±0.96	24.45^{a}±0.15	20.73^{a}±1.62

a, b,...ค่าเฉลี่ยในแถวแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.12 - 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสี (*L*, a*, b**) ในใบผักหวานป่าทำแห้งโดยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ วิธีลมร้อน และวิธีแช่เยือกแข็ง ในระหว่างอายุการเก็บรักษา 90 วัน พบว่าค่า *L** (ค่าความสว่าง) ของใบผักหวานป่าทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าใบผักหวานป่าทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศ มีค่า *a*, b** เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทำแห้งลมร้อนและแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา 90 วัน ทั้งนี้เนื่องมาจากในระหว่างการเก็บรักษาเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงทำให้ตัวอย่างทำแห้งเปลี่ยนสีกลายเป็นสีน้ำตาล ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Dahiya และ Dhawan (2003) พบว่าระหว่างการเก็บลูกมะขามป้อม 90 วัน มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากการเกิด enzymatic oxidation จากเอนไซม์ polyphenol oxidase จากภาพที่ 4.6-4.11 แสดงภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงของใบผักหวานทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ เก็บรักษาในระยะเวลา 90 วัน พบว่าใบผักหวานทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศ เมื่อเก็บรักษา 30 วัน ใบผักหวานเปลี่ยนสีเป็นสีคล้ำขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก. ข. ค.

ภาพที่ 4.6 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 15 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

ก. ข. ค.

ภาพที่ 4.7 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 30 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

ก. ข. ค.

ภาพที่ 4.8 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 45 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

ก. ข. ค.

ภาพที่ 4.9 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 60 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

ก. ข. ค.

ภาพที่ 4.10 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 75 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

ก. ข. ค.

ภาพที่ 4.11 ใบผักหวานป่าเก็บรักษา 90 วัน ซึ่งทำแห้งด้วยวิธี (ก) ไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์, (ข) แช่เยือกแข็ง -60 องศาเซลเซียส และ (ค) ตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งทั้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (960 – 1680 วัตต์) การทำแห้งแบบลมร้อน (60 องศาเซลเซียส) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (-60 องศาเซลเซียส) ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของใบผักหวานป่า พบว่า

การทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศใช้เวลาสั้นที่สุดที่กำลัง 960 – 1680 วัตต์ ใช้เวลา 10-33 นาที แต่การทำแห้งแบบลมร้อน ใช้เวลา 90 นาที และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 7

วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบผักหวานป่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยการทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที จะพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (593.36 mg GAE/g dry weight) ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP (867.63 μM Trolox/ g dry weight) เช่นกัน แต่ วิธี DPPH ที่ความเข้มข้นเดียวกันทั้งหมด การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมี %inhibition สูงที่สุด (77.55%)

การทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศทุกกำลังวัตต์ ทำให้ใบผักหวานป่ามีสีเขียวเข้มสม่ำเสมอ แต่การทำแห้งแบบลมร้อนทำให้ใบมีสีเขียวเข้มปนน้ำตาล และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ค่าความสว่างสูงที่สุดและมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบสด โครงสร้างภายในจากภาพตัดขวางใบผักหวานป่าที่ทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมีรูพรุนมากที่สุด ทำให้มีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงที่สุดเช่นกัน และการทำแห้งวิธีนี้ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของใบผักหวานป่ามีความกรอบมากที่สุดและมีความแข็งน้อยที่สุด

การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาภายใน 90 วันต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบผักหวานป่าแห้ง พบว่า ใบผักหวานป่าทำแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศ 1680 วัตต์ ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่ามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP และวิธี DPPH อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีในระหว่างการเก็บพบว่า ค่า L^* และ b^* มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ แต่พบว่า ค่า a^* ในตัวอย่างที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรก

ดังนั้นจากการวิจัยปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆของใบผักหวานป่าคือ

ด้านเคมี ปัจจัยที่มีผลคือวิธีการทำแห้ง เวลา อุณหภูมิ และกำลังวัตต์ พบว่าการทำแห้งโดยใช้เวลาสั้น อุณหภูมิต่ำ (38 องศาเซลเซียส) และกำลังวัตต์ของวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ (1680 วัตต์) สามารถรักษาคุณภาพทางด้านต้านออกซิเดชันได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ด้านกายภาพ ปัจจัยที่มีผลคือ วิธีการทำแห้ง เวลา อุณหภูมิ และกำลังวัตต์ โดยการทำแห้งแบบใช้ไมโครเวฟสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาสีได้ใกล้เคียงกับใบสดทั้งหลังจากการทำแห้งและการคืนตัวกลับ สำหรับคุณภาพด้านโครงสร้าง การคืนตัว และเนื้อสัมผัส พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาคุณภาพเหล่านี้ได้ดีที่สุด แต่วิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงแบบลมร้อนไม่สามารถรักษาคุณภาพด้านกายภาพได้ ดังนั้นการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงโดยวิธีลมร้อนอาจไม่เหมาะสมกับการทำแห้งใบผักหวานป่า

ในขณะเก็บรักษาพบว่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและวิธีลมร้อน ดังนั้นควรมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศเพิ่มเติมต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Adam, E., Mühlbauer, W., Esper, A., Wolf, W., and Spiess, W. (2000). Quality changes of onion (*Allium* cepa L.) as affected by the drying process. *Food/Nahrung* 44, 32-37.

