การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการลวกและการอบแห้งแครอท

APPLICATION OF MICROWAVE IN BLANCHING AND DRYING OF CARROTS

สาคิต โรจน์วัฒนเมธี

SARAKIT ROJWATTANAMATEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1592-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการลวกและการอบแห้งแครอท

APPLICATION OF MICROWAVE IN BLANCHING AND DRYING OF CARROTS

T060855

ศารกิจ โรจน์วัฒนเมธี

SARAKIT ROJWATTANAMATEE

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 60855
วัน,เดือน,ปี - 6 ก.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1592-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF MICROWAVE IN BLANCHING AND DRYING OF CARROTS

SARAKIT ROJWATTANAMATEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-1592-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการลวกและการอบแห้งแครอท
ชื่อนักศึกษา	นายศารกิจ โรจน์วัฒนเมธี
รหัสประจำตัว	45067009
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการลวกและการอบแห้งแครอท ในการลวกพบว่า การนำแครอทแช่น้ำเกลือความเข้มข้น ร้อยละ 3 มาผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในอุโมงค์ไมโครเวฟกำลัง 2,400 วัตต์ (ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิรตซ์) ที่ความเร็วของสายพาน 1.5 เมตรต่อนาที นาน 2 นาที จะสามารถลดการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase activity residual) เหลือเพียง ร้อยละ 10.27 ในการอบแห้งแครอทหลังจากนำแครอทไปลวก ด้วยการผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ 800 วัตต์ ที่ความเร็วสายพาน 1.5 เมตรต่อนาที นาน 30 นาที โดยมีอัตราการทำแห้ง 3.52 - 55.08 กรัมต่อนาทีต่อน้ำหนักแห้ง แล้วต่อด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °ซ นาน 150 นาที จะมีอัตราการทำแห้ง 0.02 - 0.91 กรัมต่อนาทีต่อน้ำหนักแห้ง สามารถลดปริมาณความชื้นได้เหลือ 7.78 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.37 โดยยังคงมีวิตามินซี ร้อยละ 32.46 และสามารถคืนรูปได้ลักษณะใกล้เคียงกับแครอทสด ภายใน 6 นาทีโดยการจุ่มน้ำเดือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Application of Microwave in Blanching and Drying of Carrots
Student	Mr. Sarakit Rojwattanamatee
Student ID.	45067009
Degree	Master of science
Programme	Food science
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

Application of microwave in blanching and drying of carrots; Firstly in blanching process, carrots were soaked in 3% sodium chloride solution and then taken through microwave-tunnel (power at 2,400 watts, frequency at 2,450 MHz and speed at 1.5 m/s) for 2 minutes. It could reduce peroxidase activity to 10.27 %. In drying process, blanched carrots were dried by taking through microwave-tunnel (power at 800 watts and speed at 1.5 m/s) for 30 minutes. Microwave drying rate was in between 3.52 to 55.08 g/min/dry material. And then carrots were dried by hot-air oven (70 °C) for 150 minutes. Hot-air oven rate was in between 0.02 to 0.91 g/min/dry material. It was found that final moisture content, water activity and vitamin C retention were 7.78 g/g (dry material), 0.37 and 32.46% respectively. Rehydrated carrots can transform back to fresh-alike by soaking in boiling water for 6 minutes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง และ รศ.ดร. วรรณา ตั้งเจริญชัย ที่ได้ให้คำแนะนำจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณ เมยวดี แซ่เลี้ยว เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ของโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศารกิจ โรจน์วัฒนเมธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การผลิตผักอบแห้ง	2
2.2 การอบแห้ง	6
2.3 การบรรจุ	9
2.4 ไมโครเวฟ	9
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	15
3.1 วัตถุดิบ	15
3.2 อุปกรณ์	15
3.3 สถานที่ทดลอง	15
3.4 วิธีดำเนินการ	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	19
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม..... 39

ภาคผนวก..... 43

ภาคผนวก ก 44

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น..... 45

การวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้..... 45

การวัดอัตราค่าการดูดน้ำคืน..... 46

การวิเคราะห์วิตามินซี..... 46

การวิเคราะห์คลอไรด์..... 47

การวิเคราะห์เอนไซม์เปอร์ออกซิเดซ 48

ภาคผนวก ข 49

ภาคผนวก ค 53

ประวัติผู้แต่ง..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงผลการทดลองวิตามินซีที่เหลือหลังผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟเทียบกับน้ำร้อน.....	12
4.1	การเปลี่ยนแปลงของแครอทก่อนและหลังการลวกด้วยไมโครเวฟกำลัง 1,600 วัตต์	19
4.2	การเปลี่ยนแปลงของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ 1,600 2,400 และ 3,200 วัตต์ นาน 3 นาที โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้แช่และน้ำหนักเริ่มต้นต่างๆ กัน ..	23
4.3	เวลาในการอบแห้ง ปริมาณความชื้น และ a_w ของแครอท ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน.....	33
4.4	การไหม้ของแครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน.....	34
	ค่า L* a* b* ของแครอทแห้ง และแครอทคืนรูป ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ กัน.....	35
4.5	ค่าวิตามินซีของแครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน.....	36
4.6	ค่าอัตราส่วนการดูดซึมน้ำของแครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การทำลายเอนไซม์ Lipolytic acyl hydrolase, Lipoxygenase, Polyphenoloxidase, Peroxidase ของมันฝรั่ง.....	4
2.2	กราฟการทำแห้ง.....	7
2.3	การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากไมโครเวฟ.....	10
4.1	ปริมาณเกลือในแครอทหลังการแช่ในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 (น้ำเปล่า) 3 และ 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 3 และ 5 นาที.....	20
4.2	อุณหภูมิของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ กำลัง 1,600 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที.....	21
4.3	น้ำหนักร้อยละที่ลดลงของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ กำลัง 1,600 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที.....	21
4.4	ปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ กำลัง 1,600 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที.....	22
4.5	อุณหภูมิของแครอทหลังผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ.....	24
4.6	น้ำหนักที่ลดลงของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ.....	25
4.7	การทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดซ (ร้อยละ) ที่เหลืออยู่ในแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ.....	25
4.8	ปริมาณวิตามินซี (ร้อยละ) ที่เหลืออยู่หลังผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ.....	26
4.9	การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งแครอทแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 ° 80° และ 90° ซ.....	27
4.10	อัตราการทำแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 50° 60° และ 70° ซ.....	28
4.11	การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งแครอทด้วยไมโครเวฟกำลัง 800 1,600 และ 2,400 วัตต์.....	29
4.12	อัตราการทำแห้งแครอทด้วยไมโครเวฟกำลัง 800 1,600 และ 2,400 วัตต์.....	29
4.13	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของแครอทระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 ° ซ ต่อด้วยไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ต่าง ๆ กัน.....	31
4.14	อัตราการทำแห้งแครอทด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 ° ซ ต่อด้วยไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ต่าง ๆ กัน.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.15	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของแครอทระหว่างการอบแห้งด้วย ไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 800 วัตต์ ต่อด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิต่าง ๆ กัน.....	32
4.16	อัตราการทำแห้งแครอทด้วยไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 800 วัตต์ ต่อด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิต่าง ๆ กัน.....	32
ก 1	เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้.....	45
ข 1	แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ ต่อด้วยอบด้วยไมโครเวฟ 2,400 วัตต์.....	50
ข 2	แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ ต่อด้วยอบด้วยไมโครเวฟ 1,800 วัตต์.....	50
ข 3	แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ ต่อด้วยอบด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์.....	50
ข 4	แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 70 °ซ ..	51
ข 5	แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 60 °ซ ..	51
ข 6	แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 50 °ซ ...	51
ข 7	แครอทที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน และอบด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ	52
ข 8	แครอท (อบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 50 °ซ) หลังการคืนตัวด้วยน้ำร้อน.....	52
ข 9	แครอท (ลวกด้วยน้ำร้อน และ อบด้วยตู้อบลมร้อน 50 °ซ) หลังการคืนตัวด้วยน้ำร้อน.....	52
ค 1	แผนภาพอุโมงค์ไมโครเวฟ.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

คลื่นไมโครเวฟได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของคลื่นที่สามารถสะท้อนกลับ ส่งผ่าน และดูดซับได้ ทำให้มีการนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการให้ความร้อนอาหาร คลื่นไมโครเวฟสามารถแทรกผ่านเข้าไปในอาหารได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง น้ำในอาหารก็สามารถดูดซับคลื่นไว้ เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วชิ้นอาหาร

กระบวนการผลิตผักอบแห้งพร้อมคืนรูป ประกอบด้วยกระบวนการที่ผ่านการให้ความร้อน คือ การลวกเพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย และการอบแห้งเพื่อนำน้ำออกจากอาหาร เพื่อไม่ให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตในอาหารได้ ซึ่งการใช้ไมโครเวฟในการลวกนั้นจะสามารถลดการสูญเสียสารอาหารที่ละลายน้ำได้ และยังทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารไปบางส่วนก่อนการอบแห้ง (Ramesh *et al.*, 2002) ส่วนการใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งนั้นไมโครเวฟสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ (Maskan, 2000) ดังนั้นการทดลองนี้ต้องการนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในการผลิตแครอทอบแห้ง โดยศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และระยะเวลาในการผลิตแครอทอบแห้ง

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของการนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในการผลิตแครอทอบแห้งในขั้นตอนกระบวนการลวก (Blanching) และการอบแห้ง (Drying)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟ ในการลวกและการอบแห้งเพื่อผลิตแครอทอบแห้ง ซึ่งเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผักอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ผักอบแห้งที่มีคุณภาพที่ดี ระยะเวลาผลิตน้อยลง และยังคงคุณค่าทางอาหารมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

แครอท (*Daucus carota*) เป็นพืชสองฤดู (Biennial) มีถิ่นกำเนิดในยุโรป เอเชีย และอเมริกาเหนือ มีลักษณะคล้ายต้นผักชีแต่มีรากใหญ่กว่ามาก ลำต้นของแครอทอยู่เหนือพื้นดินเล็กน้อย เป็นลำต้นที่สั้นมาก มีใบแตกออกจากรอบๆ ลำต้น รากมีขนาดใหญ่สีส้มขนาดรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์ ซึ่งรากนำมาใช้ประกอบอาหาร เป็นผักที่ชาวต่างประเทศนิยมรับประทานและในประเทศไทยเริ่มมีผู้นิยมบริโภคในปริมาณมากขึ้น โดยพบว่าพืชนี้มีวางขายอยู่ทั่วไปในตลาดทั้งปี (สมพร ทรัพยสาร, 2534) แครอทเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง คือมีแคโรทีนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ไทอามิน ไรโบฟลาวิน และน้ำตาลสูง (Thompson and Kelly, 1975) โดยมีปริมาณแคโรทีน (Carotene) ทั้งหมด คือ 66.20 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง (Schadle *et al*., 1983)

2.1 การผลิตผักอบแห้ง

การอบแห้งนับเป็นวิธีถนอมอาหารซึ่งเป็นที่นิยมกันมาช้านาน เนื่องจากอาหารอบแห้งสามารถเก็บไว้ได้นานและเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2539) ขั้นตอนการลวกเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำลายเอ็มไซม์ที่ทำให้ผักและผลไม้เสื่อมเสีย กระบวนการอบแห้งในผักและผลไม้แต่ละชนิดอาจแตกต่างกันบ้างในรายละเอียดบางขั้นตอน แต่อาจสรุปหลักๆ ที่สำคัญในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

2.1.1 การคัดเลือกและตกแต่งวัตถุดิบ

อาหารแห้งที่ผลิตขึ้นมานั้นจะต้องผลิตจากวัตถุดิบที่สด มีการเก็บรักษาที่ดี คือเก็บในที่เย็นก่อนการผลิต จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพดี โดยเมื่อวัตถุดิบถูกขนส่งไปยังที่ผลิต กระบวนการแรกที่ต้องปฏิบัติคือ การทำความสะอาด เอาสิ่งสกปรก เช่น ใบไม้ หิน แมลง และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ออกไป การทำความสะอาดนี้เพื่อลดการเสื่อมเสียของวัตถุดิบจากเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นนำมาคัดเลือก โดยปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ในการคัดเลือกได้แก่ ขนาด รูปร่าง สี เนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมี และรอยตำหนิจากแมลง เป็นต้น หลังจากที่คัดเลือกแล้วนำวัตถุดิบที่ดีมาปอกเปลือกก่อน การปอกเปลือกจะช่วยให้อาหารแห้งได้เร็วขึ้น เพราะเปลือกจะเป็นตัวกีดขวางการเคลื่อนย้ายความชื้นออกจากวัตถุดิบ แต่การปอกเปลือกมีผลเสียต่อคุณค่าทางอาหาร เช่นวิตามินและเกลือแร่ โดยการสูญเสียจะสูงถ้าปอกเปลือกออกหนาเกินไป หลังจากนั้นนำวัตถุดิบมาตกแต่งเอาส่วนที่เสียหายหรือมีตำหนิออกแล้วตัดให้มีขนาดเล็กลง โดยขนาดและรูปร่างจะขึ้นกับความต้องการของตลาด ที่นิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดมักเป็นรูปลูกบาศก์ แผ่น วงแหวน เป็นต้น โดยขนาดและรูปร่างจะมีผลถึงอัตราการอบแห้ง (Anonymous, 1986)

2.1.2 การลวก (Blanching)

การลวกเป็นปฏิบัติการเฉพาะหน่วย ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนการแปรรูป หรือเพื่อป้องกันการทำงานของเอ็นไซม์ในระหว่างการเก็บรักษา ขั้นตอนนี้มักจะเป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป ได้แก่ การสเตอริไลซ์ การทำแห้ง หรือการแช่เยือกแข็ง (วิไล รังสาดทอง, 2545)

มีผักจำนวนไม่กี่ชนิด เช่น หัวหอมใหญ่ ที่ไม่ต้องผ่านการลวก แต่ผักผลไม้ส่วนใหญ่จะเสื่อมสภาพโดยง่ายถ้าไม่ผ่านการลวก การลวกทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่ตั้งไว้ และทำให้เย็นโดยเร็วที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาในการลวก ได้แก่

1) ชนิดของผักหรือผลไม้
2) ขนาดของชิ้นอาหาร
3) อุณหภูมิของการลวก
4) วิธีการให้ความร้อน

2.1.2.1 วัตถุประสงค์ของการลวก

2.1.2.1.1 การทำลายเอนไซม์

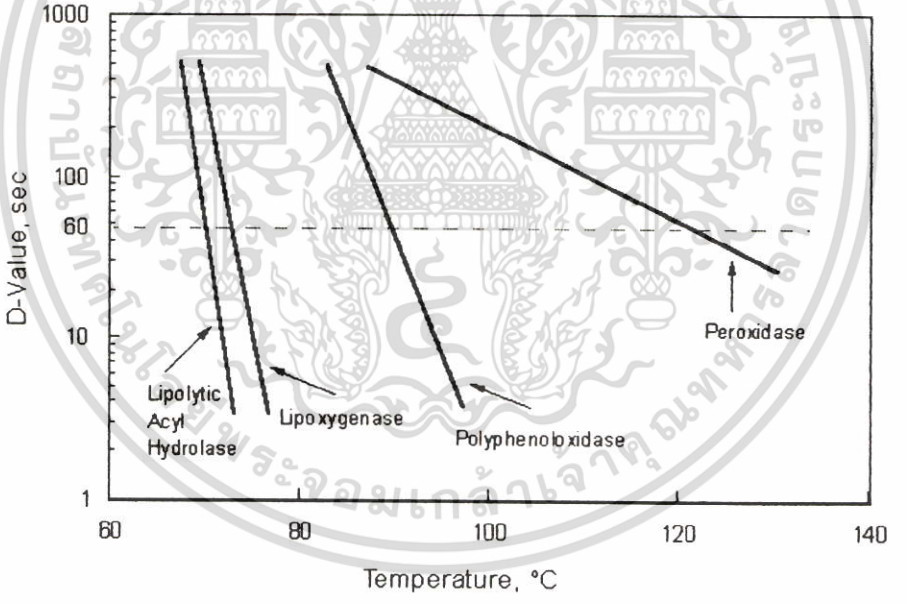
อุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการแช่เยือกแข็งและการทำแห้งนั้นไม่เพียงพอในการทำลายเอนไซม์ได้ การไม่ลวกอาหารก่อนอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างการเก็บรักษาได้ ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่น การ สเตอริไลซ์อาหารกระป๋องขนาดใหญ่นั้น ถ้าไม่มีการลวกอาหารก่อนอาจเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นเพราะต้องใช้เวลานานพอสมควรกว่าอุณหภูมิภายในกระป๋องจะเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ต้องการ การลวกอาหารอย่างไม่สมบูรณ์อาจทำให้เกิดผลเสียมากกว่าการไม่ลวก เนื่องจากอาจเป็นการให้ความร้อนที่เพียงพอต่อการทำลายเนื้อเยื่อของอาหาร แต่ไม่สามารถทำลายเอนไซม์ได้จะทำให้เอนไซม์กับสารตั้งต้นรวมตัวกันได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นการทำลายเอนไซม์ชนิดหนึ่งอาจจะไปเพิ่มการทำงานของเอ็นไซม์ชนิดอื่นและเร่งให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียมากยิ่งขึ้น

เอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณสมบัติการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการในผักและผลไม้ ได้แก่ โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) โพลิกาแลกทูโรเนส (Polygalactulonase) และ คลอโรฟิลเลส (Chlorophillase) เอนไซม์ที่พบว่ามีความทนทานต่อความร้อนสูงในผักส่วนใหญ่มี 2 ชนิด คือ คะตะเลส (Catalase) และเปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) แม้ว่าเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะไม่ได้ทำให้อาหารเสียในระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บรักษา แต่จะเป็นตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ในการลวก เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส มีความทนทานต่อความร้อนมากกว่าเอนไซม์คะตะเลส ดังนั้นถ้าตรวจสอบไม่พบเปอร์ออกซิเดสก็แสดงว่าคะตะเลสถูกทำลายไปด้วยเช่นกัน (วิไล รังสาดทอง, 2545)

การทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียนั้นจะใช้ เอนไซม์เปอร์ออก-ซิเดส เป็นตัวชี้วัด โดยทั่วไปจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกสิเดสจนหมด แต่การศึกษาในบางงานวิจัยพบว่า การทำลายเอนไซม์ให้เหลือการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase activity residual) ร้อยละ10 - 15 จะได้ผลดีในการผลิตผักแช่เยือกแข็ง (Bottcher, 1975 ; Ramaswamy and Rangana, 1989 ; Steinbuch, 1991) จากภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่า ค่า D และ Z ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความทนทานต่อความร้อนของเอนไซม์ ค่า D และ Z ของเอนไซม์เปอร์ออก-ซิเดส มากกว่าเอนไซม์ตัวอื่นที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย ดังนั้นการลดลงของการทำงานเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเหลือ ร้อยละ10 - 15 เพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย



ภาพที่ 2.1 การทำลายเอนไซม์ Lipolytic acyl hydrolase, Lipoxygenase, Polyphenoloxidase, Peroxidase ของมันฝรั่ง

ที่มา : Svensson (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1.2 วัตถุประสงค์อื่นๆของการลวก

การลวกเป็นการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวของอาหาร ดังนั้นจึงเป็นการช่วยทำให้การถนอมรักษาอาหารในขั้นต่อไปง่ายขึ้น ปฏิบัติการเฉพาะหน่วยนี้สำคัญมากโดยเฉพาะในกระบวนการสเตอริไลซ์ ซึ่งจะมีการกำหนดเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ตามที่ต้องการ ถ้าอาหารผ่านการลวกที่ไม่สมบูรณ์ก็จะทำให้มีเชื้อจุ-ลินทรีย์แรกเริ่มในปริมาณสูง การลวกเป็นการทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้นุ่มขึ้นช่วยให้บรรจุอาหารลงในภาชนะได้ง่ายขึ้น ช่วยทำให้เกิดสุญญากาศในกระป๋องได้ง่ายขึ้น รวมทั้งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผลิตภัณฑ์ก่อนเข้ากระบวนการแปรรูปต่อไป (อนุกูล วัฒนสุข และ โชคชัย ธีรกุลเกียรติ, 2543)

การลวกมีผลทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและทำให้ปอกเปลือกได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การลวกก็มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารโดยเฉพาะวิตามินต่างๆ (Ponne *et al*., 1994)

2.1.2.2 ผลกระทบต่ออาหาร

ความร้อนที่ใช้ในการลวกอาหารมีผลกระทบต่ออาหาร ดังนี้

2.1.2.2.1 สารอาหาร

สารอาหารหลายชนิด เช่น วิตามิน เกลือแร่ และสารอาหารที่ละลายน้ำเกิดการสูญเสียระหว่างการลวกโดยการชะล้างด้วยน้ำ สูญเสียเนื่องจากความร้อนและสูญเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การสูญเสียดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ (วิไล รังสาดทอง, 2545)

1) ชนิด สายพันธุ์ ความบริบูรณ์ของวัตถุดิบ
2) วิธีการเตรียมอาหาร เช่น การตัด การฝานเป็นแผ่นบางหรือการตัดเป็นลูกเต๋า
3) อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นอาหาร
4) วิธีการลวก
5) อุณหภูมิและเวลาในการลวก การลวกโดยอุณหภูมิสูงกว่าแต่ใช้เวลาสั้นกว่าทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินน้อยกว่าการลวกที่อุณหภูมิต่ำกว่าแต่ใช้เวลานานกว่า
6) วิธีทำให้เย็น
7) อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต่ออาหาร ทั้งในการลวกและการทำให้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2.2 สีและกลิ่น

การลวกทำให้อาหารบางชนิดมีสีสดใสขึ้นเนื่องจากอากาศและฝุ่นบนผิวถูกกำจัดออกไป ทำให้ค่าความยาวคลื่นของแสงสะท้อนเปลี่ยนไป อุณหภูมิและเวลาก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุในอาหารนิยมเติมโซเดียมคาร์บอเนต (ร้อยละ 0.125 น้ำหนัก/น้ำหนัก) หรือแคลเซียมออกไซด์ลงในน้ำที่ใช้ในการลวกเพื่อป้องกันการทำลายคลอโรฟิลล์ ผักจึงยังคงสีเขียวไว้ได้ การลวกถ้าทำการลวกไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแห้งหรืออาหารแช่แข็ง (วิไล รังสาดทอง, 2545)

Shamaila และคณะ (1996) ศึกษาการลวกแครอทด้วยน้ำเดือด ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 300 วินาที พบว่า ระยะเวลาในการลวกมีผลต่อปริมาณสารที่ระเหยได้ โดยที่ระยะเวลาในการลวก 60 วินาที จะทำให้ปริมาณของสารที่ระเหยได้ คือ sabinene, β-pinene, β-myrcene, limonene, trans-caryophyllene, α-humulene, β -bisabolene และ α –famesene ลดลงเหลือต่ำกว่า ร้อยละ 50 และเมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน พบว่า ค่าทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี เนื้อสัมผัส รสหวาน กลิ่นรส กลิ่นแครอทดิบ และการยอมรับโดยรวม มีค่าทางประสาทสัมผัสลดลงตามระยะเวลาในการลวก ยกเว้นกลิ่นแครอทสุกที่มีค่าทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้น

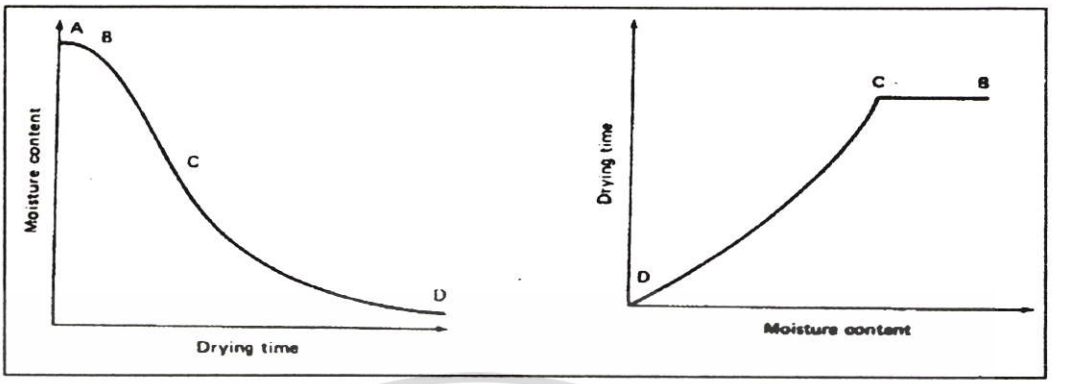
2.1.2.2.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

การลวกผักจะสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสไม่มากก็น้อย เช่น การลวกแครอทด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 65° ซ เป็นเวลา 45 นาที จะได้แครอทอบแห้งที่คืนรูปที่มีความแน่นเนื้อมากกว่าแครอทที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 100° ซ เป็นเวลา 8 นาที (Ramos *et al.*, 1992)

2.2 การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นวิธีการลดความชื้นในอาหาร ซึ่งอาหารโดยทั่วไปจะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นสูง จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์และจากปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิดแล้วจะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529) ซึ่งในสมัยโบราณการอบแห้งนิยมใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนากรรมวิธีการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการสร้างตู้อบหรือเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ขึ้นมา โดยอาศัยพลังงานกล เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ เครื่องอบแห้งแบบระเหิด เป็นต้น (Canovas and Mercado, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 กราฟการทำแห้ง

ที่มา: วิไล รังสาดทอง (2545)

การศึกษาอัตราการอบแห้งจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง จากภาพที่ 2.2 ช่วงแรก คือ ระยะเริ่มต้น A-B (Setting down period) เป็นระยะที่วัตถุเริ่มร้อนขึ้น การระเหยของน้ำเกิดขึ้นน้อยมาก ช่วงที่2 คือ ระยะอัตราการระเหยคงที่ B-C (Constant drying rate period) ช่วงนี้อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ภายในวัตถุมาที่ผิว จะมีมากกว่าหรือเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำที่ระเหยออกไป อัตราเร็วของการระเหยน้ำในช่วงนี้จะมีค่าคงที่ ช่วงสุดท้าย คือ ระยะอัตราการระเหยลดลง C-D (Falling drying rate period) ช่วงนี้อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำในวัตถุจะลดลง ผิวของวัตถุจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยของน้ำจะลดลงเรื่อยๆ (อรไท สุขเจริญ, 2539)

การอบแห้งอาหารจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหาร เช่น การเกิดสีน้ำตาล การสูญเสียสารอาหาร การเหี่ยวย่น และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เป็นต้น

2.2.1 การเกิดสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลหรือสีคล้ำของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้อบแห้ง สามารถเกิดได้ตลอดเวลาตั้งแต่ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการทำแห้ง และในระหว่างการเก็บรักษา ในแต่ละขั้นตอนมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลแตกต่างกันไป เช่นในช่วงการเตรียมวัตถุดิบมีเอนไซม์เป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดสีน้ำตาล หรือการใช้ความร้อนที่ไม่เหมาะสมในการอบแห้ง การเกิดสีน้ำตาลของผักผลไม้อบแห้งเกิดจาก 2 ปฏิกิริยาดังนี้

2.2.1.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction)

เมื่อผักผลไม้มีรอยตำหนิหรือเสียหายซึ่งอาจเกิดจากรอยช้ำ รอยปอก หั่น แช่แข็ง หรือเป็นโรค ส่วนของเนื้อเยื่อที่มีตำหนิ มีเอนไซม์ที่ยังคงทำงานได้ เมื่อสัมผัสกับอากาศจะเกิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase: PPO) เป็นเอนไซม์ที่มีทองแดง (Cu) ประกอบอยู่ด้วย ตัวอย่างเช่น Catecol oxidase, Catecolase, Diphenol oxidase และ Phenolase เป็นต้น (Martinez and Whitaker, 1995) โดยทั่วไปผักผลไม้จะมีกรดฟีนอลิค (Phenolic acid) เป็นองค์ประกอบอยู่ กรดเหล่านี้ในสภาพที่มีออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์ได้เป็นออร์โธควิโนน (O-quinones) ซึ่งในธรรมชาติปฏิกิริยานี้จะถูกเร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Mauron, 1986) ซึ่งออโธควิโนนเป็นสารที่มีสีเหลืองอ่อนมาก จนเกือบไม่มีสี แต่เป็นสารตัวกลางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยามาก โดยสารตัวนี้เป็นสารตั้งต้นของการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ที่ปอกผิวและตัดแต่งแล้ว (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2537)

2.2.1.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Non - enzyme browning reaction)

ปฏิกิริยานี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยา Carbonyl amono acid คือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอัลดีไฮด์ คีโตน น้ำตาลรีดิวซ์ กับเอมีน กรดอะมิโน เปปไทด์ และโปรตีนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งมีสีน้ำตาล ปฏิกิริยา Caramelization เกิดจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาลที่อุณหภูมิสูง โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบที่ระเหยได้และมีสีน้ำตาล และปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดแอสคอบิค เป็นปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอบิค ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเฟอร์ฟูราล (Furfural) ซึ่งสามารถเกิดการโพลีเมอไรซ์ต่อไปได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (Hodge, 1953)

การเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากความร้อน เป็นปัญหาสำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งอาหาร Chan Jr. และ Cavaletto (1978) พบว่า ในการผลิตมะละกอแผ่น โดยการใช้อุณหภูมิอบแห้ง 3 ระดับ คือ 74° 78° 84° และ 94° ซ จะได้มะละกอแผ่นที่มีสีแตกต่างกัน คือมะละกอแผ่นที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 74° ซ จะมีสีน้ำตาลน้อยที่สุด รองจากที่อุณหภูมิ 84° และ 94° ซ ตามลำดับ ส่วน Che Man และคณะ (1997) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งทุเรียนแผ่น โดยที่เกิดสีน้ำตาลไม่มากเกินไป คือ การใช้อุณหภูมิต่ำเวลานาน (Low Temperature Long Time : LTLT) ได้แก่ อุณหภูมิ 52.5° ซ นาน 16 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ที่มีอัตราการไหลผ่านของอากาศ 1.5 เมตร/นาที และอุณหภูมิ 50° ซ นาน 16 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ

2.2.2 การสูญเสียสารอาหาร

Schadle และคณะ (1983) ได้ทำการอบแห้งแครอทสไลด์หนา 3/8 นิ้ว ด้วยการอบแห้งแบบระเหิด พบว่ามีปริมาณกรดแอสคอร์บิก แอลฟ่า-แคโรทีน เบต้า-แคโรทีน และแคโรทีนทั้งหมดเหลืออยู่ 33.39 15.66 54.21 และ 70.30 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงกว่าการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °ซ ซึ่งให้ปริมาณสารต่างๆข้างต้นเหลืออยู่ 15.97 6.67 27.50 และ 34.16 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้การอบแห้งแบบลมร้อนใช้อุณหภูมิในการ อบแห้งที่สูงและมีออกซิเจนในการอบแห้ง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอาหารข้างต้นได้มากกว่าการอบแห้งแบบระเหิดที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าและเป็นสุญญากาศ

2.2.3 การหดตัว

Wang และ Brennan (1995) ได้ศึกษาโครงสร้างมันฝรั่งที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการทำแห้ง พบว่า การหดตัวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร เช่น ความหนาแน่น และความพรุนในอาหาร โดยระดับการหดตัวของมันฝรั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ จะสูงกว่าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนา ยาว และ กว้าง ของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อปริมาณความชื้นลดลงด้วย

2.3 การบรรจุ

ความชื้น ออกซิเจน และแสงจากสภาวะแวดล้อม มีผลต่อคุณภาพของอาหารแห้ง ความชื้นทำให้อาหารอบแห้งมีความชื้นเพิ่มขึ้น จนเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ ออกซิเจน และแสงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะปฏิกิริยาของไขมันและน้ำมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ต้องการได้ อาหารอบแห้งที่ผลิตได้จึงควรเก็บในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้น ออกซิเจน และแสง เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงที่เกิดระหว่างการเก็บรักษา (Anonymous, 1986)

