

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิลมร้อนต่อการทำแห้งและคุณภาพของผักหวานผง

**Effect of Different Pretreatments and Air Temperatures on Drying and
Quality Characteristics of Sauropus Androgynus Merr.**



เกษณี
จารุรัตน์
ชัยวัฒน์
มานะโรจน์กิจ
จตุระเสน
สุทธิทธิผล

ปก.
๑๗๙๑๗
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83036
วัน,เดือน,ปี..... ๓๑ ก.ค. ๒๕๕๑

b. 11961065
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิลมร้อนต่อการทำแห้งและคุณภาพของผักหวานผง

Effect of Different Pretreatments and Air Temperatures on Drying and

Quality Characteristics of Sauropus Androgynus Merr.



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิลมร้อนต่อการทำแห้งและคุณภาพของผักหวานผง

Effect of Different Pretreatments and Air Temperatures on Drying and

Quality Characteristics of Sauropus Androgynus Merr.

ผู้จัดทำ

1. นางสาวเกษณี มานะโรจน์กิจ รหัสนักศึกษา 47010059
2. นางสาวจรรรัตน์ อุดะเสน รหัสนักศึกษา 47010098
3. นายชัยวัฒน์ อุตติพิผล รหัสนักศึกษา 47010171



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องทิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิความร้อนต่อการทำแห้งและ
คุณภาพของผักหวานผง

นักศึกษา นางสาวเกษณี มานะโรจน์กิจ
นางสาวจรรรัตน์ รุตะเสน
นายชัยวัฒน์ กุสทิทธิผล

**อาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญานิพนธ์** ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องทิพัฒน์พงศ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิความร้อนต่อการทำแห้ง และ คุณภาพของผักหวานผง ข้อมูลการทดลองถูกนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การทำแห้งผักหวาน การศึกษาเริ่มจากขั้นตอนการปรับสภาพผักหวานก่อนการทำแห้งด้วยวิธี 1) การล้างด้วยน้ำธรรมดา 2) การลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที และ 3) การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 28 กิโลเฮิร์ต อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ระดับอุณหภูมิในการให้ความร้อน 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลที่ได้นำมาวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายผลของตัวแปรต่ออัตราการทำแห้งผักหวาน จากการศึกษาพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จาก สมการของ Newton สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีกว่าสมการของ Page นอกจากนี้ การวิเคราะห์คุณภาพของผักหวานแห้งพบว่า การปรับสภาพก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการลวก การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งต่างมีผลต่อค่า การเปลี่ยนแปลงของค่าสี และปริมาณสาร โพลีฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญ

Report Title **Effect of Different Pretreatments and Air Temperatures on Drying and Quality Characteristics of Sauropus Androgynus Merr.**

Student **Miss Kasanee Manarokij**
Miss Jarurat Jutasan
Mr.Chaiwat Khoosithiphon

Advisor **Assistant Professor Dr.Maradee Phongpipatpong**

Report for **Bachelor Degree in Food Engineering**
Department of Food Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

In this study the effect of different pretreatments and air temperatures on drying and quality characteristics of *Sauropus Androgynus Merr* was investigated. The pretreatment included 1) no pretreatment (control), 2) blanch with hot water (100°C for 15 second), and 3) ultrasonic 28 kHz (water 25 °C for 15 minute) and followed by drying with hot air at temperature 45 55 and 65 °C. The drying data were analyzed using regression technique to determine parameters of drying rate. The study showed that Newton's model provided a better fit to the experimental result than Page's model. In addition, pretreatment methods by blanching, sonication and air temperature have significant effect on product color and polyphenol contents of the dried product.

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากคณาจารย์และบุคลากรทุกฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

ผศ.ดร. มาฤติ ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเป็นผู้ที่สำคัญที่สุด ในการให้คำปรึกษา และคำแนะนำตลอดจนติดตามผลงานด้วยความเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด อีกทั้งยังเป็นผู้ให้ความกรุณาและไว้วางใจในการใช้ห้องปฏิบัติการล่วงหน้าเพื่อทำงานวิจัย

อาจารย์มธุรดา จิโนรส ผู้ให้คำแนะนำในเรื่องการวัดค่าสี เป็นอย่างดี

คณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ทุกท่านที่ช่วยกรุณาแก้ไขข้อข้องใจในปัญหาต่างๆทางวิชาการให้ได้รับความกระจ่าง

อาจารย์กฤษณา วงษ์กระจ่าง นักวิจัยสถาบันอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์คุณภาพผักหวานผง เป็นอย่างดี

เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์และให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆ

เพื่อนๆ นักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำต่างๆ และอยู่เป็นเพื่อนกันตลอดการทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนที่ล้นหลอมมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
สัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการ เหตุผลและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผักหวาน	3
2.1.1 ผักหวานบ้าน	3
2.1.2 ผักหวานป่า	5
2.2 การปรับสภาพด้วยวิธีการลวก	8
2.2.1 จุดประสงค์และประโยชน์ที่เกิดจากการลวก	8
2.2.2 ผลต่ออาหาร	9
2.3 การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก	10
2.3.1 ปรากฏการณ์คาเวชัน (Cavitations)	11
2.3.2 การประยุกต์ใช้คลื่นอุลตราโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร	12
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้ง	17
2.4.1 กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร	17
2.4.2 ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content: EMC)	17
2.4.3 ความชื้นเกาะเกี่ยว (Bound Moisture)	18
2.4.4 ความชื้นไม่เกาะเกี่ยว (Unbound Moisture)	18
2.4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง	19
2.4.6 อุปกรณ์วัดความชื้นในอากาศ Psychrometers	20

IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.7 เครื่องอบแห้ง	21
2.4.8 การทำแห้งแบบชั้นบาง (Thin layer drying)	23
2.5 การอัดผ่านเกลียว (Extrusion)	24
2.5.1 กระบวนการ Extrusion	24
2.5.2 ทฤษฎี Extrusion	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	29
3.1 การเตรียมการทดลอง	29
3.1.1 วัสดุ	29
3.1.2 อุปกรณ์	29
3.2 การวางแผนการทดลอง	30
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	30
3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	30
3.3.2 การปรับสภาพ	30
3.3.3 การทำแห้ง	31
3.4 วิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	31
3.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง	31
3.4.2 ค่า water activity (a_w)	32
3.4.3 การวัดค่าสี	32
3.4.4 การหาปริมาณสารโพลีฟีนอล	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.1 ผลการทดลองการทำแห้ง	36
4.1.1 อัตราการทำแห้ง	36
4.1.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำแห้ง	38
4.2 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้	43
4.2.1 ค่าความชื้น	44
4.2.2 ค่า a_w	45
4.2.3 ค่าสี	46
4.2.4 ปริมาณ โพลีฟีนอล	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	55
ภาคผนวก ข. วิเคราะห์คุณภาพการทำแห้งผักหวานผง	73
ภาคผนวก ค. วิธีการทดลอง และผลิตภัณฑ์ที่ได้	85