Alibas, I. (2007). Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering* 96, 495-502.

Arslan, D., and Özcan, M. (2011). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum L.*): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing* 89, 504-513.

Bai-Ngew, S., Therdthai, N., and Dhamvithee, P. (2011). Characterization of microwave vacuum-dried durian chips. *Journal of Food Engineering* 104, 114-122.

Bengoechea, M. L., Sancho, A. I., Bartolomé, B., Estrella, I., Gómez-Cordovés, C., and Hernández, M. T. (1997). Phenolic composition of industrially manufactured purees and concentrates from peach and apple fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 4071-4075.

Benzie, I. F., and Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239, 70-76.

Burda, S., Oleszek, W., and Lee, C. Y. (1990). Phenolic compounds and their changes in apples during maturation and cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38, 945-948.

Berk, Z. (1976) Non-enzymatic browning. In *Braveman's introduction to the biochemistry of foods*, ed. Berk, Z. 149–167. Amsterdam , Elsevier.

Calín-Sánchez, Á., Szumny, A., Figiel, A., Jałoszyński, K., Adamski, M., and Carbonell-Barrachina, Á. A. (2011). Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum–microwave drying. *Journal of Food Engineering* 103, 219-227.

Chaikham, P., Kreungngern, D., and Apichartsrangkoon, A. (2013). Combined microwave and hot air convective dehydration on physical and biochemical qualities of dried longan flesh. *International Food Research Journal* 20, 2145-2151.

Chan, E., Lim, Y., Wong, S., Lim, K., Tan, S., Lianto, F., and Yong, M. (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food Chemistry* 113, 166-172.

Chan, E. W. C., Lye, P. Y., Eng, S. Y., and Tan, Y. P. (2013). Antioxidant properties of herbs with enhancement effects of drying treatments: A synopsis. *Free Radicals and Antioxidants* 3, 2-6.

Chang, C.-H., Lin, H.-Y., Chang, C.-Y., and Liu, Y.-C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering* 77, 478-485.

Charoenchai, L., Settharaksa, S., Songsak, T., Ruangrangsee, N., and Kraisintu, K. (2013). Evaluation of the Antioxidant activities, total Phenolic and Flavonoid contents of Melientha suavis Pierre and Urobotyra siamensis Hiepko. *Rangsit Journal of Arts and Sciece*, 1-5.

Cheng, Z.H., Su, L., Moore, J., Zhou, K.Q., Luther, M., Yin, J.J., Yu, L.L., 2006. Effects of post-harvest treatment and heat stress on availability of wheat antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 5623–5629.

Chism, G. W., & Haard, N. F. (1996). Characteristics of edible plant tissues. In O. R. Fennema (Ed.), *Food Chemistry*, 943–1011.

Chuah, A. M., Lee, Y.-C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L.-J., and Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry* 111, 20-28.

Coseteng, M., and Lee, C. (1987). Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food Science* 52, 985-989.

Cui, Z.-W., Li, C.-Y., Song, C.-F., and Song, Y. (2008). Combined microwave-vacuum and freeze drying of carrot and apple chips. *Drying Technology* 26, 1517-1523.

Dahiya, S., and Dhawan, S. (2003). Effect of drying methods on nutritional composition of dehydrated aonla fruit (*Emblica officinalis* Garten) during storage. *Plant Foods for Human Nutrition* 58, 1-9.

Di Cesare, L. F., Forni, E., Viscardi, D., and Nani, R. C. (2003). Changes in the chemical composition of basil caused by different drying procedures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 3575-3581.

Díaz, G. R. z., Martınez-Monzo, J., Fito, P., and Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 4, 203-209.

Djendoubi Mrad, N., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., and Bonazzi, C. (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts Processing 90*, 433-441.

Drouzas, A. H., & Schubert, H. (1996). Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering*, 28, 203-209.

Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., and Wang, S. (2010). Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Journal of Food Engineering* 96, 491-497.

Eskin, N.A.M., Henderson, H.M., Townsend, R.J. (1971). Biochemistry of food. Academic Press, INC, 111 5th avenue, New York 10003, USA.

Ferreira, D., Guyot, S., Marnet, N., Delgadillo, I., Renard, C. M., and Coimbra, M. A. (2002). Composition of phenolic compounds in a Portuguese pear (*Pyrus communis* L. var. S. Bartolomeu) and changes after sun-drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 4537-4544.

Figiel, A. (2009). Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. *Journal of Food Engineering* 94, 98-104.

Figiel, A. (2010). Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering* 98, 461-470.

Giri, S. K., and Prasad, S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering* 78, 512-521.

Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., and Oliveira, J. (2008). Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave–hot-air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9, 129-137.

Halliwell, B. (1991). Reactive oxygen species in living systems: source, biochemistry, and role in human disease. *The American Journal of Medicine* 91, S14-S22.

Harbourne, N., Marete, E., Jacquier, J. C., and O'Riordan, D. (2009). Effect of drying methods on the phenolic constituents of meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) and willow (*Salix alba*). *LWT-Food Science and Technology* 42, 1468-1473.

Hossain, M., Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A. B., and Brunton, N. (2010). Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chemistry* 123, 85-91.

Hou, W.-C., Lee, M.-H., Chen, H.-J., Liang, W.-L., Han, C.-H., Liu, Y.-W., and Lin, Y.-H. (2001). Antioxidant activities of dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea batatas* Decne) tuber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 4956-4960.

Hsu, C.-L., Chen, W., Weng, Y.-M., and Tseng, C.-Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry* 83, 85-92.

Hu, Q.-g., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Xiao, G.-n., and Jin-cai, S. (2006). Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. *Journal of Food Engineering* 77, 977-982.

Huang, L.-l., Zhang, M., Mujumdar, A. S., and Lim, R.-x. (2011). Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips. *Journal of Food Engineering* 103, 279-284.

Igual, M., García-Martínez, E., Martín-Esparza, M., and Martínez-Navarrete, N. (2012). Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. *Food Research International* 47, 284-290.

Jankovie, M (1993). Physical properties of convectively dried and freeze-dried berrylike fruits. *Faculty of Agriculture. Belgrade*, 38(2), 129-135.

Jiang, H., Zhang, M., and Mujumdar, A. S. (2010). Microwave freeze-drying characteristics of banana crisps. *Drying Technology* 28, 1377-1384.

Karathanos, V., and Belessiotis, V. (1997). Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering* 31, 35-46.

Krokida, M., Tsami, E., and Maroulis, Z. (1998). Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. *Drying Technology* 16, 667-685.

Korus, K. 2011. Effect of preliminary processing, method of drying and storage temperature on the level of antioxidants in kale (*Brassica oleracea* L. *var. acephala*) leaves. *Journal Food Science and Technology*. 113: 1711-1716.

Leusink, G. J., Kitts, D. D., Yaghmaee, P., and Durance, T. (2010). Retention of antioxidant capacity of vacuum microwave dried cranberry. *Journal of food Science* 75, C311-C316.

Lim, Y., and Murtijaya, J. (2007). Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods. *LWT-Food Science and Technology* 40, 1664-1669.

Lin, T. M., D Durance, T., and Scaman, C. H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International* 31, 111-117.

Lin, S.-D., Sung, J.-M., and Chen, C.-L. (2011). Effect of drying and storage conditions on caffeic acid derivatives and total phenolics of *Echinacea Purpurea* grown in Taiwan. *Food Chemistry* 125, 226-231.

Madrau, M. A., Piscopo, A., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F. V., and Piga, A. (2009). Effect of drying temperature on polyphenolic content and

antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology* 228, 441-448.

Maisuthisakul, P., Suttajit, M. and Pongsawatmanit,. R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chemistry*. 100: 1409–1418.

Michalczyk, M., Macura, R., and Matuszak, I. (2009). The effect of air-drying, freeze-drying and storage on the quality and antioxidant activity of some selected berries. *Journal of Food Processing and Preservation* 33, 11-21.

Mishra, K., Ojha, H., and Chaudhury, N. K. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry* 130, 1036-1043.

Naithani, V., Nair, S., and Kakkar, P. (2006). Decline in antioxidant capacity of Indian herbal teas during storage and its relation to phenolic content. *Food Research International* 39, 176-181.

Negi, P., and Roy, S. (2001). Effect of drying conditions on quality of green leaves during long term storage. *Food Research International* 34, 283-287.

Nicolas, J. J., Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M., Amiot, M. J., and Aubert, S. Y. (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 34, 109-157.

Oboh, G., and Akindahunsi, A. (2004). Change in the ascorbic acid, total phenol and antioxidant activity of sun-dried commonly consumed green leafy vegetables in Nigeria. *Nutrition and Health* 18, 29-36.

Oikonomopoulou, V. P., Krokida, M. K., and Karathanos, V. T. (2011). Structural properties of freeze-dried rice. *Journal of Food Engineering* 107, 326-333.

Orikasa, T., Koide, S., Okamoto, S., Imaizumi, T., Muramatsu, Y., Takeda, J.-i., Shiina, T., and Tagawa, A. (2014). Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering* 125, 51-58.

Ozkan, I. A., Akbudak, B., and Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering* 78, 577-583.

Packer, L., Rimbach, G., and Virgili, F. (1999). Antioxidant activity and biologic properties of a procyanidin-rich extract from pine (*pinus maritima*) bark, pycnogenol. *Free Radical Biology and Medicine* 27, 704-724.