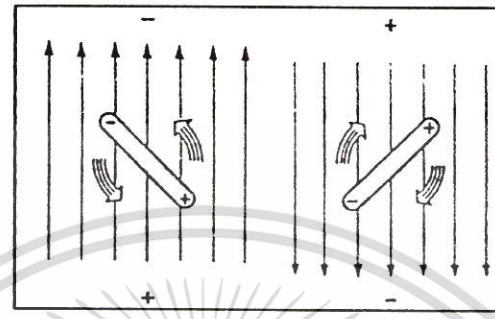
2.4 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ คือ พลังงานที่เกิดจากการแผ่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ไมโครเวฟมีความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นระหว่าง 300 เมกกะเฮิร์ต ถึง 300 กิกะเฮิร์ต โดยช่วงความถี่คลื่นไมโครเวฟที่นำมาใช้ในงานทางอุตสาหกรรมและการวิจัย นั้นอยู่ในช่วง 915 ถึง 2,450 เมกกะเฮิร์ต (Pappas *et al.*, 1999) คลื่นไมโครเวฟนั้นจะมีลักษณะเหมือนลำแสงเส้นตรงที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนกลับ (Reflection) เมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่าน (Transmission) ภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ ไม้ และพลาสติก ส่วนสารประกอบที่มีขั้วเช่นน้ำสามารถดูดซับ (Absorption) คลื่นไมโครเวฟ (Decareau, 1992)

การเกิดความร้อนในอาหารด้วยไมโครเวฟนั้นเกิดจากอาหารดูดซับคลื่นไมโครเวฟ แล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน โดยไมโครเวฟทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายและการเสียดสีกันของไอออนที่เคลื่อนที่ ทำให้เกิดความร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สารประกอบที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการเสียดสีกันของไอออนที่เคลื่อนที่ ทำให้เกิดความร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สารประกอบที่มีขั้วเช่นน้ำ เกิดการเรียงตัวของประจุบวกและลบอย่างเป็นระเบียบ พร้อมกับเกิดการหมุนตัวกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ คือ 915 ถึง 2,450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดความร้อนขึ้น (Decareau, 1992) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากไมโครเวฟ
ที่มา: Decareau (1992)

Hasted และคณะ (1988) พบว่า ปริมาณน้ำและเกลือแร่รวมถึงรูปแบบของน้ำที่เป็นส่วนประกอบในอาหารนั้นจะมีความสำคัญต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในรูปอิสระ (Free water) จะทำให้ดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบอื่นเช่น โปรตีน หรือคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับเกลือแร่ ถ้าอยู่ในรูปแตกตัว (Dissociated) จะทำให้อาหารนั้นดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าเกลือที่อยู่ในรูปรวมตัวกับสารอื่น (Associated) ส่วนปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซับไมโครเวฟนั้นได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของอาหาร อุณหภูมิของอาหารและระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ สำหรับอาหารแห้งและอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงจะดูดซับไมโครเวฟได้ต่ำ

2.4.1 การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการลวก

Ponne และคณะ (1994) ศึกษาการลวกผักใบด้วยคลื่นไมโครเวฟ แล้วนำไปบรรจุกระป๋องกับนำไปแช่แข็ง พบว่า ผักบรรจุกระป๋องและผักแช่แข็ง ที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว และการลวกด้วยไมโครเวฟร่วมกับไอน้ำ จะให้รสชาติ ความแข็งกรอบ และปริมาณวิตามินซีมากกว่าการลวกด้วยน้ำหรือลวกด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว แต่การลวกด้วยน้ำจะให้สีเป็นธรรมชาติมากกว่าการลวกด้วยไมโครเวฟ

Devece และคณะ (1999) ทำการลวกเห็ดด้วยน้ำร้อน ไมโครเวฟ และการลวกด้วยไมโครเวฟร่วมกับน้ำร้อน พบว่า การลวกเห็ดด้วยไมโครเวฟร่วมกับน้ำร้อนจะทำให้ระยะเวลาในการลวกลดลง นอกจากนี้ยังสามารถลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร การสูญเสียน้ำ และการหดตัวของเห็ด ได้มากกว่าการลวกด้วยน้ำร้อนหรือไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Funebo และคณะ (2000) ทำการลวกแอปเปิ้ลขนาด 15 x 15 x 15 มิลลิเมตร ด้วยไมโครเวฟ ที่กำลังไฟ 20 วัตต์/กรัม เป็นเวลา 0 และ 5 นาที ก่อนนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40° ซ และเวลา 0 0.75 และ 2.5 นาที ก่อนอบแห้งที่ 60° ซ และเวลา 0 2.5 และ 5 นาที ก่อนอบแห้งที่ 80° ซ พบว่า การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีผลต่อความหนาแน่น (Bulk Density) ความสามารถในการคืนรูป (Rehydration capacity) และความหนาแน่นหลังการคืนรูป (Stress at maximum force) ของแอปเปิ้ลอบแห้ง โดยการนำมาให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 2.5 นาที ก่อนอบแห้งที่ 60° ซ ให้ความหนาแน่นรวมสูงสุด 796 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 2.5 นาที ก่อนอบแห้งที่ 80° ซ ให้ความสามารถในการคืนรูปสูงสุด และการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 5 นาที ก่อนอบแห้งที่ 40° ซ ให้ความหนาแน่นต่ำสุด ส่วนแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ อบแห้งที่ 80° ซ ให้ความหนาแน่นรวมและความสามารถในการคืนรูปต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะคลื่นไมโครเวฟไปทำลายโครงสร้างเซลของแอปเปิ้ล ทำให้ความหนาแน่นรวมและความสามารถในการคืนรูปเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นเนื้อลดลง

Krokida และคณะ (2000) ทำการลวกแครอทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิลิตร หนา 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำร้อนที่ 90° ซ เป็นเวลา 3 นาที ลวกด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 2 นาที ซัลไฟต์ โดยจุ่มในสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 5 นาที และไมโครเวฟที่กำลังไฟ 810 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ลวกแล้ว มาอบแห้งที่ 70° ซ พบว่า การลวกด้วยไมโครเวฟจะให้ค่า L* ต่ำกว่า ค่า a* สูงกว่า ทำให้สีแครอทอบแห้งสีส้มคล้ำกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน ไอน้ำ และซัลไฟต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการลวกด้วยไมโครเวฟอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ คือปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น ส่งผลให้แครอทอบแห้งที่ได้มีสีส้มคล้ำกว่าตัวอย่างอื่น

Ramesh และคณะ (2002) ทำการลวกผักขม พริกไทย และแครอท ด้วยไมโครเวฟเปรียบเทียบกับการลวกด้วยน้ำร้อน พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการทำลายเอ็มไซม์เปอร์ออกซิเดส ด้วยไมโครเวฟ ของผักขมและพริกไทยจะสูงกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน แต่ในแครอทจะใช้เวลาในการลวกที่เท่ากัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณวิตามิน ซี ทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า การลวกด้วยไมโครเวฟจะมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าลวกด้วยน้ำร้อน (ตารางที่ 2.1) ปริมาณแคโรทีนอยด์ ในแครอทที่ลวกด้วยไมโครเวฟจะสูงกว่าที่ลวกด้วยน้ำร้อน และยังพบว่าการลวกด้วยไมโครเวฟทำให้ทั้ง 3 ตัวอย่าง สูญเสียน้ำไปประมาณ ร้อยละ 30 เนื่องจากผลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดลองวิตามินซีที่เหลือหลังการลวกด้วย ไมโครเวฟ เทียบกับ น้ำร้อน

Vitamin	Product	Balanching conditions		Vitamin retention (%)		Reference
		Microwave	Water	Microwave	Water	
Vitamin C	(100g each)	Radar oven, 3000 mc. for	Boiling water			Proctor and Goldblith 1984
	Spinach	20s	2.5 min	100	36.7	
	Carrots	25s	3.0 min	98	23.5	
	Green Peas	25s	1.0 min	100	92.8	
	Green beans	20s	2.0 min	100	80	
	Broccoli	30s	1.0 min	100	87.5	
Vitamin C	Broccoli	Domestic, 2 min	3 min, 100'c	79.2	61	Lorenz 1976
Vitamin C	Green beans	Domestic model 2005, 650 W,	2400 mL, 100'c	88.5	84.7	Muftugil 1986
	(300g)	60 s, 2450 MHZ, with rotation	2 min			
Vitamin C	(500 g each)	Domestic Ex 30 LF AEG,	98'c, 5L			
		700 W, with 50 ml water				
	Broccoli	7 min	3.0 min	90	75	Bognar and
	Spinach	7 min	3.0 min	70	62	others 1987
	Green beans	7 min	3.0 min	75	59	
	Carrot	7 min	3.0 min	100	66	
Vitamin C	Frozen spinach	Pilot scale, conveyorized tunnel,	3.5 min,	59.1	33.3	Ponne and
		3990 W,2450MHz, 90s	90+2'c			others 1994
Vitamin C	Frozen endive	Pilot scale, conveyorized tunnel,	3.5 min,	84.5	10.3	
		4020 W,2450MHz, 90s	90+2'c			
Vitamin C	(50 g)	Siemens-Model HF 66020,Pulsed	98+2'c,2.5L			Ramesh and others 2002
	Spinach	3.2 min	1.5 min	68.9	51	
	Bell peppers	4.8 min	4.5 min	84.7	76.2	
	Carrot	2.0 min	2.0 min	82.6	49.1	
Carotene	Carrot			56.9	21.2	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ramesh et al. (2002)

Min Zhang และคณะ (2003) ทำการลวกผลไม้อะลิค่า (Areca) ด้วยไมโครเวฟกำลัง 314 วัตต์ เป็นระยะเวลา 0.5 2.0 3.0 และ 4 นาที และที่ 446 วัตต์ เวลา 0.5 1.0 และ 1.5 นาที ก่อนนำไปแช่แข็ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลวกที่ 446 วัตต์ เวลา 0.5 นาที หลังผลิตภัณฑ์ผ่านการละลายน้ำแข็ง จะให้สีดีที่สุด และได้ศึกษาการแช่ผลไม้ในสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.5 และ 2.5 เป็นเวลา 10 นาที พบว่า การแช่ในสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 2.5 จะได้สีผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดหลังการละลายน้ำแข็ง

2.4.2 การประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน

การอบแห้งแบบลมร้อนนั้นมีข้อเสียคือ อัตราการอบแห้งต่ำเมื่อความชื้นในอาหารลดลง เกิดการสูญเสียรงควัตถุและวิตามินจากการใช้ความร้อนสูง และเกิดการแห้งของผิวหน้าอาหารและแข็งตัว (Lin *et al.*, 1999) ดังนั้นจึงมีการนำไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อน เนื่องจากไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนขึ้นทั้งชิ้น จะช่วยปรับปรุงการถ่ายเทความร้อน และลดการเกิดเปลือกแข็งได้ (Maskan, 2000)

Ren และ Chen (1998) อบแห้งรากโสมด้วยการอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 38° ซ ความเร็วลม 60 ลิตร/นาที และการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 38° ซ ความเร็วลม 60 ลิตร/นาที ที่กำลังไฟ 60 วัตต์ พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าวิธีการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยการอบแห้งรากโสมจนมีความชื้น 10% ถ้าอบแห้งแบบลมร้อนจะใช้เวลา 136.4 ชั่วโมง ในขณะที่การอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียง 61.1 ชั่วโมง ลดลง ร้อยละ 55.2

Maskan (2000) ทดลองอบแห้งกล้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หั่นเป็นแว่นหนา 4.3 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการอบแห้ง 3 แบบ คือ แบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60° ซ ความเร็วลม 1.45 เมตร/วินาที แบบไมโครเวฟ ที่กำลังไฟ 350 วัตต์ และแบบลมร้อนที่ 60° ซ ความเร็วลม 1.45 เมตร/วินาที จนมีความชื้น 1.25 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมแห้ง แล้วตามด้วยการใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟ 350 วัตต์ พบว่า การอบแห้งกล้วยด้วยความร้อนจะใช้เวลา 482 นาที ในขณะที่การอบแห้งแบบไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียง 27 นาที ลดระยะเวลาอบแห้งลง ร้อยละ 94 ส่วนการอบแห้งแบบลมร้อนก่อนนำมาใช้ไมโครเวฟนั้นพบว่าในขั้นตอนการอบแห้งแบบลมร้อนมีอัตราการอบแห้ง 0.035 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง/นาที และเมื่อนำมาใช้ไมโครเวฟอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 0.40 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง/นาที ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 172 นาที ทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง ร้อยละ 64.3

Khraissheh และคณะ (2000) อบแห้งมันฝรั่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร ยาว 5.2 เซนติเมตร ด้วยการอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60° ซ ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที และการอบแห้งแบบไมโครเวฟ ที่กำลังไฟ 10.5 วัตต์ และการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 60° ซ ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที กำลังไฟ10.5 วัตต์ พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 200 นาที ส่วนการอบแห้งแบบลมร้อนใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด 350 นาที

อัศวิน ชินธรรมมิตร์ (2546) อบแห้งแครอทขนาด 5 x 5 x 5 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิ 70° ซ นาน 3 ชั่วโมงต่อด้วยการอบด้วยไมโครเวฟที่กำลัง 80 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่าได้แครอทที่มีลักษณะแห้งแบบไม่พอง ร้อยละ 83.14 และแบบแห้งไหม้ ร้อยละ 16.85 จากการใช้ไมโครเวฟหลังจากการอบแห้งด้วยลมร้อน จะสามารถลดเวลาในการอบแห้งจากเดิม 10 ชั่วโมง เหลือเพียง 3 ชั่วโมง 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 แครอท พันธุ์ออสเตรเลีย จากตลาดสดนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ในการอบแห้ง

3.2.1.1 อุโมงค์ไมโครเวฟ (Microwave Tunnel) ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิรตซ์ กำลัง 4,800 วัตต์ โดยใช้ไมโครเวฟ 6 แมกเนตรอน

3.2.1.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert ประเทศ เยอรมัน

3.2.1.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบรังสีอินฟราเรด (Infrared thermometer) ยี่ห้อ Chino ประเทศ ญี่ปุ่น

3.2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์และการตรวจสอบสมบัติ

3.2.2.1 เครื่องวัดระดับวอเตอร์แอคติวิตี้ Novasina รุ่น thermoconstanter ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์

3.2.2.2 เครื่องวัดสี รุ่น Minolta meter, CR 300 series

3.2.2.3 ตู้อบวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert ประเทศ เยอรมัน

3.3 สถานที่ทดลอง

3.3.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2 ตึกปฏิบัติการแปรรูปอาหาร 1 (Processing Plant 1) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 3.4.3.2 เปรียบเทียบกับแครอท 50 กรัมที่ผ่านการลวกน้ำร้อนที่ 98° - 100° ซ จำนวน 250 มิลลิลิตร นาน 2 นาที แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60° ซ จนเหลือความชื้นประมาณ ร้อยละ 8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ข้อ 3.4 ในการทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) ร่วมกับการทดสอบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test แยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS) Version 7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาผลของการแช่น้ำเกลือที่มีต่อการลวกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

ผลการศึกษาการแช่แครอท ในน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 0 (น้ำเปล่า) 3 และ 5 (น้ำหนัก / ปริมาตร) เป็นระยะเวลา 3 และ 5 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำไปลวกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลัง 1,600 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของแครอทก่อนและหลังการลวกด้วยไมโครเวฟกำลัง 1,600 วัตต์

การทดลอง	ก่อนผ่านไมโครเวฟ		หลังผ่านไมโครเวฟ		
	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่ (ร้อยละ)	ปริมาณเกลือในแครอท (มก/ก)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักที่ลดลง (ร้อยละ)	Peroxidase activity residual (ร้อยละ)
แช่น้ำ 3 นาที	3.53 ± 0.31 ab	0.35 ± 0.04 d	64.67 ± 2.52 b	11.40 ± 1.12 d	47.31 ± 3.10 a
แช่น้ำ 5 นาที	4.70 ± 0.27 a	0.25 ± 0.15 d	66.67 ± 1.54 b	11.60 ± 0.21 d	46.37 ± 1.42 a
แช่น้ำเกลือ 3 % 3 นาที	3.22 ± 1.55 b	5.18 ± 0.41 c	75.53 ± 2.20 a	14.76 ± 0.25 c	25.96 ± 0.45 b
แช่น้ำเกลือ 3 % 5 นาที	2.97 ± 0.08 b	5.62 ± 0.41 c	75.87 ± 1.20 a	14.98 ± 0.42 bc	25.15 ± 1.04 b
แช่น้ำเกลือ 5 % 3 นาที	2.18 ± 0.55 b	8.20 ± 0.54 b	77.67 ± 4.04 a	15.94 ± 0.43 ab	23.70 ± 0.83 b
แช่น้ำเกลือ 5 % 5 นาที	2.52 ± 0.98 b	9.26 ± 0.23 a	78.33 ± 2.08 a	16.42 ± 0.52 a	23.64 ± 0.66 b
ไม่แช่	0.00 ± 0.00 c	0.38 ± 0.07 d	65.07 ± 1.37 b	11.93 ± 0.67 d	48.38 ± 2.22 a