VI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	แสดงคุณค่าทางโภชนาการของผักหวานบ้าน	4
2.2	แสดงคุณค่าทางโภชนาการของผักหวานป่า	6
2.3	แสดงการเปรียบเทียบผักหวานป่าและคั้นแสน	7
3.1	แสดงแผนการทดลองการปรับสภาพและการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	30
4.1	แสดงค่าความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของผักหวานที่สภาวะต่างๆ	36
4.2	แสดงเวลาที่ใช้ทำแห้งจนถึงความชื้นสุดท้ายที่สภาวะต่างๆ (5 + 1 %wb)	36
4.3	แสดงคุณสมบัติของผักหวานหลังการทำแห้ง	43
4.4	แสดงค่า ΔE^* ของผลิตภัณฑ์ผักหวานผง	48
4.5	แสดงค่าโพลีฟีนอล (Polyphenol) ของผักหวานที่สภาวะต่าง ๆ (mg/100g)	49
ก.1	แสดงค่าที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ	55
ก.2	แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ	55
ก.3	แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ	56
ก.4	แสดงค่าที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	57
ก.5	แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	57
ก.6	แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	58
ก.7	แสดงค่าที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	59
ก.8	แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	59
ก.9	แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	60
ก.10	แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ	61
ก.11	แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ	61
ก.12	แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ	62
ก.13	แสดงค่า n ที่ใช้ทำ linear regression ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ	63
ก.14	แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ	63
ก.15	แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ	64
ก.16	แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	65
ก.17	แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	65
ก.18	แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	66
ก.19	แสดงค่า n ที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	67

VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.20 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	67
ก.21 แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก	68
ก.22 แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	69
ก.23 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	69
ก.24 แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	70
ก.25 แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	71
ก.26 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	71
ก.27 แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic	72
ข.1 แสดงข้อมูลค่าความชื้นของผักหวานหลังการทำแห้ง	73
ข.2 แสดงข้อมูลค่า a_w ของผักหวานหลังการทำแห้ง	74
ข.3 แสดงข้อมูลค่าสีของผักหวานหลังการทำแห้ง	75
ข.4 แสดงข้อมูลปริมาณ โพลีฟีนอลของผักหวานหลังการทำแห้ง	77
ข.5 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า L^*	79
ข.6 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพกับค่า L^*	79
ข.7 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพกับค่า L^*	79
ข.8 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพและ อุณหภูมิการทำแห้งกับค่า L^*	80
ข.9 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพและ อุณหภูมิการทำแห้งกับค่า L^*	80
ข.10 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า a^*	81
ข.11 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพกับค่า a^*	81
ข.12 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพและอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า a^*	81
ข.13 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพและ อุณหภูมิการทำแห้งกับค่า a^*	82
ข.14 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า b^*	82
ข.15 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพกับค่า b^*	83
ข.16 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพกับค่า b^*	83
ข.17 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพและอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า b^*	83
ข.18 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพและ อุณหภูมิการทำแห้งกับค่า b^*	84

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผักหวานบ้าน	5
2.2 ผักหวานป่า	7
2.3 แสดงช่วงความถี่การใช้คลื่นอุลตราโซนิก	10
2.4 ปรัชญาการฉ่ำน้ำ	11
2.5 แสดงผลของคลื่นอุลตราโซนิกต่อกิจกรรมเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส	13
2.6 แสดงการแตกของฟองแก๊สในสารละลายที่ได้รับคลื่นอุลตราโซนิก	14
2.7 แสดงการจำกัดโฟมโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกในกระบวนการผลิตอาหาร บรรจุกระป๋อง	16
2.8 การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร	17
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ	18
2.10 Psychrometers (a) sling psychrometer (b) Aspirating psychrometer	20
2.11 Psychrometric chart.	20
2.12 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder)	26
3.1 แผนผังการสกัดสารตัวอย่าง	34
3.2 แผนผังการวิเคราะห์ Total polyphenol	35
4.1 การเปลี่ยนแปลงของความชื้น (db) และเวลาของผักหวาน	37
4.2 แสดงการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการ ของ Newton ที่สถานะต่าง ๆ	40
4.3 แสดงการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการ ของ Page ที่สถานะต่าง ๆ	42
4.4 แสดงค่าความชื้นสุดท้ายของผักหวานผง	44
4.5 แสดงค่า a_w ของผักหวานผง	45
4.6 แสดงค่าสี a^* ของผักหวานผงที่ได้	46
4.7 แสดงค่าสี L^* ของผักหวานผงที่ได้	47
4.8 แสดงค่าสี b^* ของผักหวานผงที่ได้	47
4.9 แสดงค่าสี ΔE^* ของผักหวานผงที่ได้	48
4.10 แสดงค่าโพลีฟีนอล ของผักหวานที่สถานะต่าง ๆ (mg/100g)	49
ก.1 แสดงแผนผังวิธีการทดลองทั้งหมด	85

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.2 ผักหวานบ้านสด	86
ก.3 แสดงขั้นตอนการคัดเลือกใบ	86
ก.4 แสดงขั้นตอนการลวก	87
ก.5 เครื่องกำเนิดคลื่น Ultrasonic	87
ก.6 ผักที่เกิดลึบบนตะแกรงก่อนนำไปอบแห้ง	88
ก.7 แสดงขั้นตอนการอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อน	88
ก.8 แสดงขั้นตอนการชั่งน้ำหนักระหว่างการอบแห้ง	88
ก.9 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณสาร Polyphenol	89
ก.10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอกซ์ทราคต	89
ก.11 ผักผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และอบแห้งที่ 45°C	90
ก.12 ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการลวก และอบแห้งที่ 45°C	90
ก.13 ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic และอบแห้งที่ 45°C	90
ก.14 ผักผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และอบแห้งที่ 55°C	91
ก.15 ผักผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการลวก และอบแห้งที่ 55°C	91
ก.16 ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic และอบแห้งที่ 55°C	91
ก.17 ผักผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และอบแห้งที่ 65°C	92
ก.18 ผักผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการลวก และอบแห้งที่ 65°C	92
ก.19 ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic และอบแห้งที่ 65°C	92

X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

a^*	ค่าความเป็นสีเขียว
a_0^*	ค่าความเป็นสีเขียวอ้างอิงที่อ่านจากคัพหวานสด
a_w	ค่า Water Activity
b^*	ค่าความเป็นสีเหลือง
b_0^*	ค่าความเป็นสีเหลืองอ้างอิงที่อ่านจากคัพหวานสด
ΔE^*	ค่าความแตกต่างระหว่างสีสองสี (total difference)
k, n	ค่าคงที่ของสมการการทอนแห้ง
m	มวล (g)
m_s	มวลแห้ง (g)
M	ความชื้น (%db)
M_0, M_0	ความชื้นสมดุล (%db), ความชื้นเริ่มต้น (%db)
MR	อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้น
P	ความดันไอในสารละลายหรือวัสดุอาหาร
P_0	ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_0)
ERH	ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (%)
t	เวลา (นาที)
T	อุณหภูมิร้อน 45-65 องศาเซลเซียส
Lo^*	ค่าความสว่างอ้างอิงที่อ่านจากคัพหวานสด
L^*	ค่าความสว่าง
R^2	ค่าสหสัมพันธ์
SE	ค่าความคลาดเคลื่อน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการ เหตุผลและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันนี้ ผู้บริโภคมักประสบปัญหาเกี่ยวกับโรคอ้วนมากขึ้น อันมีสาเหตุมาจากการรับประทานอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาลมากเกินไป อีกทั้งผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวต่างๆ ก็เป็นอาหารที่ปราศจากคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นการเพิ่มส่วนผสมจำพวกผักเข้าไปในอาหารเหล่านี้ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสารอาหารจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้บริโภค