Padda, M., and Picha, D. (2008). Effect of low temperature storage on phenolic composition and antioxidant activity of sweet potatoes. *Postharvest Biology and Technology* 47, 176-180.

Pérez-Gálvez, A., and Mínguez-Mosquera, M. I. (2005). Esterification of xanthophylls and its effect on chemical behavior and bioavailability of carotenoids in the human. *Nutrition Research* 25, 631-640.

Piga, A., Del Caro, A., and Corda, G. (2003). From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 3675-3681.

Pott, I., Neidhart, S., Mühlbauer, W., and Carle, R. (2005). Quality improvement of non-sulphited mango slices by drying at high temperatures. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6, 412-419.

Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering* 49, 311-319.

Reblova, Z. (2012). Effect of Temperature on the Antioxidant Activity of Phenolic Acids. *Czech Journal of Food Science* 30.171-177.

Rudra, S.G., Singh, H., Basu, S., Shivhare, U.S., 2008. Enthalpy entropy compensation during thermal degradation of chlorophyll in mint and coriander puree. *Journal of Food Engineering* 86, 379–387.

Rice-Evans, C., Miller, N., and Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science* 2, 152-159.

Santos-Sánchez, N. F., Valadez-Blanco, R., Gómez-Gómez, M. S., Pérez-Herrera, A., and Salas-Coronado, R. (2012). Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. *LWT-Food Science and Technology* 46, 298-304.

Shahidi, F., Janitha, P., and Wanasundara, P. (1992). Phenolic antioxidants. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 32, 67-103.

Sham, P., Scaman, C., and Durance, T. (2001). Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. *Journal of Food Science* 66, 1341-1347.

Shafqatullah, Khurram, M., Asadullah, Khaliqurrehman and Farhat, A.K. (2013). Comparative analyses of *Ocimumsantum* stem and leaves for phytochemicals and inorganic constituents. *Middle-East Journal of Sciencetific Research* 13, 236-240.

Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Pak Dek, M. S., and Hairuddin, M. R. (2011). Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *International Journal of Molecular Sciences* 12, 4678-4692.

Singh, G. D., Sharma, R., Bawa, A., and Saxena, D. (2008). Drying and rehydration characteristics of water chestnut (*Trapa natans*) as a function of drying air temperature. *Journal of food Engineering* 87, 213-221.

Siriamornpun, S., Kaisoon, O., and Meeso, N. (2012). Changes in colour, antioxidant activities and carotenoids (lycopene, β-carotene, lutein) of marigold flower (*Tagetes erecta* L.) resulting from different drying processes. *Journal of Functional Foods* 4, 757-766.

Śledź, M., Nowacka, M., Wiktor, A., and Witrowa-Rajchert, D. (2013). Selected chemical and physico-chemical properties of microwave-convective dried herbs. *Food and Bioproducts Processing* 91, 421-428.

Soysal, Y. (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering* 89, 167-173.

Tapbuntom, P. and Chinnasarn, S., Effects of one-step and two-step dryings on quality of Kaffir Lime leaves and Lemon Grass Trunks. *Agricultural Science Journal*. 38, 135-138.

Therdthai, N., and Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering* 91, 482-489.

Turkmen, N., Sari, F., and Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry* 93, 713-718.

Vincent, J. F. (1998). The quantification of crispness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78, 162-168.

Wang, J., and Xi, Y. (2005). Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. *Journal of food Engineering* 68, 505-511.

Wang, R., Zhang, M., and Mujumdar, A. S. (2010). Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices. *Journal of Food Engineering* 101, 131-139.

Wang, S. Y., and Zheng, W. (2001). Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 4977-4982.

Wangcharoen, W., and Gomolmanee, S. 2013. Antioxidant activity changes during hot-air drying of Moringa oleifera leaves. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 7(03), 353-363

Wojdyło, A., Figiel, A., and Oszmianski, J. (2009). 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* 57, 1337-1343.

Wong SP, Lai PL, Jen HWK (2006) Antioxidant activites of aqueous extracts of selected plants. *Food Chemistry* 99: 775-783

Yang, J., Chen, J.-F., Zhao, Y.-Y., and Mao, L.-C. (2010). Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. *Agricultural Sciences in China* 9, 1522-1529.

Zielinska, M., Zapotoczny, P., Alves-Filho, O., Eikevik, T. M., and Blaszczak, W. (2013). A multi-stage combined heat pump and microwave vacuum drying of green peas. *Journal of Food Engineering* 115, 347-356.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

อุปกรณ์

- ตู้อบไฟฟ้า (electric oven)
- โถดูดความชื้น (desiccators)
- ภาชนะสำหรับหาความชื้น (crucible)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

- อบภาชนะสำหรับหาความชื้นพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

- ทำเช่นเดียวกับข้อด้านบนจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

- ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง

- อบซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

2.ปริมาณไขมัน

อุปกรณ์

- Mohr's junior tube
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- บีกเกอร์ (beaker)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

- ไดเอททิล อีเทอร์ (diethyl ether)
- แอลกอฮอล์
- ปิโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether)
- กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการ

- บดตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งตัวอย่าง 2 กรัมลงใน Mohr's junior tube
- เติมแอลกอฮอล์ 2 มิลลิลิตร และ เติม (11:25) HCl:H_2O ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดจุกคอร์กให้แน่น และเขย่าผสมกัน
- นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส , 30 นาที เขย่าเป็นครั้งคราวและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- สกัดครั้งที่หนึ่ง โดยเติม diethyl ether 25 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที

* เติม petroleum ether 25 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที ตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้น

- เทสารละลายส่วนบนลงในบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแล้ว (W1) กรัม และระเหยบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส
- สกัดซ้ำครั้งที่สองและสาม โดยทำตามขั้นตอนสกัดครั้งที่หนึ่ง
- เมื่อสกัดครบสามครั้ง นำบีกเกอร์ที่ระเหยจนแห้งแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง
- ชั่งน้ำหนักหลังจากระเหยจนแห้ง (W2) กรัม และ อบซ้ำจนน้ำหนักคงที่ ผลต่างน้ำหนักไม่เกิน 0.0020 กรัม

หมายเหตุ

* ถ้าเกิด emulsion เติม alcohol ลงไปเล็กน้อย

- reagent blank ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง
- reagent blank < 0.0020 g residue
- บีกเกอร์ก่อนใช้อบที่ 100±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (กรัม) /100 น้ำหนักตัวอย่าง} = \frac{(\mathbf{W2-W1-Reagent\ blank})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.ปริมาณ crude fiber

อุปกรณ์

- เตาเผา (muffle furnace)
- โถดูดความชื้น (desiccator)
- ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

- กรดซัลฟูริก (sulfuric acid, H_2SO_4)
- ออกทานอล (octanol)
- อะซิโตน (acetone)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodiumhydroxide, NaOH)

วิธีการ

- ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม และ celite 1 กรัม ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่เผาแล้ว
- นำไปย่อยด้วยกรดซัลฟูริก 1.25%
- หยดออกทานอล 2-3 หยด ควรใช้อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- ล้างด้วยน้ำอุ่น 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร และนำไปย่อยด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25%
- หยดออกทานอล 2-3 หยด ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำอุ่น 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร
- นำไปล้างด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร
- นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรืออบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
- ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น 30 นาที และบันทึกน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และบันทึกน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

$$\text{ปริมาณเสนใย} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของกาก} - \text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอยางเริ่มต้นปราศจากน้ำ}} \times 100$$

4.ปริมาณเถ้า

อุปกรณ์

- เตาเผา (muffle furnace)
- โถดูดความชื้น (desiccators)
- ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

- นำถ้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมฝาไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- นำถ้วยกระเบื้องเคลือบออกจากเตาเผา โดยปิดฝาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง และ นำมาชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมฝา
- ชั่งตัวอย่าง 2.000 กรัมใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบแล้วปิดฝาและบันทึกน้ำหนักพร้อมฝา
- นำถ้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมตัวอย่างไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน เพื่อไล่ควันก่อนนำไปเผา
- นำไปเผาที่ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยเปิดฝา และ นำถ้วยกระเบื้องเคลือบออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นใน โถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

5.ปริมาณโปรตีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุปกรณ์

- หลอดย่อยโปรตีน
- ปิเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
- บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
- ชุดกลั่นโดยเครื่อง Kjeltec 2200

สารเคมี

- กรดซัลฟูริก (sulfuric acid, H_2SO_4)

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodiumhydroxide, NaOH)
- กรดบอริก (boric acid)
- กรดไฮโดรคลอริก 0.1 M (hydrochloric acid)

วิธีการ

- เตรียมตัวอย่าง และชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อยโปรตีน
- เติมสารเร่งปฏิกิริยา 2 เม็ด โดยใช้ 1000 Kjeltabs S/3.5
- เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร
- นำไปย่อยที่ 420 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง หลังจาก 1 ชั่วโมง ยกลงมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 20 นาที
- นำไปกลั่นด้วยเครื่อง Kjeltec 2200 โดยเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% 50 มิลลิลิตร, กรดบอริก 10% 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำ RO 70 มิลลิลิตร
- นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M
- บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
- หลอด blank ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(a-b)\times N\times 1.4007}{W}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(a-b)\times N\times 1.4007\times F}{W}$$

โดยที่ a = ปริมาตรสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
b = ปริมาตรสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตเตรตกับblank (มิลลิลิตร)
N = ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
w = น้ำหนักหรือปริมาตรตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)
F = แฟคเตอร์ที่ใช้คำนวณหาปริมาณโปรตีนสำหรับอาหารชนิดต่างๆ (6.25)

6. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) (ดัดแปลงวิธี Chan *et al.,* 2009)