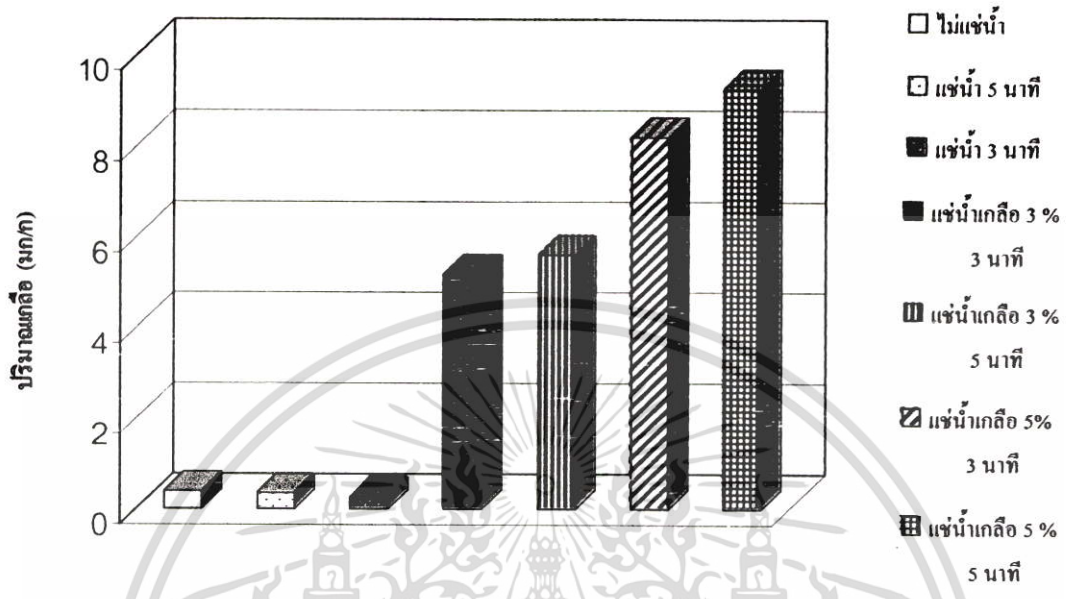
หมายเหตุ - ค่าที่ได้จากตารางได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาการแช่แครอทในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0 (น้ำเปล่า) 3 และ 5 นาน 3 และ 5 นาที ตามลำดับ พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ มีผลต่อปริมาณเกลือในแครอทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการแพร่ของตัวถูกละลายจะมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้น (อรไท สุขเจริญ, 2539) และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการแช่ พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเกลือ ร้อยละ 0 (น้ำเปล่า) และ 3 ระยะเวลาในการแช่ (3 และ 5 นาที) ไม่มีผลต่อปริมาณเกลือในแครอท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.5$) แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

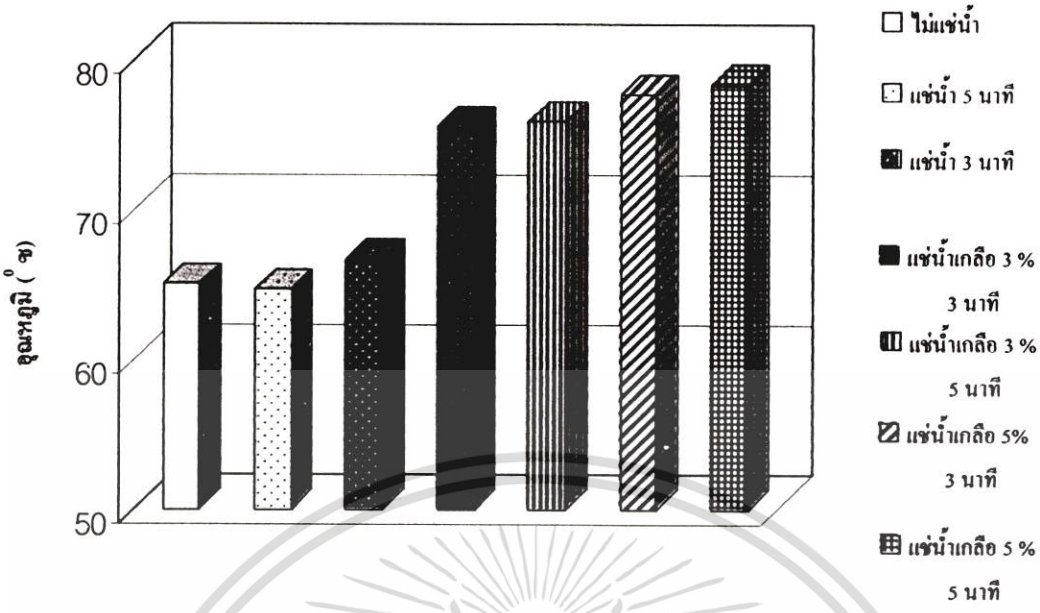
เกลือ ร้อยละ 5 ระยะเวลาในการแช่ นาน 3 และ 5 นาที มีผลต่อปริมาณเกลือในแครอทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ปริมาณเกลือในแครอทหลังการแช่ในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0 (น้ำเปล่า) 3 และ 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 3 และ 5 นาที

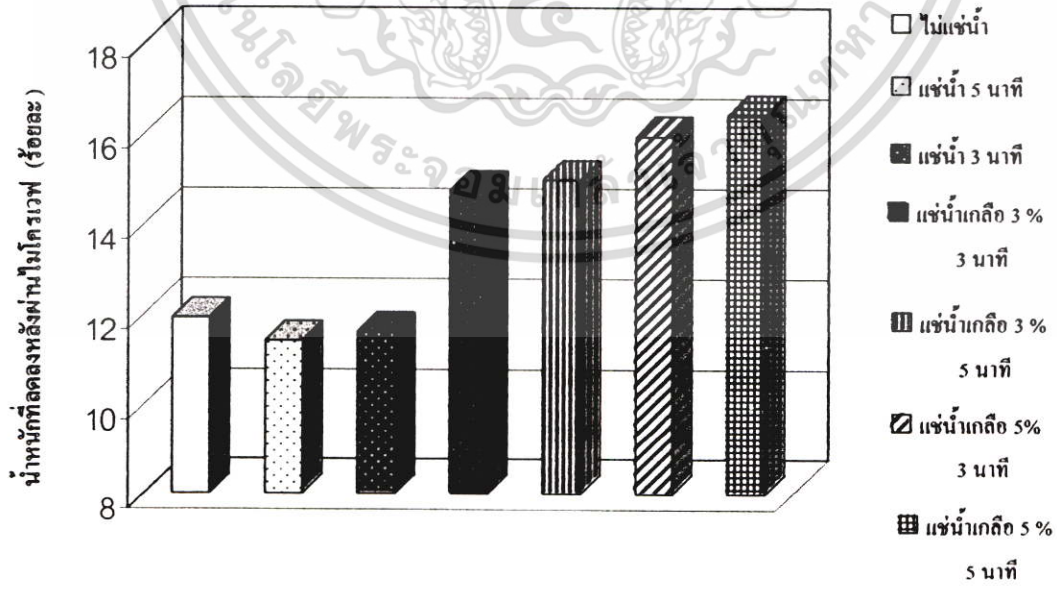
เมื่อนำแครอท (50 กรัม) ที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0 3 และ 5 นาน 3 และ 5 นาที และแครอทที่ไม่แช่สารละลายใด ๆ ไปผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟกำลัง 1,600 วัตต์ ความเร็วของสายพาน 1.5 เมตรต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที พบว่า แครอทที่แช่น้ำเกลือจะมีอุณหภูมิหลังผ่านไมโครเวฟสูงกว่าแครอทที่แช่น้ำ (เกลือ ร้อยละ 0) และไม่แช่สารละลายใด ๆ เลย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังภาพที่ 4.2 ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายเกลือจะเพิ่มค่า ลอส แฟคเตอร์ (Loss factor) ให้กับแครอท โดยเกลือที่แตกตัว (Dissociated) สามารถทำให้ดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากขึ้น (Hasted *et al.*, 1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ กำลัง 1,600 วัตต์ นาน 2 นาที

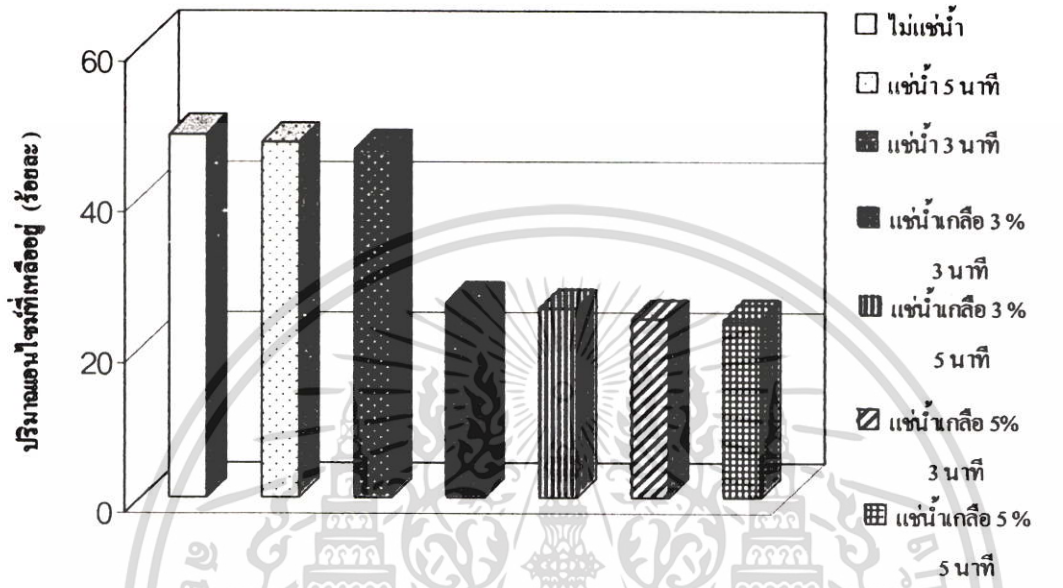
เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่ลดลง (Weight loss) (ร้อยละ) หลังผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟ พบว่า แครอทที่ผ่านการแช่น้ำเกลือ น้ำหนักจะลดลงมากกว่าแครอทที่แช่น้ำหรือไม่แช่สารละลายใด ๆ เลย ทั้งนี้เป็นผลมาจากแครอทที่แช่น้ำเกลือสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มาก ทำให้เกิดผลการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (Drying effect) มากขึ้น ทำให้น้ำที่อยู่ในรูปน้ำอิสระเกิดการระเหยออกไปได้มากขึ้น ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 น้ำหนัก (ร้อยละ) ที่ลดลงของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ กำลัง 1,600 วัตต์ นาน 2 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส พบว่า เกลือมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส โดยแครอทที่แช่น้ำเกลือการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะลดลงกว่าแครอทที่แช่น้ำ และไม่แช่สารละลายใดๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ กำลัง 1,600 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที

จากตารางที่ 4.1 การแช่น้ำเกลือความเข้มข้น ร้อยละ 3 และ 5 นาน 3 และ 5 นาที พบว่า การลดการทำงานของเอนซม์เปอร์ออกซิเดสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจึงเลือกแครอทที่แช่น้ำเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 นาน 3 นาที ไปใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป กอปรกับปริมาณเกลือในแครอทเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดด้วย

ส่วนการแช่น้ำและไม่แช่สารละลายใด ๆ พบว่า การลดการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออก - ซิเดซ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แม้ว่าการแช่น้ำที่ 3 และ 5 นาที จะทำให้แครอทมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 3 – 5) แต่เนื่องจากแครอทมีปริมาณความชื้นสูง (ประมาณร้อยละ 90) การเพิ่มปริมาณความชื้นโดยการแช่น้ำ จึงมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการดูดซับพลังงานไมโครเวฟ แต่การแช่น้ำมีผลดี กล่าวคือ จะช่วยให้ผิวของแครอทไม่แห้งเมื่อเทียบกับแครอทที่ไม่แช่ และสามารถช่วยลดอัตราการเกิดการไหม้ที่ผิวของแครอทได้ นอกจากนี้การแช่น้ำมีผลทำให้แครอทสัมผัสกับออกซิเจนลดลง ทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียลดลง ดังนั้นจึงเลือกแครอทที่แช่น้ำ 3 นาที ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลวกแครอทด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

จากการศึกษาการลวกแครอทที่ผ่านการแช่น้ำเกลือความเข้มข้น ร้อยละ 3 นาน 3 นาที และแช่น้ำนาน 3 นาที (โดยเลือกมาจากการทดลองจากข้อ 4.1) จากนั้นผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลัง 1,600 2,400 และ 3,200 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ที่ความเร็ว 1.5 เมตรต่อนาที และ โดยมีน้ำหนักเริ่มต้น 25 และ 50 กรัม และลวกแครอท 50 กรัม ด้วยน้ำร้อน 98 - 100 °ซ นาน 2 นาที เป็นตัวควบคุม (Control) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ 1,600 2,400 และ 3,200 วัตต์ นาน 3 นาที โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้แช่ และน้ำหนักเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน

การทดลอง	ไมโครเวฟ (วัตต์)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	อุณหภูมิหลังผ่านไมโครเวฟ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักที่ลดลงหลังผ่านไมโครเวฟ (ร้อยละ)	Peroxidase activity residual (ร้อยละ)	Vitamin C retention (ร้อยละ)
น้ำเปล่า	1,600	50	67.33 ± 2.52 e	11.07 ± 1.50 g	44.76 ± 3.15 a	90.37 ± 3.10 a
น้ำเกลือ (ร้อยละ 3)	1,600	50	76.10 ± 2.54 bc	14.11 ± 0.96 f	24.21 ± 1.28 b	82.30 ± 2.98 b
น้ำเปล่า	2,400	50	73.20 ± 3.86 cd	18.00 ± 1.83 e	24.70 ± 1.31 b	80.27 ± 2.80 b
น้ำเกลือ (ร้อยละ 3)	2,400	50	82.43 ± 1.69 a	23.91 ± 1.42 cd	10.27 ± 0.82 c	72.73 ± 3.77 c
น้ำเปล่า	3,200	50	79.10 ± 5.15 ab	25.99 ± 1.41 bc	8.10 ± 0.39 d	75.80 ± 4.03 bc
น้ำเกลือ (ร้อยละ 3)	3,200	50	82.10 ± 2.54 a	27.09 ±1.31 b	4.85 ± 0.63 ef	65.41 ± 5.10 d
น้ำเปล่า	1,600	25	69.87 ± 1.80 de	15.03 ± 1.46 f	23.15 ± 1.17 b	80.60 ± 3.51 b
น้ำเกลือ (ร้อยละ 3)	1,600	25	79.00 ± 3.00 ab	23.11 ± 1.52 d	8.30 ± 0.78 d	72.23 ± 2.61 c
น้ำเปล่า	2,400	25	79.96 ± 2.65 ab	26.01 ± 1.57 bc	6.25 ± 0.36 de	70.43 ± 4.67 cd
น้ำเกลือ (ร้อยละ 3)	2,400	25	83.00 ± 3.60 a	27.04 ± 1.71 b	4.13 ± 0.58 fg	64.37 ± 5.20 d
น้ำเปล่า	3,200	25	80.20 ± 2.55 ab	27.50 ± 2.97 b	3.82 ± 0.57 fg	55.33 ± 5.03 e
น้ำเกลือ (ร้อยละ 3)	3,200	25	84.20 ± 3.36 a	31.10 ± 1.09 a	2.41 ± 0.52 g	45.93 ± 3.30 f
ต้มน้ำ 2 นาที	0	50	-	1.99 ± 0.56 h	0.44 ± 0.19 h	48.70 ± 2.51 f