จากการสำรวจ ผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อีกชนิดหนึ่ง คือผักหวาน ซึ่งเป็นผักที่สามารถปลูกได้ง่าย ปลูกได้แทบทุกพื้นที่ และเป็นที่ยอมรับปลูกของเกษตรกร เนื่องจากผักหวานเป็นพืชเศรษฐกิจที่ตลาดต้องการมาก ประชาชนทั่วไปนิยมรับประทานผักหวานโดยมีราคาซื้อขายกิโลกรัมละ 200-300 บาท หรือผู้บริโภคซื้อปลีกราคาจืดละ 20-30 บาท เป็นผักที่มีรสชาติดีและไม่มีสารพิษตกค้าง อีกทั้งผักหวานยังเป็นแหล่งอาหาร ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมีสารอาหารอยู่หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส ที่ช่วยให้กระดูกและฟันแข็งแรง เมื่อร่างกายได้รับแคลเซียมพร้อมแมกนีเซียม ที่มีอยู่ในผักใบเขียวอย่างผักหวาน จะช่วยให้การยึดเหนี่ยวของกล้ามเนื้อในร่างกายมีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย หากบริโภคบ่อยๆ จะช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน นอกจากนี้ ผักหวานสดยังมีวิตามินซี สูงมาก ซึ่งวิตามินซี เป็นแอนติออกซิแดนต์ที่ช่วยไม่ให้เนื้อเยื่อหรือเซลล์ภายในร่างกายถูกทำลายจากมลพิษทางอากาศ และรังสีจากแสงแดดที่ทำให้เกิดมะเร็งหรือแก่ก่อนวัย รวมทั้งผิวแห้งเหี่ยวด้วย ที่สำคัญผักหวานยังมีเบต้าแคโรทีน ที่มีอยู่ในผักใบเขียวต่างๆ ไป เบต้าแคโรทีน จัดเป็นแอนติออกซิแดนต์ตัวหนึ่ง และเมื่อถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ แล้ว จะช่วยบำรุงสายตาช่วยให้สามารถมองเห็น ได้ดี ประชาชนทั่วไปจึงนิยมรับประทานผักหวานกันทั่วทุกภูมิภาค (วัชรวิดิ มาแสง, 2549) แต่ในด้านอุตสาหกรรมนั้นยังมีการนำผักหวานมาใช้เป็นวัตถุดิบอยู่น้อย หากสามารถพัฒนาผักหวานให้มีคุณภาพที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร ย่อมเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค นับเป็นการเพิ่มมูลค่าผักหวานและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามผักหวานเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย อีกทั้งการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ สามารถทำได้ยาก ดังนั้น การทำแห้ง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถแปรรูปผักที่มีความชื้นสูงๆ ให้อยู่ในรูปของผักแห้ง เพื่อส่งต่อการนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตขั้นต่อไป

การทำแห้งผักมีหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมมาก คือการทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งใช้เวลาการทำแห้งนานทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและการเปลี่ยนแปลงสี (Maskan, 2001) จึงได้มีการศึกษาพบว่า การทำแห้งที่มีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องมีการปรับสภาพก่อนการทำแห้ง และวิธีที่นิยมใช้ คือ การลวกเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเสื่อมเสียคุณภาพ

ของผัก (Shalini et al., 2008) อีกทั้งยังช่วยลดเวลาการทำแห้งได้อีกด้วย (Doymaz, 2008) นอกจากนี้การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิคเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความสนใจเนื่องจาก พบว่า สามารถช่วยลดเวลาการทำแห้งได้ (Fernandes et al., 2007)

จึงได้สนใจที่จะศึกษาถึงกระบวนการการทำแห้ง เพื่อที่จะสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผักหวาน หลังการทำแห้งไว้ให้มากที่สุด เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค และยังสามารถใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบที่ดีในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารอื่นในอุตสาหกรรมได้ต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชัน เนื่องจากการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชันนี้ ส่วนผสมที่ผ่านเข้าเครื่องจำเป็นต้องมีลักษณะที่เป็นผงเพื่ออำนวยความสะดวกป้อนวัตถุดิบและไม่ให้เกิดการอุดตัน ดังนั้นโครงการนี้จะมุ่งเน้นที่จะศึกษาการทำแห้งผักหวานผง เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูปหรือใช้ประโยชน์อื่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิลมร้อนต่อการทำแห้งและคุณภาพของผักหวานผง
2. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการทำแห้งผักหวานที่สภาวะต่างๆ
3. เพื่อทดลองผลิตอาหารขบเคี้ยวเสริมผักหวาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบผลของการปรับสภาพและอุณหภูมิลมร้อนต่อการทำแห้งและคุณภาพของผักหวานผง
2. สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำแห้งผักหวาน
3. เป็นแนวทางในการแปรรูปผักหวานเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. วัตถุดิบที่ใช้คือ ผักหวานบ้าน จากนั้นจึงนำมาคัดเลือกเฉพาะส่วนที่เป็นใบ
2. ทำการปรับสภาพผักหวาน โดยแบ่งออกเป็น การไม่ปรับสภาพ(ควบคุม), การปรับสภาพโดยวิธีการตากด้วยน้ำร้อน และการปรับสภาพโดยการ ใช้คลื่นอุลตราโซนิค
3. ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส
4. สร้างแบบจำลองการทำแห้งของผักหวาน
5. วิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ประกอบไปด้วย ค่าความชื้นสุดท้าย, ค่า a_w , ค่า p_i และ ปริมาณสารโพลีฟีนอล
6. ศึกษาการทดลองผลิตขนมเคี้ยวเสริมผักหวานด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผักหวาน

ผักหวานเป็นพืชที่ใช้ปรุงเป็นอาหารได้หลายชนิด และยังเป็นพืชสมุนไพร ผักหวานมี 2 ชนิด คือ ผักหวานบ้าน และผักหวานป่า

2.1.1 ผักหวานบ้าน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์, 2535)

ชื่อสามัญ ผักหวานบ้าน; ผักหวาน (ทั่วไป); ก้านคง, จ้าผักหวาน (ภาคเหนือ); โดหญ่กะนิเค้าะ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน); นานาเซียน (มาเลเซีย สูด); ผักหวานไค้ใบ (สูด); มะขมป่า (ประจวบคีรีขันธ์)

วงศ์ EUPHORBIACEAE

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Sauropus androgynus* (Linn.) Merr.