วิธีการ

- นำสารสกัดมาเจือจางที่ความเข้มข้น 10-1000 เท่าด้วยตัวทำละลายเมทานอล
- ใช้ตัวอย่าง 300 ไมโครลิตร ผสมด้วย Folin reagent (1:9) 1.5 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยานาน 3 นาที
- เติมโซเดียมไบคาบอเนต (Na_2CO_3) 7.5% ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร

- ผสมให้เข้ากันด้วย vortex ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร เตรียม blank โดยใช้ Folin reagent ผสม น้ำกลั่น
- นำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตราฐาน gallic acid ในหน่วย ppm

7. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Free radical scavenging capacity) (ดัดแปลงวิธี Maisuthisakul *et al.,* 2007)

วิธีการ

- นำสารสกัดมาเจือจางที่ความเข้มข้น 10-1000 เท่าด้วยตัวทำละลายเมทานอล
- ใช้ตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร ผสมด้วย 60 µM DPPH (2,2-diphenyl-1-picrythydrazyl) 2 มิลลิลิตร เตรียมโดยชั่ง DPPH (2,2-diphenyl-1-picrythydrazyl) 0.0024 กรัม ละลายในเมทานอล 100 มิลลิลิตร
- ผสมให้เข้ากันด้วย vortex ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที (Asample)
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เตรียม blank โดยใช้เมทานอล (Acontrol)

$$\%\text{inhibition} = 1 - \left\{\frac{\text{Asample}}{\text{Acontrol}}\right\} \times 100$$

Asample = ค่าการดูดกลืนแสง สารสกัดตัวอย่างผสม DPPH reagent
Acontrol = ค่าการดูดกลืนแสง เมทานอลผสม DPPH reagent

8. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP (ferric reducing antioxidant properties) (ดัดแปลงวิธี Hossain *et al.,* 2010)

วิธีการ

- เตรียม sodium acetate 38 mM ในน้ำกลั่น โดยชั่ง sodium acetate 0.31 กรัม ผสมกับ acetic acid 1.6 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร
- เตรียม $FeCl_3.6H_2O$ 20 mM ในน้ำกลั่น โดยชั่ง ผสม $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.054 กรัม กับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
- เตรียม TPTZ (2,4,6-tri (2-pyridyl)-s-triazine) 10 mM ใน HCl 40 mM ปิเปต HCl 37% มา 0.15 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และชั่ง TPTZ 0.031 กรัม ผสมกับ HCl 40 mM ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บน hot plate อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

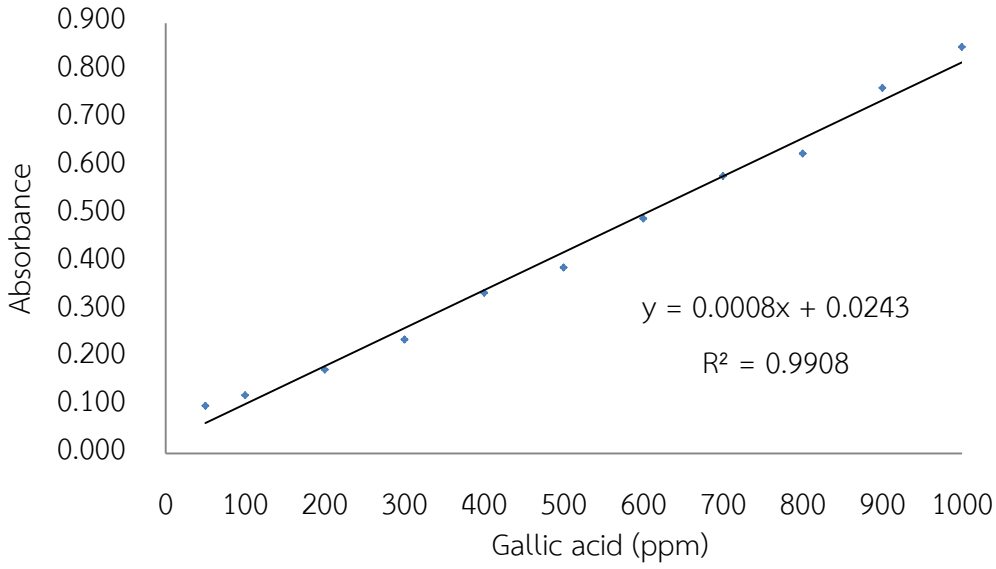
เตรียม FRAP reagent โดย ผสม acetate buffer pH 3.6 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กับ TPTZ 10 mM ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กับ $FeCl_3$ 20 mM ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 10 : 1 : 1) บน hot plate อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำ แต่ละตัวอย่างที่เจือจาง 10-1000 เท่า ปริมาตร 0.270 มิลลิลิตร ผสมกับ FRAP reagent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ

37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร เตรียม blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

-นำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตราฐาน Trolox ในหน่วย μM

9. กราฟมาตรฐาน gallic acid

- เตรียมสารละลายแกลลิค 1000 ppm โดยชั่งกรดแกลลิค 0.100 mg ละลายในเมททานอล 100 มิลลิลิตร
- ทำการเจือจางสารละลายข้างต้น โดยปิเปตมา (0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 มิลลิลิตร) ลงในหลอดทดลอง และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 9 มิลลิลิตร
- จะได้ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 ppm
- ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้นในข้อ2 มา 0.25 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร
- เติม Folin reagent 0.25 มิลลิลิตร ผสม โซเดียมไบคาร์บอเนต 7.5% ปริมาณ 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง 765 นาโนเมตร จะได้กราฟมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้น ดังภาพ ก.1



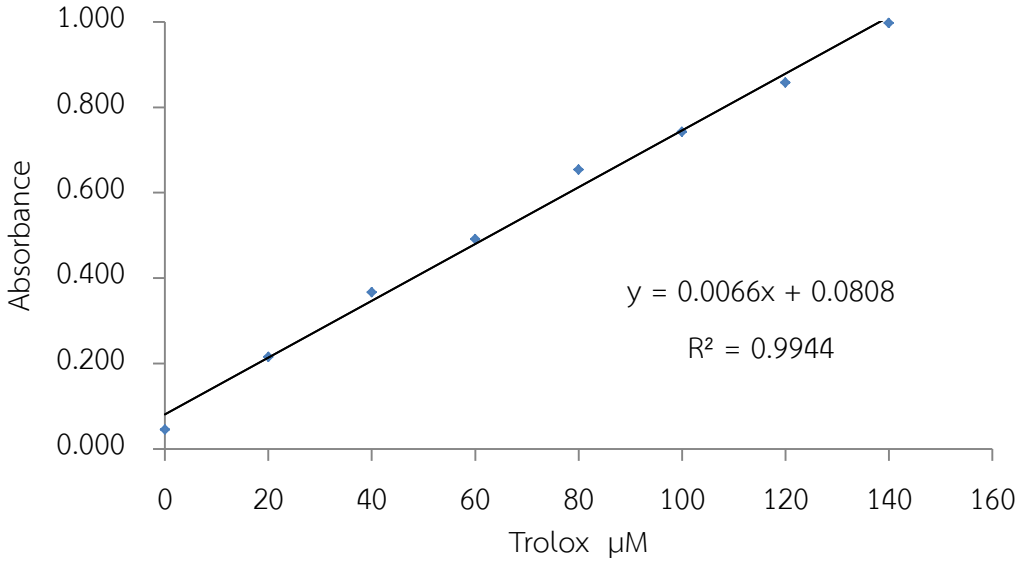
ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐาน gallic acid

10.กราฟมาตรฐาน Trolox

วิธีการ ferric reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงจาก Benzie and Strain (1996)

- เตรียม acetate buffer pH 3.6 โดยผสม sodium acetate 0.31 กรัม กับ acetic acid 1.6 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร
- เตรียม HCl 40 mM โดยปิเปต HCl 37% มา 0.15 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
- เตรียม TPTZ 10 mM โดยผสม TPTZ 0.031 กรัม กับ 40 mM HCl 10 มิลลิลิตร ละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
- เตรียม $FeCl_3$ 20 mM โดยผสม $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.054 กรัม กับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
- เตรียม FRAP reagent โดยผสม acetate buffer pH 3.6 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กับ 10 mM TPTZ 10 มิลลิลิตร กับ 20 mM $FeCl_3$ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 10 : 1 : 1)
- เตรียมสารมาตรฐาน Trolox ความเข้มข้น 0-140 μM โดยเตรียม Trolox ความเข้มข้น 500 μM โดยชั่ง Trolox 0.0031 กรัม ละลายใน methanol 100% ปริมาตร 25 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 140 μM โดยปิเปต Trolox 500 μM 0.14 ml ผสมน้ำกลั่น 0.36 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 120 μM โดยปิเปต Trolox 500 μM 0.12 ml ผสมน้ำกลั่น 0.38 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 100 μM โดยปิเปต Trolox 500 μM 0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 80 μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.4 ml ผสมน้ำกลั่น 0.1 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 60 μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.3 ml ผสมน้ำกลั่น 0.2 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 40 μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.2 ml ผสมน้ำกลั่น 0.3 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 20 μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml
- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 0 μM โดยใช้น้ำกลั่น 0.5 ml

- ปิเปตสารมาตรฐาน หรือสารสกัด 0.270 ml ผสมสาร FRAP reagent 4 ml ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm จะได้กราฟมาตรฐาน trolox ในแต่ละความเข้มข้น ดังภาพที่ ก.2



ภาพที่ ก.2 กราฟมาตรฐาน Trolox

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก. 1 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2833.651[a]	6	472.275	4.015	.002
Intercept	220325.379	1	220325.379	1872.974	.000
Method	2833.651	6	472.275	4.015	.002
Error	5881.697	50	117.634		
Total	232984.635	57			
Corrected Total	8715.349	56			

a. R Squared = .325 (Adjusted R Squared = .244)