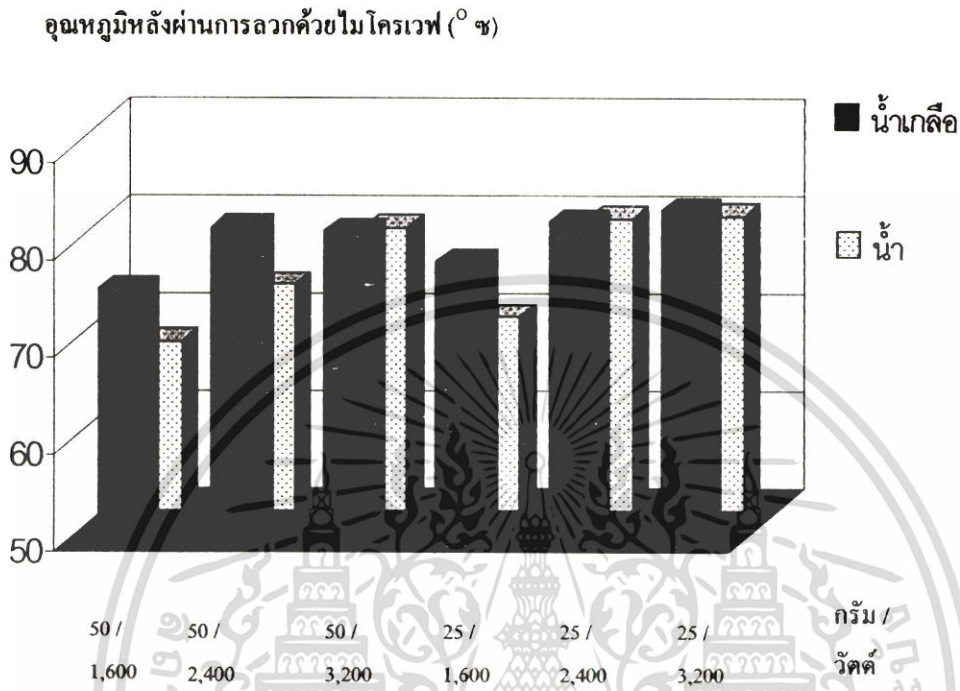
หมายเหตุ - ค่าที่ได้จากตารางได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ทั้งในแครอทที่มีน้ำหนักเริ่มต้นน้ำหนักเริ่มต้นที่ 25 และ 50 กรัม อุณหภูมิหลังผ่านไมโครเวฟจะแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อกำลังวัตต์ของไมโครเวฟเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแครอทที่แช่น้ำและแช่น้ำเกลือ จะเห็นว่าในแครอทที่แช่น้ำแกลือจะมีอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

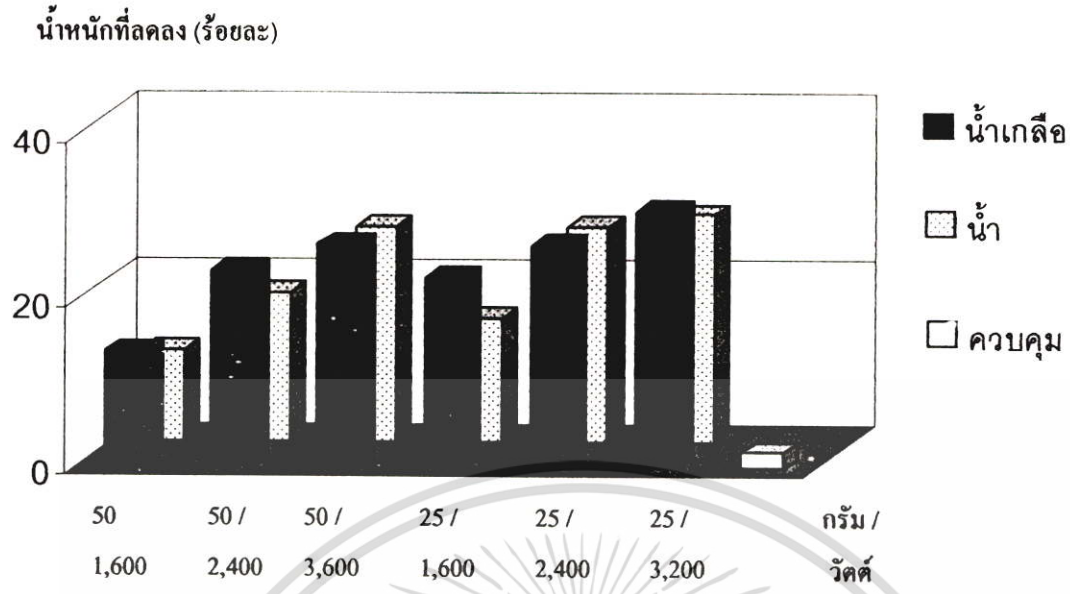
หลังผ่านไมโครเวฟมากกว่าแครอทที่แช่น้ำ แต่ความแตกต่างนี้จะพบน้อยในกรณีที่กำลังวัตต์ของไมโครเวฟสูงขึ้น



ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิของแครอทหลังผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ

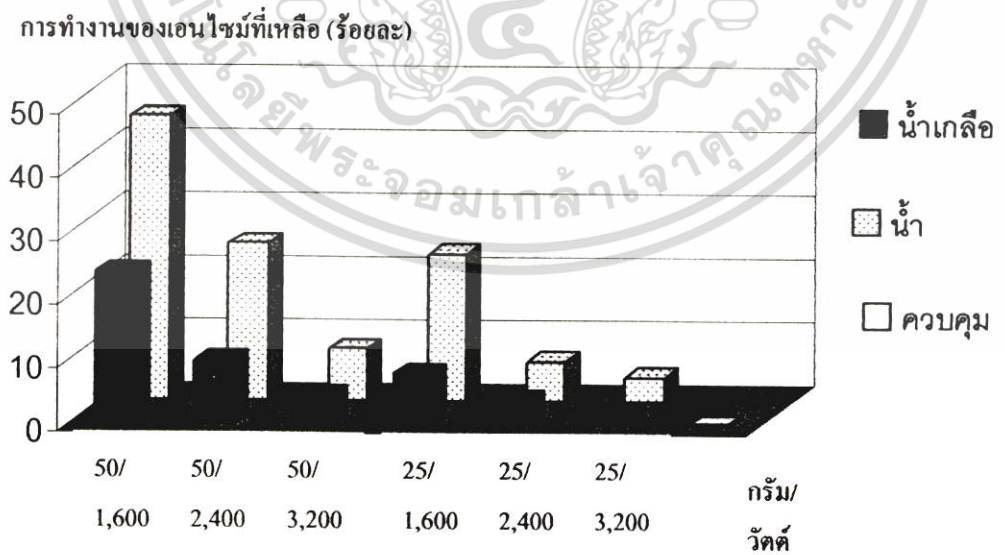
จากภาพที่ 4.6 พบว่า น้ำหนักที่ลดลงของแครอทที่ผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังวัตต์เพิ่มขึ้น ทั้งในน้ำหนักเริ่มต้น 25 และ 50 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบแครอทที่แช่น้ำและแช่น้ำเกลือ น้ำหนักที่ลดลงหลังผ่านไมโครเวฟของแครอทที่แช่น้ำแกลือจะมากกว่าแครอทที่แช่น้ำ แต่ความแตกต่างนี้จะพบน้อยในกำลังวัตต์ไมโครเวฟที่ระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 น้ำหนักที่ลดลงของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ

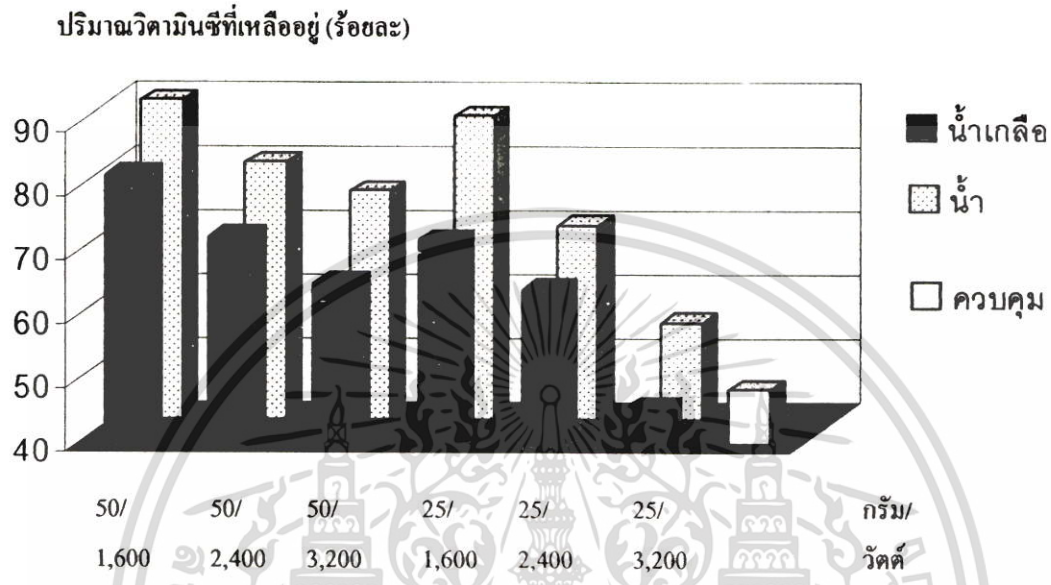
จากภาพที่ 4.7 พบว่า การทำงานเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ของแครอทที่ผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อกำลังวัตต์ของไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ทั้งในแครอทที่มีน้ำหนักเริ่มต้นที่ 25 และ 50 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแครอทที่แช่น้ำและแช่น้ำเกลือ การทำงานเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ของแครอทที่แช่น้ำแกลือจะน้อยกว่าแครอทที่แช่น้ำ แต่ความแตกต่างนี้จะพบน้อยในกำลังวัตต์ไมโครเวฟที่ระดับสูง



ภาพที่ 4.7 การทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (ร้อยละ) ที่เหลืออยู่ในแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.8 พบว่า แครอทหลังผ่านอุโมงค์ไมโครเวฟจะมีแนวโน้ม สูญเสียวิตามินซีเพิ่มขึ้น เมื่อกำลังวัตต์เพิ่มขึ้น ทั้งในน้ำหนักเริ่มต้นที่ 25 และ 50 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแครอทที่แช่น้ำและแช่น้ำเกลือ ปริมาณวิตามินซี ในแครอทที่แช่น้ำแกลือจะน้อยกว่าแครอทที่แช่น้ำ ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินซี จะมีความไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อน



ภาพที่ 4.8 ปริมาณวิตามินซี (ร้อยละ) ที่เหลืออยู่หลังผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่าการทำงานเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ ร่วมกับน้ำหนักของแครอทหลังผ่านไมโครเวฟ พบว่า ในแครอทที่น้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลวกคือ การแช่น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้ไมโครเวฟที่ 2,400 วัตต์ และการแช่น้ำนาน 3 นาที โดยใช้กำลังไมโครเวฟ 3,200 วัตต์ แต่จะพบว่าการแช่สารละลายเกลือสามารถลดกำลังวัตต์ของไมโครเวฟที่ใช้ในการลวกได้

ส่วนในแครอทที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 25 กรัม เมื่อพิจารณาการทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและน้ำหนักที่ลดลงหลังผ่านไมโครเวฟ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ การแช่น้ำเกลือความเข้มข้น ร้อยละ 3 นาน 3 นาที โดยใช้ไมโครเวฟกำลัง 1,600 วัตต์

แต่จากการพิจารณากำลังวัตต์เทียบกับน้ำหนักตัวอย่างแครอท จะพบว่า การใช้แครอทที่น้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม แช่น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3 นาน 3 นาที กำลังไมโครเวฟที่ 2,400 วัตต์ จะใช้พลังงานไมโครเวฟต่ำกว่า ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างแครอทที่สภาวะนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป อุโมงค์ไมโครเวฟกำลัง 2,400 วัตต์ นาน 2 นาที น้ำหนักของแครอทลดลง ร้อยละ 23.91 เนื่องจากน้ำถูกระเหยออกไป ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปทำแห้งขั้นต่อไป

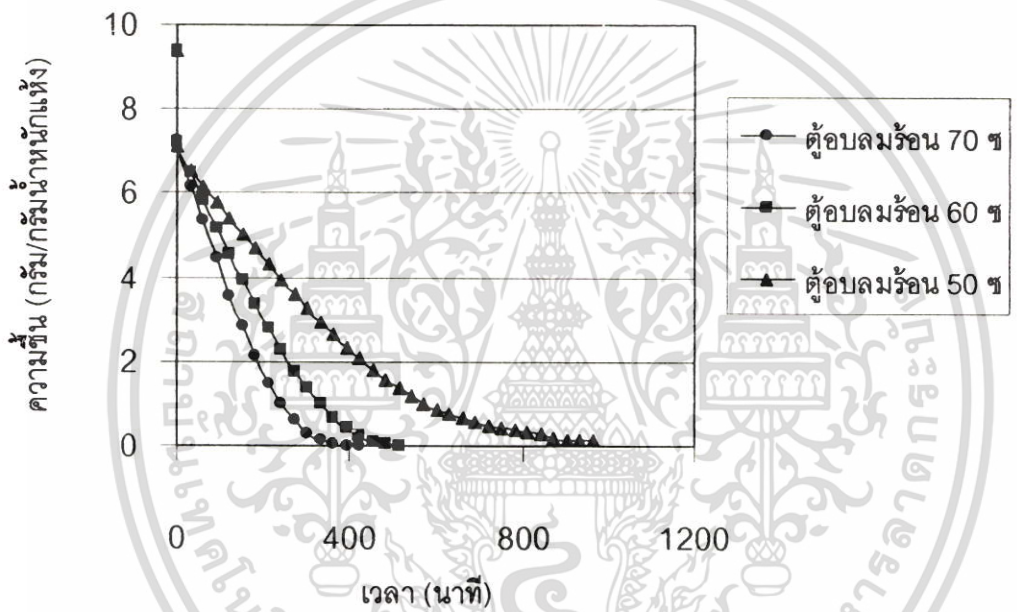
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การผลิตแครอทอบแห้งโดยประยุกต์ใช้อุโมงค์ไมโครเวฟ

4.3.1 การศึกษาหาอัตราการทำแห้งด้วยตู้อบ (Hot air oven) และอุโมงค์ไมโครเวฟ

4.3.1.1 การศึกษาอัตราการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 ° 60 ° และ 70 °ซ

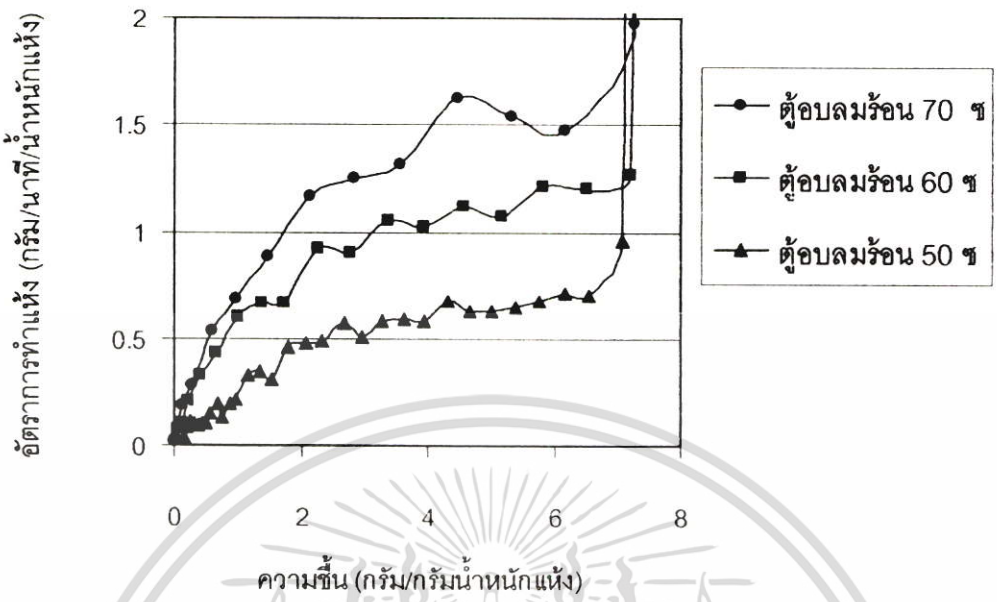
การอบแห้งแครอทโดยใช้ตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 50 ° 60 ° และ 70 °ซ จนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 8 มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแครอทในระหว่างการอบแห้ง แสดงผลแต่ละอุณหภูมิ ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งแครอทแบบลมร้อนอุณหภูมิ 50 ° 60° และ 70° ซ

จากภาพที่ 4.9 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60° และ 70 °ซ ใช้เวลาในการอบแห้งจนความชื้นเหลือประมาณ ร้อยละ 8 ในเวลาใกล้เคียงกัน คือใช้เวลา 8.5 และ 7.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ถึงแม้ว่าอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ จะมากกว่าที่ 60 °ซ ในช่วงแรกของการอบแห้ง (ภาพที่ 4.10) แต่ระยะเวลาในการอบแห้งรวมแตกต่างกันเพียง 1 ชั่วโมง ส่วนอัตราการอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 50 °ซ มีค่าต่ำที่สุด และใช้เวลาในการอบแห้งนานสุดที่ 15 ชั่วโมง จากข้อมูลข้างต้น จึงเลือกการอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นรูปแบบในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