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และเกษตร เป็นไม้พุ่มสูง 1 – 2 เมตร ใบเดี่ยวเรียงสลับ รูปขอบขนานแกมรูปไข่ (ovate-oblong) กว้าง 2.3 – 3.0 เซนติเมตร ยาว 6.3 – 7.9 เซนติเมตร ก้านใบยาว 0.2 – 0.3 เซนติเมตร หน้าใบสีเขียวเข้ม หลังใบสีเขียวอ่อนออกนวล ขอบใบเรียบ (entire) ออกดอกเป็นกระจุกตามซอกใบ ดอกเพศเมียกลีบเลี้ยงตีแคงอมส้ม หรือแคงแคงเหลือง ช่อดอกยาว 1.2 – 1.6 เซนติเมตร ผลกลมแป้น น้ำหนักฝัสดมมะขม แต่ผิวเป็นพุดสีนกว่า ติเขียวตองอ่อนถึงขาว ขนาดผลมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 – 14.5 มิลลิเมตร ดอกและผลอยู่ได้ใบ เมล็ดสีดำ ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ออกดอกช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน

แหล่งที่พบและเก็บรวบรวมพันธุ์ พบในพื้นที่วังมา พบมากที่สวนป่า อำเภอท่ามา จังหวัดสุราษฎร์ธานี (SN 376)

ผักหวานบ้านเป็นผักพื้นบ้านที่มีคุณค่าทางอาหารเป็นพืชที่ปลูกง่าย เป็นไม้พุ่มขนาดกลางชนิดหนึ่งถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญตัวหนึ่ง เนื่องจากเป็นพืชที่มีรสชาติอร่อยและปลูกง่ายจึงเป็นที่นิยมของตลาด ทำรายได้ดีให้กับเกษตรกร

คุณค่าทางอาหาร

ผักหวานบ้าน มีรสชาติกรอบอร่อย มีสารอาหารหลายชนิด ยอดอ่อนและใบอ่อน มีรสหวาน เป็นแหล่งอาหารที่ทรงคุณค่ามาก เนื่องจากมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอยู่หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น โปรตีน ซึ่งมีอยู่มากกว่าผักหวานหลาย ๆ ชนิด รวมทั้งแคลเซียม ฟอสฟอรัส ที่ช่วยให้กระดูกและฟันแข็งแรง เมื่อร่างกายได้รับแคลเซียมพร้อมแมกนีเซียม ที่มีอยู่ในผักใบเขียวอย่างผักหวาน จะช่วยให้การยึดเหนี่ยวของกล้ามเนื้อในร่างกายมีประสิทธิภาพสูงที่สุดตามไปด้วย ผู้บริโภคบ่อย ๆ จะไม่เป็นโรคกระดูกพรุน นอกจากนี้ ผักหวานสดยังมีวิตามินซีสูงมาก ซึ่งวิตามินซีเป็นแอนติออกซิเจนต์ ที่ช่วยไม่ให้เนื้อเยื่อหรือเซลล์ภายในร่างกาย ถูกทำลายจากมลพิษทางอากาศ และรังสีจากแสงแดด ที่ทำให้เกิดมะเร็งหรือแก่ก่อนวัย รวมทั้งผิวแห้งเหี่ยวด้วย ที่สำคัญผักหวานยังมีเบต้า-แคโรทีน ที่มีอยู่ในผักใบเขียวทั่ว ๆ ไป เบต้า-แคโรทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดเป็นแอนติออกซิเจนต์ตัวหนึ่งและเมื่อถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอแล้ว จะช่วยบำรุงสายตาให้สามารถเห็นได้
ดีในที่มืดและยังเพิ่มความแข็งแรง ให้ภูมิคุ้มกันเอาไว้ต่อสู้กับ โรคติดเชื้อตาพดชนิด

สารที่สามารถต่อต้านหรือป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้ ซึ่งสารดังกล่าวเรียกว่า สารต่อต้านการก่อ
มะเร็ง (anti-carcinogen) และสารต่อต้านการส่งเสริมมะเร็ง (anti-tumor promoter) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) แอนติออกซิเจนต์ (antioxidants) สารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเจนต์หรือด้านฤทธิ์ของอนุมูล
อิสระ (free radicals) ที่มีอยู่ในธรรมชาติในรูปของวิตามินและแร่ธาตุ ได้แก่ วิตามินเอ ซี อี, แร่ธาตุสังกะสี
(Zinc) และเซเลเนียม (Selenium)

2) สารแอนติออกซิเจนต์ที่ไม่ใช่วิตามิน ส่วนใหญ่เป็นสารรสฝาดพบในยอดผักและเมล็ดพืช ได้แก่
สารพวกโพลีฟีนอล (polyphenols) เป็นสารในกลุ่มไบโอฟลาโวนอยด์ (bioflavonoids) ไลโคปีน (lycopenes)
แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ไอโซฟลาโวน (isoflavone coumarin derivative) เบต้าแคโรทีน เป็นต้น

สารประกอบโพลีฟีนอลซึ่งสามารถรวมกับอนุมูลโลหะช่วยลดการทำลายเนื้อเยื่อไขมัน โปรตีน
และกรดนิวคลีอิกในระบบเซลล์อิสระ

จากรายงานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้มีการศึกษาคุณค่าทางอาหารของใบ และยอดผักหวาน
พบว่าใบและยอดผักหวาน 100 กรัม มีส่วนประกอบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของผักหวานบ้าน

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณต่อ 100 กรัม
ความชื้น	90.70 กรัม
ไขมัน	0.40 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	3.50 กรัม
เส้นใย	1.50 กรัม
โปรตีน	4.90 กรัม
วิตามิน บี 1	0.19 มิลลิกรัม
วิตามิน บี 2	4.80 มิลลิกรัม
วิตามิน ซี	32.00 มิลลิกรัม
แคลเซียม	68.70 มิลลิกรัม
เหล็ก	5.00 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	4.00 มิลลิกรัม
ไนอาซีน	5.80 มิลลิกรัม
พลังงาน	45.00 แคลอรี
วิตามิน เอ	20.50 หน่วยสากล

ที่มา: สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ (2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรรพคุณทางสมุนไพร

ผักหวานบ้าน ช่วยในการยึดหดของกล้ามเนื้อ ช่วยให้กระดูกและฟันแข็งแรง ป้องกันโรคมุมิแพ้จากมลพิษทางอากาศ ร่างกายขับถ่ายได้ดี

ใบและต้นรสหวานเย็น : ใช้น้ำยางหยอดตาแก้อักเสบ รักษาแผลในจมูก รากรสเย็น แก้ไข้ถอนพิษไข้ รักษาคางทูม ใบปรุงเป็นยาเขียวแก้ไข้ ชาวเขาเผ่ากะเหรี่ยง มูเซอ ใช้ใบ ทั้งต้น ต้มน้ำอาบ เคี้ยวกินแก้ปวดเมื่อยร่างกาย เป็นยารักษาสุขภาพสำหรับสตรีหลังคลอด สารสกัดใบและลำต้นด้วยแอลกอฮอล์มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ HIV – 1 reverse transcriptase เล็กน้อย ใบมีสาร papaverine กินมากจะทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะและท้องผูก

ราก : ใช้แก้คางทูม คอพอก แผลฝี ใบใช้ตำ แก้แผลฝี ดอกใช้ขับโลหิต



รูปที่ 2.1 ผักหวานบ้าน

ที่มา: สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ (2535)

2.1.2 ผักหวานป่า (บัญญัติ มาแสง, 2549)