ตารางที่ ก. 2 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.591E6	6	1098487.587	463.625	.000
Intercept	8817971.346	1	8817971.346	3721.692	.000
Method	6590925.519	6	1098487.587	463.625	.000
Error	120836.586	51	2369.345		
Total	1.400E7	58			
Corrected Total	6711762.105	57			

a. R Squared = .982 (Adjusted R Squared = .980)

ตารางที่ ก. 3 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์สีใบผักหวานป่าใบสดและทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	L*	96292.854[a]	6	16048.809	432.321	.000
	a*	5219.873[b]	6	869.979	415.191	.000
	b*	16193.322[c]	6	2698.887	263.297	.000
Intercept	L*	267437.470	1	267437.470	7204.204	.000
	a*	49887.685	1	49887.685	23808.515	.000
	b*	140434.856	1	140434.856	13700.502	.000
Method	L*	96292.854	6	16048.809	432.321	.000
	a*	5219.873	6	869.979	415.191	.000
	b*	16193.322	6	2698.887	263.297	.000
Error	L*	16148.252	435	37.122		
	a*	911.487	435	2.095		
	b*	4458.900	435	10.250		
Total	L*	540897.001	442			
	a*	65079.558	442			
	b*	195181.560	442			
Corrected Total	L*	112441.105	441			
	a*	6131.360	441			
	b*	20652.222	441			

a. R Squared = .856 (Adjusted R Squared = .854)

b. R Squared = .851 (Adjusted R Squared = .849)

c. R Squared = .784 (Adjusted R Squared = .781)

ตารางที่ ก. 4 ผลทางสถิติของการวิเคราะห์สัดส่วนการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	RR30	5.373[a]	5	1.075	48.318	.000
	RR60	3.428[b]	5	.686	241.039	.000
	RR90	1.191[c]	5	.238	162.994	.000
	RR120	1.313[d]	5	.263	71.610	.000
Intercept	RR30	103.968	1	103.968	4675.063	.000
	RR60	129.122	1	129.122	45394.611	.000
	RR90	156.586	1	156.586	107169.129	.000
	RR120	160.444	1	160.444	43757.388	.000
Method	RR30	5.373	5	1.075	48.318	.000
	RR60	3.428	5	.686	241.039	.000
	RR90	1.191	5	.238	162.994	.000
	RR120	1.313	5	.263	71.610	.000
Error	RR30	.267	12	.022		
	RR60	.034	12	.003		
	RR90	.018	12	.001		
	RR120	.044	12	.004		
Total	RR30	109.608	18			
	RR60	132.585	18			
	RR90	157.794	18			
	RR120	161.801	18			
Corrected Total	RR30	5.640	17			
	RR60	3.462	17			
	RR90	1.208	17			
	RR120	1.357	17			

a. R Squared = .953 (Adjusted R Squared = .933) c. R Squared = .985 (Adjusted R Squared = .979)

b. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .986) d. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .954)

ตารางที่ ก.5 แสดงผลทางสถิติของการวิเคราะห์สัดส่วนการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิน้ำ 100 องศาเซลเซียส

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	RR2	2.590[a]	5	.518	69.856	.000
	RR4	1.477[b]	5	.295	5.855	.006
	RR6	1.803[c]	5	.361	6.959	.003
	RR8	1.632[d]	5	.326	12.077	.000
Intercept	RR2	144.217	1	144.217	19444.963	.000
	RR4	167.994	1	167.994	3330.653	.000
	RR6	179.551	1	179.551	3464.011	.000
	RR8	185.345	1	185.345	6859.000	.000
Method	RR2	2.590	5	.518	69.856	.000
	RR4	1.477	5	.295	5.855	.006
	RR6	1.803	5	.361	6.959	.003
	RR8	1.632	5	.326	12.077	.000
Error	RR2	.089	12	.007		
	RR4	.605	12	.050		
	RR6	.622	12	.052		
	RR8	.324	12	.027		
Total	RR2	146.896	18			
	RR4	170.076	18			
	RR6	181.977	18			
	RR8	187.301	18			
Corrected Total	RR2	2.679	17			
	RR4	2.082	17			
	RR6	2.425	17			
	RR8	1.956	17			

a. R Squared = .967 (Adjusted R Squared = .953)

b. R Squared = .709 (Adjusted R Squared = .588)

c. R Squared = .744 (Adjusted R Squared = .637)

d. R Squared = .834 (Adjusted R Squared = .765)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล นางสาว กมลชนก สกุลประเสริฐ

MISS KAMONCHANOK SAKULPRASERT

ที่อยู่ 1506/317 หมู่ 6 ถ.เทพารักษ์ ต.เทพารักษ์ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2555 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ศิลปากร

การนำเสนอผลงาน

กุมภาพันธ์ 2557 เสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ เรื่อง Effects of drying methods on the content of phenolic substances and antioxidant activity of leaf extract from Pak-Wanpa (Melientha suavis Pierre) ในงานประชุมสัมมนาวิชาการ The Second International Conference on Food and Applied Bioscience ,The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University