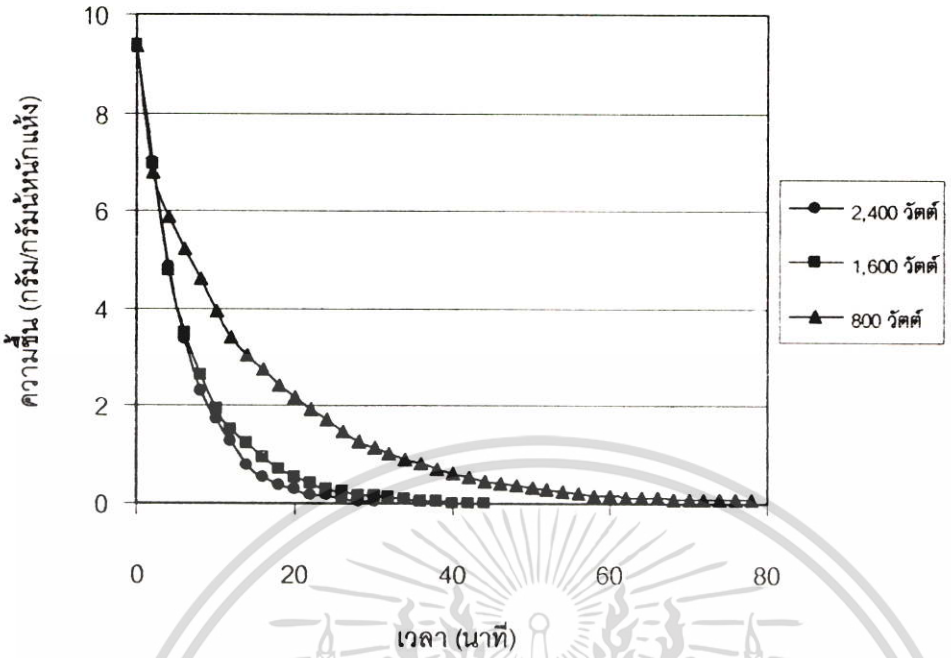
ภาพที่ 4.10 อัตราการทำแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 50° 60° และ 70° ซ

4.3.1.2 การศึกษาการทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลัง 800 1,600 และ 2,400 วัตต์

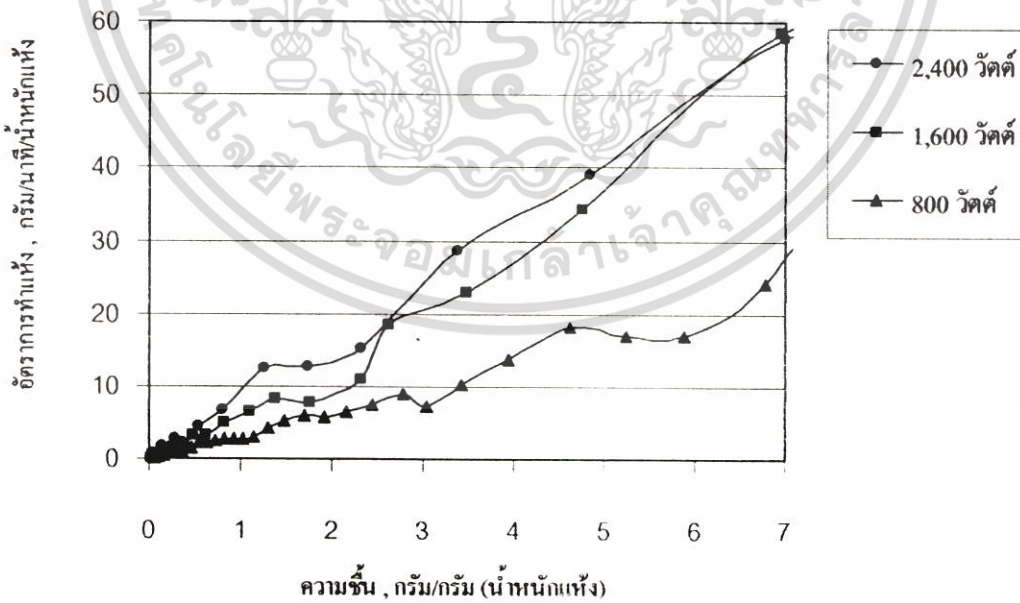
จากภาพที่ 4.11 การอบแห้งแครอท 50 กรัม ที่ผ่านการแช่น้ำเกลือความเข้มข้น ร้อยละ 3 นาน 3 นาที และลวกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟกำลัง 2,400 วัตต์ ความเร็ว 1.5 เมตรต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที พบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟกำลัง 800 1,600 และ 2,400 วัตต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งนาน 76 36 และ 28 นาที ตามลำดับ และจากภาพที่ 4.12 พบว่า ในช่วงแรกของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้น จะมีค่าอัตราการทำแห้งอยู่ระหว่าง 10 ถึง 60 กรัมน้ำต่อนาทีต่อน้ำหนักแห้งแครอท ในขณะที่อัตราการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จะมีค่าเพียง 0.5 ถึง 2 กรัมน้ำต่อนาทีต่อน้ำหนักแห้งแครอท

อัตราการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลัง 1,600 และ 2,400 วัตต์ มีค่าสูงใกล้เคียงกัน แต่แครอทที่ได้จะมีลักษณะแห้ง หดตัว และไหม้ เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงเลือกการอบแห้งแครอทโดยใช้ไมโครเวฟกำลัง 800 วัตต์ เป็นรูปแบบในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งแครอท ด้วยไมโครเวฟกำลัง 800 1,600 และ 2,400 วัตต์



ภาพที่ 4.12 อัตราการทำแห้งแครอทด้วยไมโครเวฟกำลัง 800 1,600 และ 2,400 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

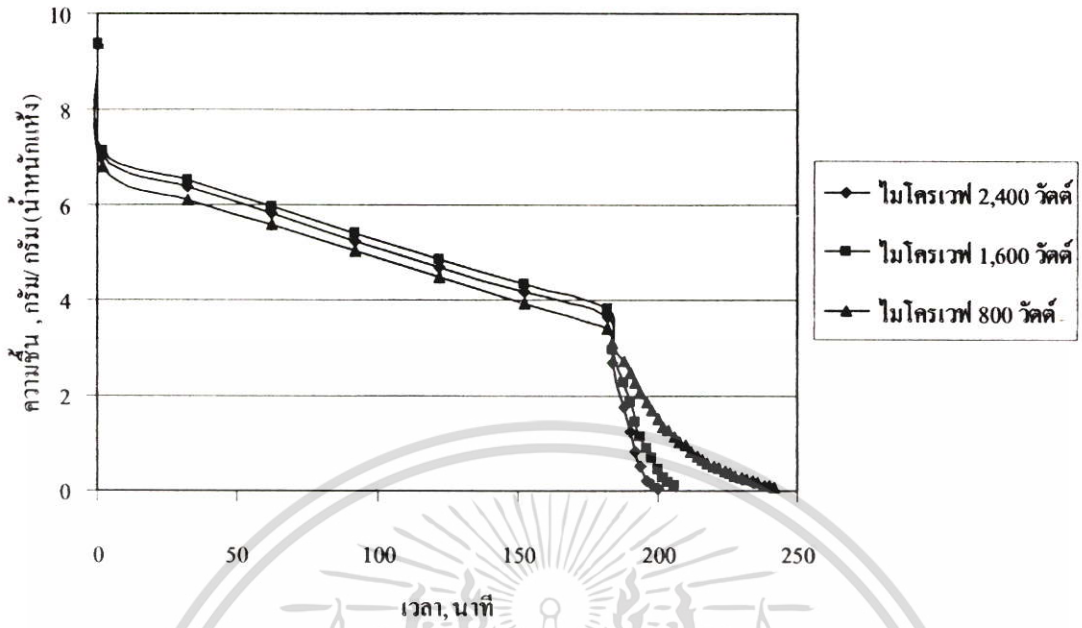
จากผลการทดลองหัวข้อ 4.3.1.1 การอบแห้งแครอทด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °ซ เวลาเริ่มต้นในเกิดอัตราการทำแห้งที่ลดลง (Falling rate period) อยู่ที่ 3 ชั่วโมง จึงนำเวลานี้มาทำการอบแห้งต่อด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลัง 2400, 1,600 และ 800 วัตต์ จากการทดลอง พบว่าในการทำแห้งให้เหลือความชื้นร้อยละ 8 จะใช้เวลานาน 200 210 และ 242 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 4.13) โดยพบว่า การใช้ไมโครเวฟที่กำลัง 2,400 และ 1,600 วัตต์ แครอทที่ได้จะมีลักษณะไหม้ และหดตัวเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ไมโครเวฟกำลัง 800 วัตต์ แครอทที่ได้จะมีรอยไหม้เพียงร้อยละ 20

อัตราการทำแห้งของแครอทด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60°ซ และต่อด้วยไมโครเวฟ (ภาพที่ 4.14) พบว่า ในช่วงของการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะมีอัตราการทำแห้งที่ต่ำ และจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงของการอบแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

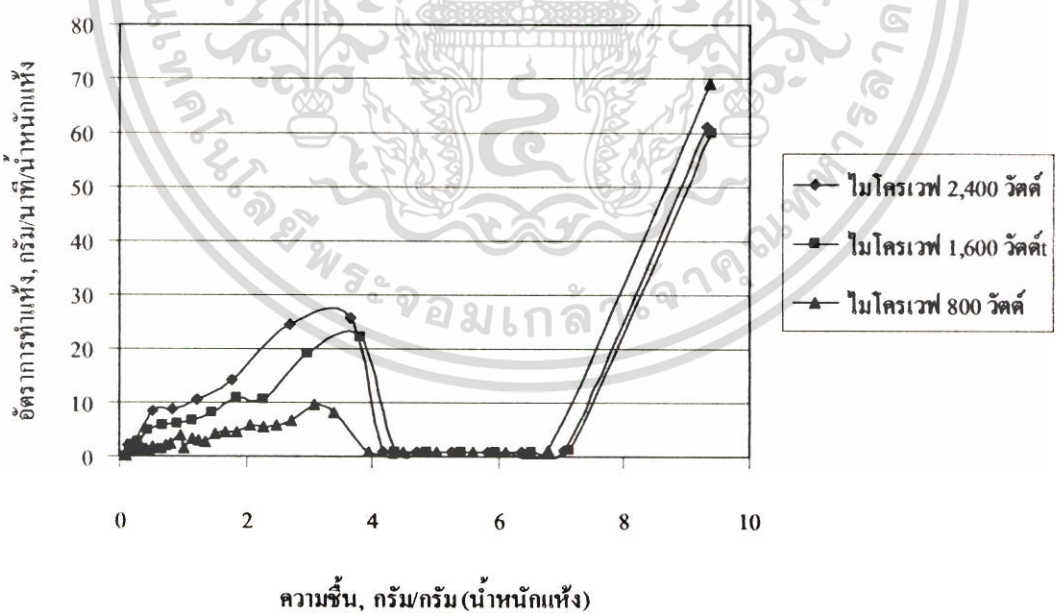
จากผลการทดลองหัวข้อ 4.3.1.2 การอบแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ พบว่า อัตราการทำแห้งลดต่ำลงเมื่อปริมาณน้ำในแครอทลดลง เพราะจะดูดซับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟได้ต่ำลง จึงเลือกเวลาที่ความชื้นต่ำเหลือ 1.29 กรัม/กรัมแครอท (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการทำแห้งลดลงจาก 4.21 มาเป็น 2.98 กรัมต่อนาทีต่อน้ำหนักแห้ง อยู่ที่ 30 นาที นำมาอบแห้งต่อด้วยตู้อบลมร้อนที่ 70° 60° และ 50 °ซ ใช้เวลาทั้งหมดที่ 182 197 และ 332 นาที ตามลำดับ (ภาพที่4.15) พบว่าแครอทที่ได้จะลักษณะใกล้เคียงกัน

อัตราการทำแห้งของแครอทที่อบแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ ต่อด้วยตู้อบลมร้อนที่ 70° 60° และ 50 °ซ (ภาพที่ 4.16) พบว่า ช่วงแรกของการอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟจะสูงมาก ปริมาณน้ำจะระเหยออกไปมาก จึงทำให้เมื่อนำมาอบแห้งต่อด้วยลมร้อนจึงใช้เวลาลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

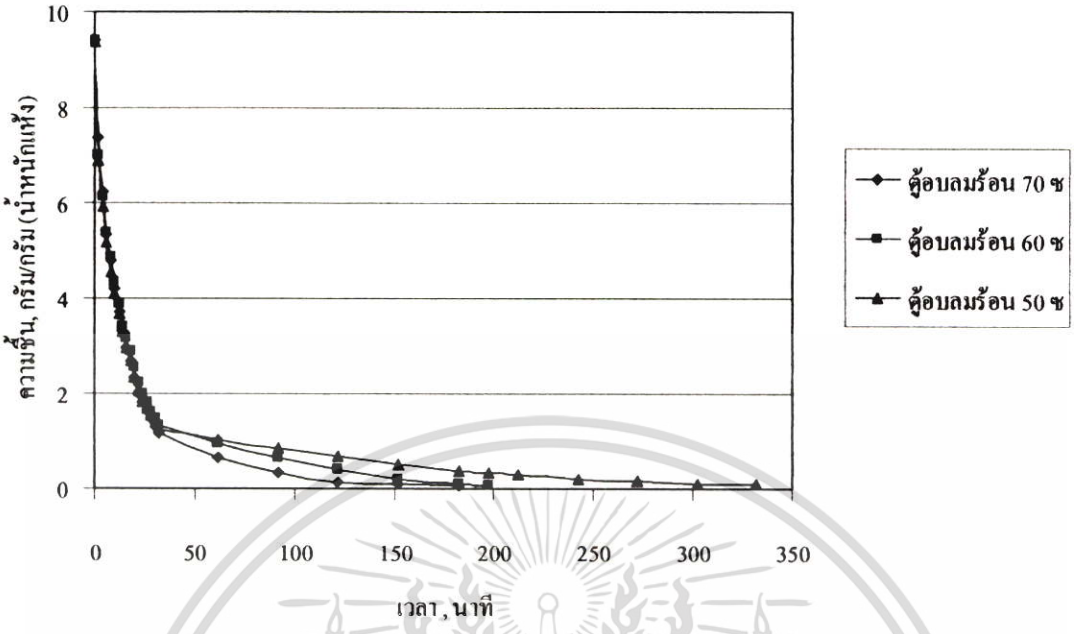


ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของแครอทระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 ° ซ ต่อด้วยไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ต่าง ๆ กัน

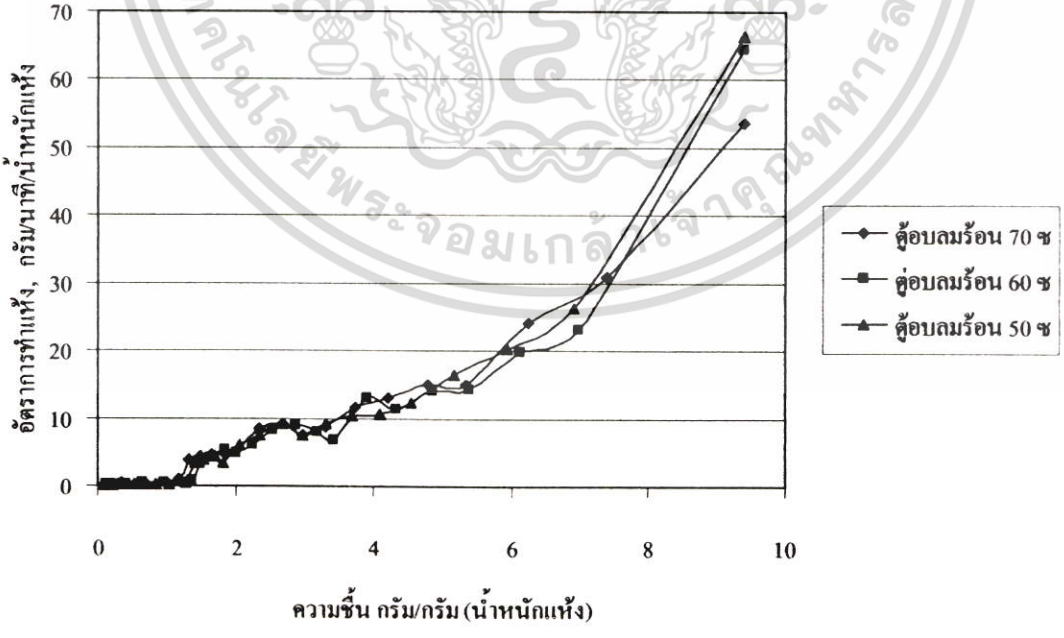


ภาพที่ 4.14 อัตราการทำแห้งแครอทด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 ° ซ ต่อด้วยไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของแครอทระหว่างการอบแห้งด้วย ไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 800 วัตต์ ต่อด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 4.16 อัตราการทำแห้งแครอทด้วยไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 800 วัตต์ ต่อด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 พบว่า กระบวนการที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ การอบแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์แล้วต่อด้วยตู้อบลมร้อนที่ 70 °ซ โดยใช้เวลา 182 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม (การอบแห้งแครอทที่ลวกด้วยน้ำร้อน แล้วอบด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ) ใช้เวลาถึง 632 นาที จะเห็นว่าวิธีการข้างต้นสามารถลดเวลาการอบแห้งได้ถึง ร้อยละ 71