ชื่อสามัญ ชาวบ้านแถวจังหวัดสุรินทร์เรียก ผักหวาน ชื่อที่เรียกกันทั่วไป คือ ผักหวาน ซึ่งอาจสับสนกับผักหวานบ้าน

วงศ์ Opiliaceae

ชื่อวิทยาศาสตร์ Melicentha suavis Pierre

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และเกษตร ผักหวานป่า เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ต้นที่โตเต็มที่อาจสูงถึง 13 เมตร แต่ที่พบโดยทั่วไปมักมีลักษณะเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กหรือเป็น ไม้พุ่ม เนื่องจากมีการหักกิ่ง เด็ดยอด เพื่อกระตุ้นให้เกิดกิ่งและยอดอ่อนซึ่งเป็นส่วนที่ใช้บริโภค ใบของผักหวานป่าเป็นใบเดี่ยว เรียงสลับกัน ใบอ่อนรูปรีแกมรี ปลายใบแหลม สีเขียวอมเหลือง ใบแก่เต็มทีรูปร่างรีกว้าง ถึงรูปไข่หรือรูปไข่กลับ ใบสีเขียวเข้ม เนื้อใบกรอบ ขอบใบเรียบ ปลายใบมน ขนาดของใบประมาณ 2.5-5 เซนติเมตร x 6- 12 เซนติเมตร ก้านใบสั้น ช่อดอกแตกกิ่งก้านคล้ายช่อดอกมะม่วงหรือลำไย และเกิดตามกิ่งแก่ หรือตามลำต้นที่ใบร่วงแล้ว ดอกมีขนาดเล็ก เป็นตุ่มสีเขียว อัดกันแน่นเป็นกระจุก ขณะที่ยังอ่อนอยู่ ผลเป็นผลเดี่ยว ติดกันเป็นพวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนร่องผลของมะไฟหรือกลางสาด แต่ละผลมีขนาดประมาณ 1.5 เซนติเมตร x 2.5 เซนติเมตร ผลอ่อนสีเขียวมีสีน้ำตาลเคลือบ และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถึงเหลืองอมส้ม เมื่อผลสุกแต่ละผลมีเมล็ดเดียว

คุณค่าทางโภชนาการของผักหวานป่า

ผักหวานป่าจัดเป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านแหล่งโปรตีน วิตามินซี และพลังงาน นอกจากนี้ยังมีปริมาณเชื้อใยมากพอสมควร ช่วยในการขับถ่ายให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การบริโภคผักหวานป่าควรปรุงให้สุกเสียก่อน เนื่องจากการบริโภคสด ๆ ในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการเบื่อเมาเป็นไข้ และอาเจียนได้ ในยอดและใบสดที่รับประทานได้ 100 กรัม จะมีคุณค่าทางโภชนาการดังตารางที่ 2.2

นอกจากนี้ยังมีพืชอีกชนิดหนึ่งที่มี ยอดอ่อนลักษณะเหมือนยอดอ่อนของผักหวานป่ามากจนมีการเก็บผิดอยู่เสมอ และเมื่อกินเข้าไป จะเกิดอาการเมาเบื่อ พิธีมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Urobotrya siamensis* hicpko คนลำปาง เรียก แกก้องหรือนางแย้ม ชาวเชียงใหม่เรียกนางจุม จันทบุรีเรียก ผักหวานเขา กาญจนบุรี และชลบุรีเรียก ผักหวานคง สระบุรีเรียก ผักหวานเมา หรือข้าผักหวาน ภาคอีสานเรียก เสน หรือ เสม ส่วนทางประจวบคีรีขันธ์เรียกว่าคหมี อย่างไรก็ตามหากสังเกตต้น และใบที่แก่ จะมีลักษณะต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงการเปรียบเทียบค่าในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของผักหวานป่า

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณต่อ 100 กรัม
ความชื้น	76.60 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	10 กรัม
เส้นใย	3.40 กรัม
โปรตีน	8.20 กรัม
เถ้า	1.80 กรัม
วิตามินบี1	0.12 มิลลิกรัม
วิตามินซี	168 มิลลิกรัม
เบต้าแคโรทีน	1.60 มิลลิกรัม
แคลเซียม	24 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	68 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.30 มิลลิกรัม
พลังงาน	300 กิโลจูล
วิตามินเอ	8500 หน่วยสากล

ที่มา : รัชนี มาแสง (2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบผักหวานป่าและต้นเสนา

	ผักหวานป่า	เสนา
รูปร่างใบแก่	รูปไข่ก่อนไปทางกลมกว้าง	รูปรีขอบขนาน
ปลายใบ	มนหรือมนมีติ่งตรงปลาย	แหลมถึงป้านเล็กน้อย
เนื้อใบสด	กรอบเพราะเมื่อบีบด้วยอุ้งมือได้ยินเสียงคัง กรอบแกรบ	นุ่มเหนียวไม่หักง่าย
ผิวใบด้านบน	เขียวเข้มเป็นมัน	เขียวเข้มผิวด้าน
ช่อดอก	เกิดตามกิ่งหรือลำต้นแก่ ๆ ไม่มีใบติด	เกิดตามชอกใบ
ลักษณะช่อ	แตกกิ่งก้าน	ไม่แตกกิ่ง
ดอก	เป็นกระจุกแน่น ไม่มีใบประดับรองรับ	ดอกมีใบประดับรองรับเป็นชั้น ๆ เป็นระเบียบ
ผล	ใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 ซม. เมื่อสุกมีสีเหลือง	เล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ

ที่มา: รัชฎูจิตี มาแสง (2549)



รูปที่ 2.2 ผักหวานป่า

ที่มา: รัชฎูจิตี มาแสง (2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การปรับสภาพด้วยวิธีการลวก (กิดดิพงษ์ ห่วงรักษ์, 2535)

การลวกเป็นปฏิบัติการเฉพาะหน่วย ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนการแปรรูป หรือเพื่อป้องกันการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษาชั้นคอนนี้ มักจะเป็นชั้นคอนหนึ่งในการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป ได้แก่ การสเตอริไลซ์ การทำแห้ง หรือการแช่เยือกแข็ง มีผักจำนวนไม่กี่ชนิด เช่น หัวหอมใหญ่ ที่ไม่ต้องผ่านการลวก แต่ผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะเสื่อมเสียสภาพโดยง่ายถ้าไม่ผ่านการลวก การลวกทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่คงไว้และทำให้เย็นโดยเร็วที่อุณหภูมิห้อง

การลวกที่มีประสิทธิภาพจะทำโดยให้ความร้อนกับอาหารอย่างรวดเร็ว จนอาหารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงระดับที่กำหนด และคงอุณหภูมินั้นไว้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการลวกคือ

1. ชนิดของผัก
2. ขนาดชิ้นของผัก
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการลวก
4. วิธีการให้ความร้อน

ภายหลังการลวก หากไม่รีบลดอุณหภูมิตลงอย่างรวดเร็ว ผักหรือผลไม้เหล่านั้นจะได้รับความร้อนมากเกินไป (Over cook) ซึ่งอาจทำให้เกิดผลเสียตามมา เช่น จุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูงจะเจริญเติบโตได้

2.2.1 จุดประสงค์และประโยชน์ที่เกิดจากการลวก

1. เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือทำลายสารตั้งต้น (Substrate) ของการทำงานของเอนไซม์ เช่น สารพวก peroxides
2. ช่วยไล่อากาศหรือก๊าซออกจากเนื้อเยื่อผัก จึงเป็นการช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
3. ทำให้เนื้อเยื่ออาหารอ่อนนุ่ม รับประทานง่ายขึ้น สามารถบรรจุให้น้ำหนักตามต้องการง่ายขึ้น
4. ช่วยปรับเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะสำหรับอาหารแห้ง
5. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการแปรรูปต่อไป
6. การลวกที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม จะช่วยตรึงสีให้คงที่ โดยเฉพาะสำหรับผักมีเขียว การลวกจะช่วยขัดขวางกลไกการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ ไปเป็น ฟีโอไฟติน
7. ช่วยกำจัด กลิ่นคาว กลิ่นฉิบ รสฝาด รสขม
8. ช่วยทำความสะอาดและลดปริมาณจุลินทรีย์ในวัตถุดิบ
9. ทำให้วัตถุดิบมีอุณหภูมิสูงขึ้น ช่วยให้การเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการต่อไปทำได้เร็วขึ้น

2.2.2 ผลต่ออาหาร (อธิบาย เจริญธรรม, 2546)

1. ผลของการลวกเนื้อเยื่อ

ความร้อนที่อาหารได้รับระหว่างการลวกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัสและด้านโภชนาการบ้าง แต่เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ได้รับน้อยกว่าปริมาณความร้อนในกระบวนการนำเชื้อ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ความร้อนในการลวกจะมีผลต่อเซลล์ของพืชคือทำให้สตรัคเจอร์เกิดเจลาตินซ์ เพกตินเปลี่ยนแปลงสมบัติ โปรตีนในนิวเคลียสและส่วนของเหลวในเซลล์แปรสภาพธรรมชาติ Chloroplast และ Chromoplast จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป น้ำที่ใช้ในการลวกจะซึมเข้าไปในเซลล์ ส่วนน้ำที่อยู่ภายในเซลล์จะไหลออกมาภายนอก

2. ผลต่อสารอาหาร

ในด้านโภชนาการ แร่ธาตุ วิตามินที่ละลายน้ำ รวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปในระหว่างการลวก การสูญเสียของวิตามินส่วนใหญ่จะเกิดจากการละลายออกมาภายนอก และเนื่องจากการถูกทำลายโดยความร้อนมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ความรุนแรงในการสูญเสียวิตามินจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการคือ

- 1) ความแก่อ่อนและสภาพพันธุ์
- 2) วิธีที่ใช้เตรียมวัตถุดิบ โดยเฉพาะการตัดหรือหั่น
- 3) สัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาณของชิ้นอาหาร
- 4) วิธีลวก
- 5) เวลาและอุณหภูมิที่ใช้
- 6) วิธีทำให้เย็น
- 7) สัดส่วนของน้ำที่ใช้ในกระบวนการต่ออาหาร

การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ มักจะประเมินจากการสูญเสียกรดแอสคอร์บิก ซึ่งการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกนี้จะต่างกันไปตามชนิดของอาหาร วิธีลวก และวิธีทำให้เย็น

3. สีและกลิ่น

การลวกทำให้อาหารบางชนิดมีสีดกใสขึ้น การเติมโซเดียมคาร์บอเนต (0.125 %w/w) หรือ แคลเซียมออกไซด์ลงในน้ำที่ใช้ในการลวก เพื่อป้องกันการทำลายคลอโรฟิลล์ทำให้ผักยังคงความเขียวไว้ หรือการแช่อาหารลงในน้ำเกลือเจือจาง (2 %w/w) ก่อนการลวก จะทำให้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

4. ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

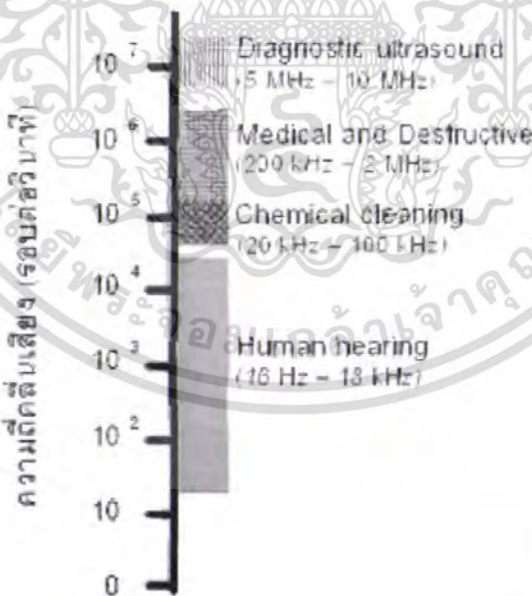
วัตถุประสงค์อีกข้อหนึ่งในการลวก คือ การทำให้เนื้อเยื่อของผักนุ่มขึ้น เพื่อให้รับประทานได้ง่ายขึ้น การใช้เวลานานหรืออุณหภูมิสูงในการลวกจะทำให้อาหารสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสได้ สำหรับผลไม้มีขมเค็มแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำสำหรับลวก เพื่อทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนแคลเซียมเพคเตด ซึ่งไม่ละลายน้ำทำให้เนื้อเยื่อพืชคงความแน่นได้ หรืออาจใช้สารเพิ่มความข้นประเภท

คอลลอยด์ เช่น เพคติน คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และแอลจินท เพื่อช่วยให้ผลไม้ยังคงความกรอบแน่นหลังการลวก

2.3 การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิค (พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล, 2549)

อุปกรณ์อุลตราโซนิค (Ultrasonic devices) นับว่ามีบทบาทอย่างสูงในการประยุกต์เพื่อการใช้งานด้านต่างๆทั้งในด้านอุปกรณ์การแพทย์ โรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้อุปกรณ์สำหรับครัวเรือน ตัวอย่างที่เราคุ้นเคยได้แก่ เครื่องตรวจอัลตราซาวด์สำหรับการตรวจอวัยวะภายในรวมถึงทารกในครรภ์ เครื่องล้างอุลตราโซนิคสำหรับการล้างเครื่องมือทางการแพทย์และห้องปฏิบัติการ เครื่องตรวจจับ Sonar หรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เซ็นเซอร์สำหรับบอกระยะทางสำหรับท้ายรถยนต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากคลื่นอุลตราโซนิคยังมีได้จำกัดอยู่เพียงเท่านั้น ปัจจุบันได้มีการนำคลื่นอุลตราโซนิคมาประยุกต์ใช้ใน โรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม

คลื่นอุลตราโซนิค หมายถึง พลังงานของคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่นมากกว่า 20000 ครั้งต่อวินาที หรือเทียบเท่ากับการสั่นของตัวกลางเท่ากับ 20 กิโลเฮิร์ต ซึ่งความถี่นี้จะมีค่าสูงเกินที่มนุษย์จะได้ยิน ลักษณะพิเศษของคลื่นอุลตราโซนิคคือ สามารถเคลื่อนที่ในทิศทางที่แน่นอนทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของคลื่น คือ คลื่นยังมีความถี่สูง การเลี้ยวเบนยังต่ำ ดังนั้นเราจึงสามารถใช้คลื่นความถี่สูงในระดับอุลตราโซนิค ส่งไปยังเป้าหมายที่เราจะงได้