เมื่อพิจารณาค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ และต่อด้วยไมโครเวฟที่กำลัง 2,400 และ 1,600 วัตต์ จะสูงกว่าสภาวะอื่น ๆ เนื่องจากการกระจายพลังงานความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้แครอทบางส่วนเกิดการไหม้ก่อนที่บางส่วนจะแห้ง จึงทำให้แครอทแห้งที่ได้จาก 2 สภาวะนี้จึงมีความชื้นมาก

ตารางที่ 4.3 เวลาในการอบแห้ง ปริมาณความชื้น และ a_w ของแครอท ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน

การทดลอง	เวลาในการอบแห้ง (นาที)	ปริมาณความชื้น	a_w
ตู้อบ 60 °ซ , ไมโครเวฟ 2,400 วัตต์	200	9.23 a	0.44 a
ตู้อบ 60 °ซ , ไมโครเวฟ 1,600 วัตต์	210	9.44 a	0.44 a
ตู้อบ 60 °ซ , ไมโครเวฟ 800 วัตต์	242	8.14 b	0.39 b
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 70 °ซ	182	7.78 b	0.37 b
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 60 °ซ	197	7.88 b	0.37 b
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 50 °ซ	332	8.17 b	0.39 b
ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 °ซ	632	7.98 b	0.38 b

หมายเหตุ - ค่าที่ได้จากตารางได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่า การเกิดรอยไหม้ในแครอทจากการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่มีกำลังวัตต์สูงๆ แครอทที่ได้จะมีรอยไหม้เป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ ข 1 และ ข 2 (ภาคผนวก) ส่วนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่มีกำลังวัตต์ต่ำ พบว่า แครอทที่ได้จะมีรอยไหม้เล็กน้อยถึงปานกลาง โดยคิดเป็นร้อยละ 20 (ภาพที่ ข 3 – ข 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การไหม้ของแครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน

การทดลอง	รอยไหม้ (ร้อยละ)	ระดับความไหม้ *			
		-	+	++	+++
ตู้อบ 60 ° ซ , ไมโครเวฟ 2,400 วัตต์	91.54 a	8.46	28.57	32.04	30.93
ตู้อบ 60 ° ซ , ไมโครเวฟ 1,600 วัตต์	79.84 b	20.16	31.19	42.86	5.79
ตู้อบ 60 ° ซ , ไมโครเวฟ 800 วัตต์	22.73 c	77.27	22.73	-	-
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 70 ° ซ	24.92 c	75.08	15.40	9.52	-
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 60 ° ซ	24.56 c	75.44	16.77	7.79	-
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 50 ° ซ	24.68 c	75.32	17.54	7.14	-
ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 ° ซ	0.00 d	100	-	-	-

หมายเหตุ - ค่าที่ได้จากตารางได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* - หมายถึง จำนวนร้อยละที่ไม่มีรอยไหม้

\+ หมายถึง จำนวนร้อยละที่มีรอยไหม้เล็กน้อย

++ หมายถึง จำนวนร้อยละที่มีรอยไหม้ปานกลาง

+++ หมายถึง จำนวนร้อยละที่มีรอยไหม้มาก

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่า L* a* b* ของแครอทที่อบแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน และ ตัวควบคุม (ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 ° ซ) จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ค่า b* ของแครอทอบแห้งจะมีค่าระหว่าง 26 - 28 และ แครอทคืนรูป มีค่า 36 - 38 โดย พบว่า ค่า b* เพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากเกิดการทำลายแคโรทีนในระหว่างการต้มทำให้แครอทมีสีส้มที่อ่อนลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่า L* a* b* ของแครอทแห้ง และแครอทคืนรูป ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน

การทดลอง	ระยะเวลาในการคืนรูป			
	แครอทแห้ง	2 นาที	6 นาที	10 นาที
		ค่า L*		
ตู้อบ 60 ° ซ, ไมโครเวฟ 2,400 วัตต์	36.42 aA	36.57 aA	37.77 aA	37.85 aA
ตู้อบ 60 ° ซ, ไมโครเวฟ 1,600 วัตต์	36.02 aA	37.21 aA	37.67 aA	37.65 aA
ตู้อบ 60 ° ซ , ไมโครเวฟ 800 วัตต์	37.46 aA	38.98 aA	39.17 aA	39.33 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 70 ° ซ	36.96 aA	37.75 aA	38.65 aA	38.56 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 60 ° ซ	37.12 aA	38.12 aA	38.44 aA	38.82 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 50 ° ซ	37.24 aA	38.17 aA	39.11 aA	39.13 aA
ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 ° ซ	37.02 aA	38.68 aA	39.52 aA	39.84 aA
		ค่า a*		
ตู้อบ 60 ° ซ, ไมโครเวฟ 2,400 วัตต์	26.12 aA	26.84 aA	25.43 aA	24.19 aA
ตู้อบ 60 ° ซ, ไมโครเวฟ 1,600 วัตต์	26.16 aA	26.48 aA	25.87 aA	24.53 aA
ตู้อบ 60 ° ซ, ไมโครเวฟ 800 วัตต์	27.24 aA	28.05 aA	27.45 aA	26.6 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 70 ° ซ	26.87 aA	26.88 aA	26.46 aA	26.22 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 60 ° ซ	27.08 aA	27.21 aA	25.85 aA	25.87 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 50 ° ซ	26.85 aA	27.54 aA	26.27 aA	25.63 aA
ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 ° ซ	26.56 aA	27.33 aA	26.91 aA	26.13 aA
		ค่า b*		
ตู้อบ 60 ° ซ , ไมโครเวฟ 2,400 วัตต์	26.83aB	34.52 aA	35.58 aA	36.89 aA
ตู้อบ 60 ° ซ , ไมโครเวฟ 1,600 วัตต์	26.72 aB	34.01 aA	35.92 aA	36.43 aA
ตู้อบ 60 ° ซ , ไมโครเวฟ 800 วัตต์	26.45 aC	35.08 aB	37.67 aA	38.04 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 70 ° ซ	28.89 aC	35.4 aB	38.24 aA	38.15 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 60 ° ซ	28.09 aB	35.53 aA	37.23 aA	38.02 aA
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 50 ° ซ	27.99 aB	37.01 aA	38.18 aA	38.21 aA
ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 ° ซ	28.32 aC	35.85 aB	37.27 aAB	38.41 aA

หมายเหตุ - ค่าที่ได้จากตารางได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง(ตัวอักษรพิมพ์เล็ก)หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน(ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่)หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ ของการประยุกต์ใช้อุโมงค์ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน จะมีค่ามากกว่าตัวควบคุม (ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 $^{\circ}$ ซ) ยกเว้นในไมโครเวฟที่กำลัง 2,400 และ 1,600 วัตต์ เนื่องจากวิตามิน ซี จะถูกทำลายที่ความร้อนสูง และการสัมผัสกับความร้อนเป็นระยะเวลานาน (Esteve *et al.*, 1998)

ตารางที่ 4.6 วิตามินซีในแครอทหลังการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน

การทดลอง	ปริมาณวิตามินซี (ร้อยละ)
ตู้อบ 60 $^{\circ}$ ซ , ไมโครเวฟ 2,400 วัตต์	10.36 $\pm$ 2.01 c
ตู้อบ 60 $^{\circ}$ ซ , ไมโครเวฟ 1,600 วัตต์	14.62 $\pm$ 2.56 b
ตู้อบ 60 $^{\circ}$ ซ , ไมโครเวฟ 800 วัตต์	31.21 $\pm$ 3.03 a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 70 $^{\circ}$ ซ	32.46 $\pm$ 3.17 a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 60 $^{\circ}$ ซ	33.35 $\pm$ 2.83 a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 50 $^{\circ}$ ซ	29.63 $\pm$ 2.97 a
ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 $^{\circ}$ ซ	18.69 $\pm$ 2.53 b

หมายเหตุ - ค่าที่ได้จากตารางได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ในช่วงแรกของการดูดคืนน้ำ (2 นาที) แครอทที่อบแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนจะไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นที่กำลังไมโครเวฟ 2,400 และ 1,600 วัตต์ แต่จะมากกว่าตัวควบคุม (ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 $^{\circ}$ ซ) เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งของตัวควบคุมนาน ทำให้แครอท อบแห้งเกิดการหดมาก จึงคืนรูปได้ช้า แต่ที่ระยะเวลานานออกไป (6 และ 10 นาที) จะไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนในแครอทอบแห้งที่ใช้ไมโครเวฟกำลัง 2,400 และ 1,600 วัตต์ จะน้อยกว่ากระบวนการอื่นๆ เนื่องจากกำลังไมโครเวฟที่รุนแรงทำให้แครอทอบแห้งโครงสร้างเสียสภาพไปจึงทำให้คืนรูปได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าอัตราส่วนการดูดซึมน้ำของแครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ กัน

การทดลอง	ระยะเวลาในการคืนรูป		
	2 นาที	6 นาที	10 นาที
ตู้อบ 60 °ซ , ไมโครเวฟ 2,400 วัตต์	2.46 ± 0.28 b	3.88 ± 0.16 b	4.83 ± 0.19 b
ตู้อบ 60 °ซ , ไมโครเวฟ 1,600 วัตต์	2.41 ± 0.15 b	4.07 ± 0.27 b	5.09 ± 0.28 b
ตู้อบ 60 °ซ , ไมโครเวฟ 800 วัตต์	3.13 ± 0.14 a	4.81 ± 0.32 a	6.27 ± 0.15 a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 70 °ซ	3.11 ± 0.22 a	5.22 ± 0.17 a	6.52 ± 0.38 a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 60 °ซ	3.08 ± 0.31 a	5.04 ± 0.21 a	6.45 ± 0.27 a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์, ตู้อบ 50 °ซ	3.11 ± 0.17 a	5.05 ± 0.35 a	6.30 ± 0.12 a
ลวกน้ำร้อน , ตู้อบ 60 °ซ	2.65 ± 0.10 b	4.79 ± 0.42 a	6.63 ± 0.26 a

หมายเหตุ - ค่าที่ได้จากตารางได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ธงชัย สุวรรณสิชณน์. 2535. **การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดพรีเจลาติไนส์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิไล รังสาดทอง. 2545. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2 บริษัท เท็กส์ แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชั่น จากัด กรุงเทพฯ. 506 หน้า.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2537. **เคมีอาหาร**. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. **กรรมวิธีการอบแห้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สมพร ทรัพยสาร. 2534. แครอท. **เกษตรก้าวหน้า**. (1) :1 - 9.

อนุกูล วัฒนสุข และ โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. 2543. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรไท สุขเจริญ. 2539. **วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่1. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อัศวิน ชินธรรมมิตร์. 2546. **การพัฒนากรรมวิธีการอบแห้งแครอทและเนื้อไก่โดยการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AOAC. 1990. **Official Method of Analysis**. 15 th ed. The Association of Official Analytical Chemists , Arlington, Virginia.

Anonymous. 1986. **Vegetable Drying**. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi, Bangkok.

Bottcher H. 1975. On the Question of Enzyme Activity and Quality of Frozen Vegetables. I. Remaining Residual Activity of Peroxidase. **Die Nahrung**. 19(2) 173-179.

Canovas, G.V. and Mercado, H. 1996. **Dehydration of Food**. 1 st ed., Chapman & Hall, New York.

Chan Jr, H.T. and Cavaletto, C.G.. 1978. "Dehydration and Storage Stability of Papaya Leather". **J. Food Sci**. 43: 1723-1725

Che Man, Y.B., Jaswir, I. Yosof, S. Selamat, J. and H. Sugisawa. 1997. "Effect of Different Dryers and Drying Conditions on Acceptability and Physio-chemical Characteristics of Durian Leather." **J. Food Proc. Pres**. 21: 425-441.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connie M. Weaver, James R. Daniel. 2003. **The Food Chemistry Laboratory : A Manual for Experimental Foods, Dietetics, and Food Scientists.** Second edition. Boca Raton : 92-94.

Decareau, R.V. 1992. **Microwave Foods : New Product Development.** Food and Nutrition. Press, Inc., Conecticut..

Devece C., Rodriguez-Lopez J.N., Frnoll G.L., Tudela J., Catala J.M., Reyes, E.D.L and Garcia-Canovas F. 1999. "Enzyme Inactivation Analysis for Industrial Blanching Applications: Comparitions of Microwave, Conventional and Combination Heat Treatments on Mushroom Polyphenoloxidase Activity." **J. Agri Food Chem.** 47: 4506 - 4511.

Esteve, M. J., Frigola, A., Martorell, L. and Rodrigo, C. 1998. "Kinetics of Ascorbic Acid Degradation in Green Asparagus during Heat Processing." **J. Food Prot**. 61: 1518 1521

Fenebo, T., Ahrne L., Kidman, S,. Langton, M. and Skjodebrand C. 2000. "Microwave Heat Treatment of Apple before Air Dehydration - Effects on Physical Properties and Micro Structure." **J. Food Eng.** 49: 173 -182.

Hasted, J.B., Ritson, D.M. and Colie, C.H. 1988. "Dielectric Properties of Ionic Solutions part I, II." **J.Chem. Phys**. 16: 244-248.

Hodge, J.E. 1953. "Dehydrate Foods: Chemistry of Browning Reaction in Model System. **J. Agr.Food Chem.**" 1: 928 - 943.

Khraisheh, M.A.M., McMinn, W.A.M., and Magee, T.R.A. 2000. "A Multiple Regression Approach to Combined Microwave and Air Drying Process." **J. Food Eng.** 43: 243-250.

Kim,Y.H.,and Yoo,Y.J. 1996. "Peroxidase Production from Carrot Hairy Root Cell Culture." **Enzyme and Microbial Technology.** 18: 531 - 535.

Krokida,M.K., Kiranoudis C.T., Mamroulis Z.B. and Marinos-Kouris, D. 2000. "Effect of Pretreatment on Color of Dehydrated Products." **Drying Tech.** 18: 1239 –1250.

Lin T.M., Durance T.D. and Scaman C.H. 1998. "Characterization of Vacuum Microwave, Air and Freeze Dried Carrot Slices." **Food Res. Int.** 31: 111-117.

Matinez, M.V. and Whitaker, J.R. 1995. "The Biochemistry and Control of Enzymatic Browning." **Trends Food Sci. Technol**. 6: 195-200.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maskan M. 2000. "Microwave/Air and Microwave Finish Drying of Banana." **J. Food Eng.** 44: 71 - 78.

Marshall M. R., Jeongmok, K. and Wei C. "Enzymatic Browning in Fruits, Vegetable and Seafoods." [Online]. Availaable : www.fao.org/ag/ags/agsi/ ENZYMEFINAL/ Enzymatic%20Browning.html. 2000.

Mauron, J. 1989. Browning Reaction Products and Food Quality, *In* M.R. Raghavendra, N. Chandrasekhara and K.A. Ranganath(eds.). **Trends in Food Science and Technology**. Sharada Press, India. 667 - 683.

Min Zhang, Zhen-Hua Duan, Jian- Feng Zhang and Jian Peng. 2004. "Effect of Freezing Conditions on Quality of Areca Fruits." **J. of Food Engineering.** 61:393 – 397.

Monica Ihl., Marta Monsalves and Valerio Bifani. 1998. "Chlorophyllase Inactivation as a Measure of Blanching Efficacy and Colour Retention of Artichokes (*Cynara scolymus L.*)." **J. Lebensm-Wiss u. Technology.** 31: 50-56.

Pappas, C., Tsami, E. and Marinos-Kouris. 1999. "The Effect of Process Conditions on the Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Some MW-Vacuum Dehydrate Fruits." **Drying Tech.** 17:157 – 174.

Ponne C.T., Batsal T. and Yuksel D. 1994. "Blanching Leafy Vegetables with Electromagnetic Energy." **J. of Food Sci.** 59 (5) : 1037 - 1041.

Ramesh M.N., Wolf W., Tevini D. and Bognar A. 2002. "Microwave Blanching of Vegetables." **J. of Food Sci.** 67: 390 - 398.

Ramos, A.Q., Bourne ,M.C. and Morales, A.A. 1992. "Texture and Rehydration of Dehydrated Carrots as Affected by Low Temperature Blanching." **J. Food Sci.** 57:1127 - 1128, 1139.

Ranganna, S. 1986. **Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products.** Second edition. Tata McGraw - Hill Publishing Company Limited New Delhi : 95 - 101 P.

Ren G. and Chen F. 1998. "Drying of American Ginseng (*Panex quinquefolium*) Roots by Microwave - Hot Air Combination." **J. Food Eng.** 35: 433 - 443.

Schadle, E.R. Burns, E.E. and Talley, L.J. 1983. "Force Air Drying of Partially Freeze Dried Compressed Carrot Bars." **J. Food Sci.** 48 : 193 - 196.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shamaila, M., Durance, T., and Girard, B. 1996. "Water Blanching Effects on Headspace Volatiles and Sensory Attributes of Carrots." **J. Food Sci.** 61:1191-1195.

Svensson, S. 1997. Inactivation of Enzymes During Thermal Processing. *In* T.Hoyem & O. Kvale (eds.). **Physical, Chemical, and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing.**Applied Science Publishers, London. 667 - 683.

Thomson, H.C. and Kelly, W.C. 1975. **Vegetable Crops.** 5 th ed., McGrawHill, New York.

Wang, N. and Brennan, J.G. 1995. "Changes in Structure, Density and Porosity of Potato during Dehydration." **J. Food Eng**. 24: 61 - 76.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1.1 วิธีการวิเคราะห์

อบจานอลูมิเนียมในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100° – 102 °ซ นาน 6 ชั่วโมง นำมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ใส่ในภาชนะหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน ประมาณ 2 - 5 กรัม แล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนที่ อุณหภูมิ 100° – 102 °ซ นาน 16-18 ชั่วโมง นำมาใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำตัวอย่างไปอบซ้ำอีกครั้งเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่

1.2 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{(W2 - W3)}{(W2 - W1)} \times 100$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียม หน่วยเป็นกรัม

W2 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบ หน่วยเป็นกรัม

W3 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบ หน่วยเป็นกรัม

2. การวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

หาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ โดยใช้เครื่อง Navasina รุ่น Thermoconstanter โดยนำตัวอย่างใส่ตลับพลาสติก (Sample cup) นำไปวัดระดับวอเตอร์แอคติวิตี้ โดยวางถ้วยพลาสติกใน chamber ของเครื่องวัด และปิดฝา ทิ้งไว้จนสภาพภายใน chamber สมดุล โดยค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ต่างกันไม่เกิน 0.01 เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °ซ จึงอ่านค่าระดับวอเตอร์แอคติวิตี้ที่แสดงบนเครื่องวัด

ภาพ ก 1 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดอัตราค่าการดูดน้ำคืน (ดัดแปลงจาก Schadle *et al.*, 1983)

นำแครอทที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 4 – 5 กรัม มาใส่น้ำที่ต้มเดือดตลอดเวลา ปริมาตร 150 มิลลิลิตร นาน 2 6 และ 10 นาที จากนั้นมาใส่ตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำ นาน 2 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนไว้

$$\text{อัตราการดูดน้ำคืน} = \frac{\text{น้ำหนักแครอทคืนรูป}}{\text{น้ำหนักแครอทแห้ง}}$$

4. การวิเคราะห์วิตามินซี (Rangana, 1986)

4.1 วิธีเตรียม Dye solution

ละลาย 2,6-dichlorophenol-indophenol dye 100 มิลลิกรัม และ sodium bicarnonate 84 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นร้อน (85° - 95° ซ) ทำให้เย็น แล้วทำให้ปริมาตรรวมเป็น 100 มิลลิลิตร กรองดูดเอาส่วนใสมา 25 มิลลิลิตร และทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น จนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

4.2 วิธีเตรียม Standard ascorbic acid solution

ชั่งสาร โดยละเอียด ประมาณ 100 มิลลิกรัม ละลายในสารละลาย 2 % HPO_3 จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ดูดเอาส่วนใสมา 4 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลาย 2 % HPO_3 จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (1 มิลลิลิตร = 40 ไมโครกรัมกรดแอสคอบิค)

4.3 วิธีเตรียมตัวอย่าง

ชั่งแครอทมา 5 - 10 กรัม นำไปปั่นกับสารละลาย 6 % HPO_3 ในน้ำหนักเท่ากับตัวอย่าง หลังจากนั้นทำให้ปริมาตรของแข็งผสมเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย 2 % HPO_3

4.4 การทำ Standard Curve

1. ดูดสารละลาย ascorbic acid มาตรฐาน 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้วสะอาด

2. เติม2 % HPO_3 จนได้ปริมาตรในหลอดแก้วเป็น 5 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลาย Dye อย่างรวดเร็ว เขย่าหลอด แล้วรีบนำสารละลายสีแดงที่เกิดขึ้นไปอ่านค่า การดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร ภายในเวลา 15 – 20 วินาที โดยปรับให้เครื่อง spectrophotometer อ่านค่า 100 % T เมื่อวัดสารละลาย blank ที่เตรียมได้จาก 2 % HPO_3 5 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 ถึง 3 แต่ใช้สารละลายแอสคอบิคมาตรฐาน 2 2.5 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. plot ค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของกรดแอสคอบิค

6. ดูดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ จำนวน 5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Dye 10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลาย แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง เช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน

7. อ่านค่าความเข้มข้นของกรดแอสคอบิค ในหลอดตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

8. คำนวนปริมาณกรดแอสคอบิค ในตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ได้จากสมการข้างล่างนี้

มิลลิลิตร กรดแอสคอบิค = $\frac{\text{ปริมาณกรดแอสคอบิคในหลอดตัวอย่าง x ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง x 100}}{\text{มิลลิลิตรของสารละลายตัวอย่าง x 1000 x น้ำหนักที่ใช้ของตัวอย่าง}}$

ต่อตัวอย่าง 100 กรัม

5. การวิเคราะห์คลอไรด์ (AOAC 1990)

5.1 วิธีเตรียม Silver Nitrate 0.08 N

ชั่ง $AgNO_3$ 14.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 1ลิตร นำไป Standardized ด้วยสารละลาย sodium chloride ที่มีสาร 0.500 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร (1 มิลลิลิตรของ silver nitrate จะเท่ากับ 1 มิลลิลิตรของ sodium chloride)

5.2 วิธีเตรียม Ammonium Thiocyanate

ชั่ง NH_4SCN 6.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 1 ลิตร นำสารละลายไป Standardized ด้วย Silver Nitrate ที่ทราบปริมาตรแน่นอน (50 มิลลิลิตร) โดยใช้ Ferric Indicator จำนวน 2 มิลลิลิตร หยดในสารละลานก่อนการไตเตรท จนได้สารละลายสีส้มอ่อน (pale rose)

5.3 วิธีเตรียม Ferric Indicator

ละลาย Ferric ammonium sulfate 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติม 6 มิลลิลิตรของ HNO_3 (1 : 9) ทำให้สารละลายสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

5.5 วิธีวิเคราะห์คลอไรด์

1. บดตัวอย่างด้วยเครื่องบดไฟฟ้า ผสมตัวอย่างเข้ากันดีหลังจากบด ควรระวังการแยกตัวของน้ำหรือของเหลวในตัวอย่างหากบดนานเกินไป

2. ชั่งตัวอย่างบดแล้ว 5 กรัม

3. เทตัวอย่างลงใน Erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรเล็กน้อย และสารละลาย Silver Nitrate 30 มิลลิลิตร เพื่อตกตะกอนคลอไรด์ และเพื่อให้มี Silver Nitrate มากเกินพอเล็กน้อย

4. เติม Nitric acid 20 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยกรวยแก้ว ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

condenser นำไปต้มบน hotplate อย่างช้า ๆ นาน 15 – 30 นาที จนส่วนที่เป็นของแข็งละลายมากที่สุด

5. ทำให้ของผสมเย็นก่อนเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร ของ Ferric Indicator
6. นำไปไตเตรทกับ Thiocyanate solution จนได้สารละลายสีน้ำตาลอ่อนพร้อมตะกอน
7. คำนวณปริมาตรของ Silver Nitrate ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับปริมาตรของ Thiocyanate ที่ใช้
8. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรแทนตัวอย่าง

6. การวิเคราะห์เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Kim, Y.H. and Yoo, Y.J., 1996)

6.1 สารเคมี

1. 15 mM 2-methoxyphenol (guaiacol)
2. 3 mM Hydrogen peroxide
3. 0.1 phosphate buffer

6.2 วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 10-15 กรัม ผสมกับ 30 มิลลิลิตร ของ 0.1 phosphate buffer นำมาบดปั่นด้วยเครื่องปั่น 1 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4

2. นำสารละลายที่ได้ 1 มิลลิลิตรผสมกับ 1 มิลลิลิตรของ 15 mM 2-methoxyphenol (guaiacol) และ 1 มิลลิลิตรของ 3 mM Hydrogen peroxide

3. นำไปวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 470 นาโนเมตร ภายใน 1 นาที โดยใชสารละลาย 0.1 phosphate buffer เป็น blank

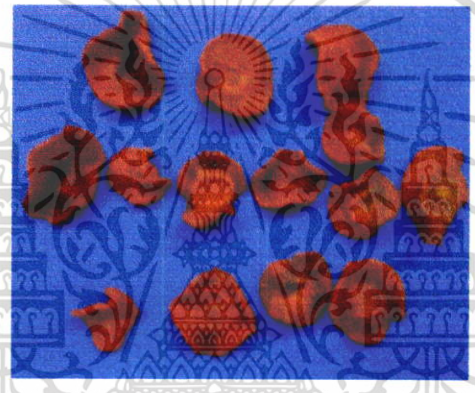
4. นำค่าที่ได้ไปคิดเทียบกับกับค่าของตัวอย่างสด เป็นร้อยละของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข 1 แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ ต่อด้วยอบด้วยไมโครเวฟ 2,400 วัตต์



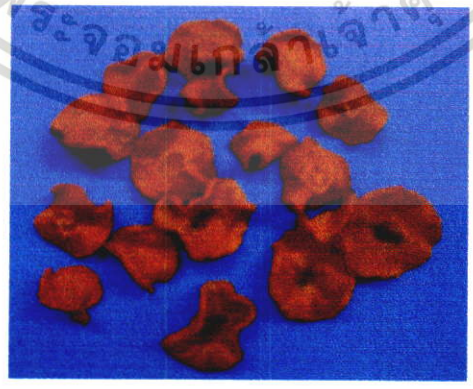
ภาพที่ ข 2 แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ ต่อด้วยอบด้วยไมโครเวฟ 1,600 วัตต์

ภาพที่ ข 3 แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ ต่อด้วยอบด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

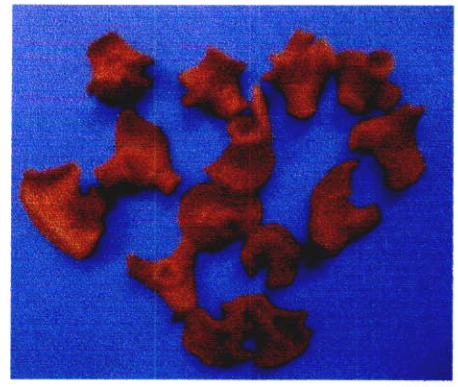
ภาพที่ ข 4 แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 70 °ซ

ภาพที่ ข 5 แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 60 °ซ

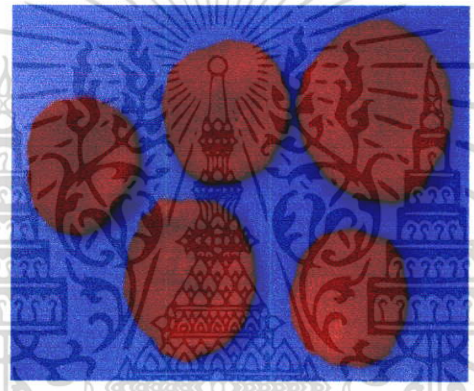


ภาพที่ ข 6 แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 50 °ซ

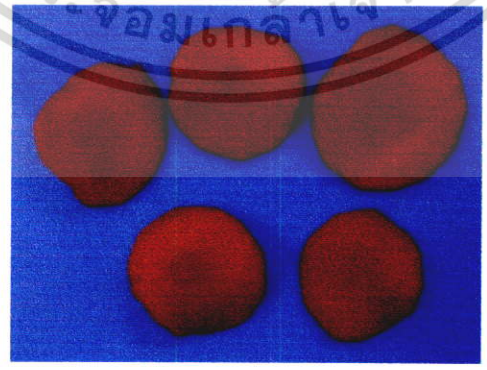
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข 7 แครอทที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน และอบด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ



ภาพที่ ข 8 แครอท (อบแห้งด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ต่อด้วย ตู้อบลมร้อน 60 °ซ) หลังการคืนตัวด้วยน้ำร้อน 6 นาที

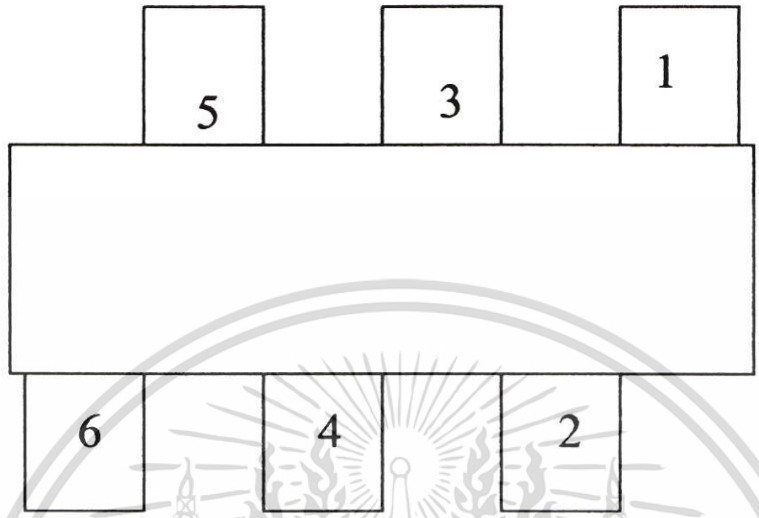


ภาพที่ ข 9 แครอท (ลวกด้วยน้ำร้อน และ อบด้วยตู้อบลมร้อน 60 °ซ) หลังการคืนตัวด้วยน้ำร้อน 6 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค 1 แผนภาพอุโมงค์ไมโครเวฟ

อุโมงค์ไมโครเวฟ (Microwave Tunnel) ความยาว 3 เมตร
ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ซ กำลัง 4,800 วัตต์ โดยใช้ไมโครเวฟ 6 แมกเนตรอน
เป็นลักษณะสายพานแบบต่อเนื่อง (conveyer) ปรับระดับความเร็วได้ 1.5-6 เมตร/นาที

การปรับระดับกำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง

1. **กำลัง 800 วัตต์ ใช้หัวเบอร์ 3**
2. **กำลัง 1,600 วัตต์ ใช้หัวเบอร์ 2 และ 5**
3. **กำลัง 2,400 วัตต์ ใช้หัวเบอร์ 1, 3 และ 5**
4. **กำลัง 3,200 วัตต์ ใช้หัวเบอร์ 1, 3, 4 และ 6**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายศารกิจ โรจน์วัฒนเมธี เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2520 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา เภสัชศาสตร์บัณฑิต (ภ.บ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2542 จากนั้นเข้ารับราชการที่ สาธารณสุขจังหวัดอำนาจเจริญ จนถึง พ.ศ. 2543 และย้ายมาประจำ โรงพยาบาลหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี จนถึง พ.ศ. 2544 ใน พ.ศ. 2545 เข้าศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วท.ม) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้