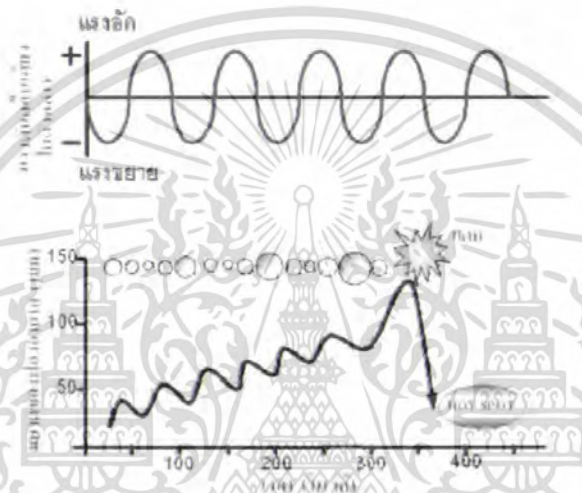


รูปที่ 2.3 แสดงช่วงความถี่การใช้คลื่นอุลตราโซนิค
ที่มา: พิกษ์ เหล่ารัตนกุล (2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ปรากฏการณ์ควิเคชัน (Cavitations)

เป็นกระบวนการที่สำคัญที่เกิดขึ้นในตัวกลางหรือสารละลายในกระบวนการผลิตอาหารเมื่อได้รับคลื่นเสียงอุลตราโซนิก โดยเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากฟองอากาศ (Bubbles) ที่เกิดขึ้นซึ่งการที่ฟองอากาศเกิดขึ้นได้นั้น เนื่องมาจากโครงสร้างของของเหลวที่ได้รับคลื่นอุลตราโซนิกจะถูกบีบอัด (compress) และคลายตัว (stretch) ซ้ำไปมาเป็นจำนวนหลายพันรอบ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น และฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในของเหลวนี้ จะสัมผัสกับแรงดันที่เกิดจากคลื่นอุลตราโซนิกเป็นระยะๆ และเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างกัน เป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่มากขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแตกออกในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปรากฏการณ์ควิเคชัน

ที่มา: พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล (2549)

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอุลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาคลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่นแต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากคลื่นเสียงจะไม่มีอาการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งแอมพลิจูดเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไปอากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรักษาการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันในหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่ในอากาศ

อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกว่า อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ในปัจจุบันอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่

- แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง
- แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่
- แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

2.3.2 การประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การนำคลื่นอัลตราโซนิกมาใช้ในการแปรรูปอาหารนั้น มีความหลากหลายและแตกต่างกันไปตามชนิดหรือประเภทของอาหารและวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ Mason (1998) รายงานการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

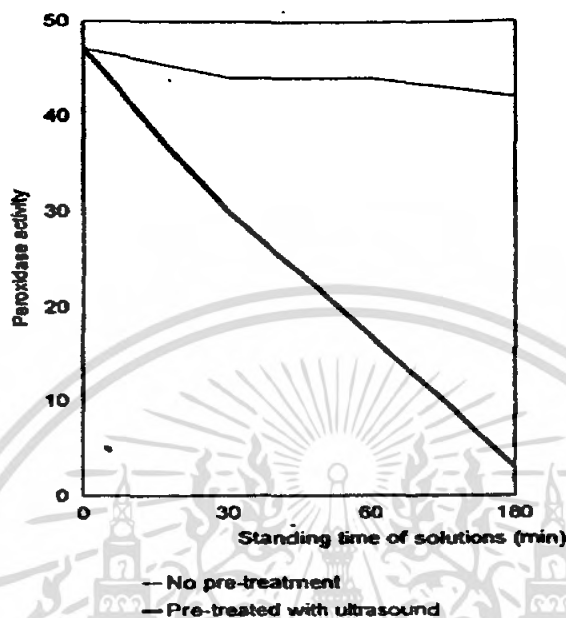
1. กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation Process)

มีการนำคลื่นอัลตราโซนิกมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ปฏิกิริยาการบ่ม (Aging) ของผลิตภัณฑ์หมัก เช่น ไวน์และสุรากลั่น โดยทำให้เกิดกลิ่นรสและรสชาติเฉพาะ ตัวในช่วงระยะเวลาการบ่มที่สั้นลง เช่น มีการศึกษาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกขนาด 1 MHz แก่ผลิตภัณฑ์หมักดังกล่าว ซึ่งทำให้อัตราส่วนระหว่าง แอลกอฮอล์ต่อเอสเทอร์เกินความสมดุลและช่วยให้เกิดลักษณะปรากฏที่ดี และในส่วนวิสกี (Whisky) พบว่า ช่วยลดเวลาในการบ่มให้ต่ำกว่า 1 ปีได้

2. ปฏิกิริยาเอนไซม์ (Enzyme Reactions)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่ากิจกรรมเอนไซม์ต่างๆ จะถูกยับยั้งได้เนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์ควิเดชัน ตัวอย่าง เช่น มีการศึกษาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกขนาด 20 kHz ที่กำลัง 371 W.cm⁻² แก่เอนไซม์

เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในผักผลไม้สด และเป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นให้เกิดรสชาติผิดปกติและทำให้เกิดสีน้ำตาล เมื่อให้คลื่นอุลตราโซนิกขนาดค้างกว่าแก่เอนไซม์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์นี้ลดลง 90% แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงผลของคลื่นอุลตราโซนิกต่อกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (เส้นหนาคือเอนไซม์ที่ให้คลื่นอุลตราโซนิกขนาด 20 KHz ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ที่มา: Mason (1998)

นอกจากนี้ยังมีรายการศึกษาการทนต่อคลื่นอุลตราโซนิกของเอนไซม์ชนิดต่างๆ พบว่า สามารถเรียงลำดับความทนทานได้ดังนี้ ออกซิเดส (Oxidase) < คะตะเลส (Catalase) (ที่ความเข้มข้นต่ำ) < รีดักเตส (Reductase) และอะไมเลส (Amylase)

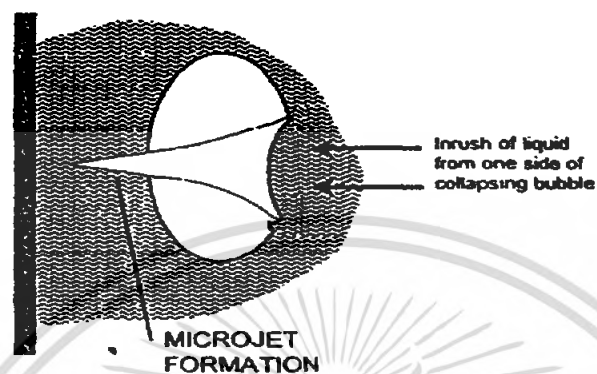
3. การกระตุ้นเซลล์ของสิ่งมีชีวิต (Stimulation of Living Cells)

มีรายงานการศึกษาการใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วยในการผลิตไฮเกิร์ต โดยพบว่าสามารถลดเวลาในการผลิตลงถึง 40 % และยังช่วยปรับปรุงลักษณะของไฮเกิร์ต เช่น เนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอุลตราโซนิกยังสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชได้ ทำให้ปริมาณผลผลิตในการผลิตขนาดใหญ่เพิ่มสูงขึ้น โดยคลื่นอุลตราโซนิกจะเหนี่ยวนำให้การงอกของเมล็ดเกิดได้เร็วขึ้นรวมทั้งกระตุ้นให้รากงอกได้เร็วขึ้น เช่น ในเมล็ดทานตะวัน เมื่อทดลองใช้คลื่นอุลตราโซนิกพบว่าจะสามารถงอกในดินได้ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้รับคลื่นถึง 3 เท่า หรือในมะเขือเทศซึ่งพบว่าเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับคลื่นอุลตราโซนิกจะลดระยะเวลาการสุกได้เป็นระยะเวลาถึง 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กระบวนการสเตอริไลเซชัน (Sterilization)

มีการนำคลื่นอุลตราโซนิคมาใช้ในการทำความสะอาด โดยการช่วยลดการปนเปื้อนที่บริเวณพื้นผิว (Surface Decontamination) เนื่องจากการเกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็ก (Micro jet) จากการที่ฟองอากาศเกิดการแตกและมีทิศทางพุ่งเข้าสู่พื้นผิวด้วยความเร็วสูง เป็นผลส่งสทปรกและแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่ที่บริเวณพื้นผิวหลุดออก แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการแตกของฟองแก๊สในสารละลายที่ได้รับคลื่นอุลตราโซนิค ทำให้เกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็กพุ่งเข้าสู่พื้นผิว
ที่มา: Mason (1998)

นอกจากนั้นยังสามารถใช้คลื่นอุลตราโซนิคในการทำลายแบคทีเรียที่ปนเปื้อนบนผิวของไซโลไซท์ ร่วมกับสารฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Bactericide) และคลื่นอุลตราโซนิคช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีเนื่องจากทำให้เซลล์แบคทีเรียที่เกาะกลุ่มกันอยู่เกิดการแตกกระจาย เป็นผลให้สารเคมีสามารถสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ได้มากยิ่งขึ้น

5. การใช้คลื่นอุลตราโซนิคในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Ultrasonic emulsification)

คลื่นอุลตราโซนิคทำให้อิมัลชันเสถียรขึ้น เนื่องจากการที่ฟองอากาศเกิดการแตกตรงบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างเฟส (Phase Boundary) ของของเหลวสองชนิดที่เข้ากันไม่ได้ ซึ่งคลื่นกระแทกที่มีแรงดันสูงที่เกิดขึ้นจะทำให้การผสมและเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นการใช้คลื่นอุลตราโซนิคในแบบที่เรียกว่า ลิกวิดวิซเทิล (Liquid Whistle) สามารถใช้ในกระบวนการผลิตที่ไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow Processing) และสามารถเชื่อมต่อบริเวณประมวลผลได้ ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณในการผลิตได้สูงถึง 12,000 ลิตรต่อชั่วโมง เช่น ในการผลิตน้ำผลไม้ ซอสมะเขือเทศและมายองเนส เป็นต้น

6. การสกัด (Extraction)

คลื่นอุลตราโซนิคจะช่วยทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอุลตราโซนิคยังไปทำลายพื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น

การสกัดน้ำตาลออกจากหัวบีต (Sugar Beets) การสกัดโปรตีนจากสาหร่ายและจากถั่วเหลืองที่สกัดไขมัน การสกัดสารในชาออกจากใบชาในการผลิตชาสำเร็จรูปละลายได้ทันที เป็นต้น

7. การใช้คลื่นอุลตราโซนิคกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Meat Products)

การใช้คลื่นอุลตราโซนิคจะช่วยสกัดสารพวกโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือที่อยู่ในเนื้อสัตว์ออกมาได้เพิ่มมากขึ้นโดยใช้ร่วมกับสารละลายเกลือ ซึ่งคลื่นอุลตราโซนิคจะไปทำลายโครงสร้างไมโอไฟบริล (Myofibrils) ภายในเนื้อสัตว์ และทำให้สารละลายภายในเซลล์ไหลออกมาเป็นผลให้เนื้อสัตว์เกาะติดกันได้ดีขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอุลตราโซนิคยังทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มมากขึ้น โดยมีผลทำลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissues) ทำให้มีปริมาณลดลง

8. การตกผลึก (Crystallization)

คลื่นอุลตราโซนิคช่วยในการก่อตัวของผลึกขณะเริ่มต้น (Initiation of seeding) และช่วยในการขยายผลึก (Crystal Growth) โดยมีรายงานว่า คลื่นอุลตราโซนิคช่วยเร่งอัตราการเกิดนิวเคลียส (The Nucleation Rate) และเร่งอัตราการขยายขนาดผลึกในสารละลายอิ่มตัว (Saturated) หรือในอาหารหรือตัวกลางที่เย็นยิ่งยวด (Super cooled medium) ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากปรากฏการณ์แคปปีเดชัน ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตชาและในผลไม้แช่เยือกแข็ง เช่น สตอเบอร์รี่แช่เยือกแข็ง โดยช่วยทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงของขนาดผลึกของน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์ รวมทั้งทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์มีขนาดเล็กลงเป็นผลให้โอกาสในการทำลายเซลล์เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งลดลงไปด้วย

9. การกำจัดแก๊สออกจากของเหลว (Degassing of Liquids)

การกำจัดแก๊สออกจากของเหลว เป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์แคปปีเดชัน ซึ่งแก๊สที่ละลายอยู่ (Dissolved Gases) หรือฟองอากาศ (Gas Bubbles) ขนาดเล็กภายในสารละลายจะเปรียบเสมือนนิวเคลียสสำหรับการเกิดฟองแก๊สที่จะขยายขนาดเพิ่มขึ้น และเกิดการแตกออกเมื่อได้รับคลื่นอุลตราโซนิค เป็นผลให้ฟองอากาศที่อยู่ภายในของเหลวรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่บริเวณพื้นผิวและหลุดออกไป เช่น การใช้คลื่นอุลตราโซนิคกับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น ซ็อกโกแลต ทำให้ลดการเกิดฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ได้

10. การใช้คลื่นอุลตราโซนิคช่วยในการกรอง (Acoustically Aided Filtration)

คลื่นอุลตราโซนิคช่วยทำให้อัตราการกรองของเหลวเพิ่มขึ้น โดยทำให้เกิดผลที่สำคัญต่อการกรองสองประการ ได้แก่ ทำให้เกิดการรวมตัวกัน (Agglomeration) ของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (Fine Particles) ทำให้การกรองเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และอีกประการหนึ่ง คือ คลื่นอุลตราโซนิคจะให้พลังงานบางส่วนที่เกิดขึ้นจากการสั่นของวัตถุ (Vibration Energy) แก่ของเหลว มีผลทำให้อนุภาคบางส่วนยังคงแขวนลอยอยู่ได้ และทำให้สามารถแยกตัวทำละลายออกมาได้เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ใช้คลื่นอุลตราโซนิคในการช่วยการกรองน้ำแอปเปิ้ล ทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น เป็นต้น

11. การทำแห้ง (Acoustic Drying)

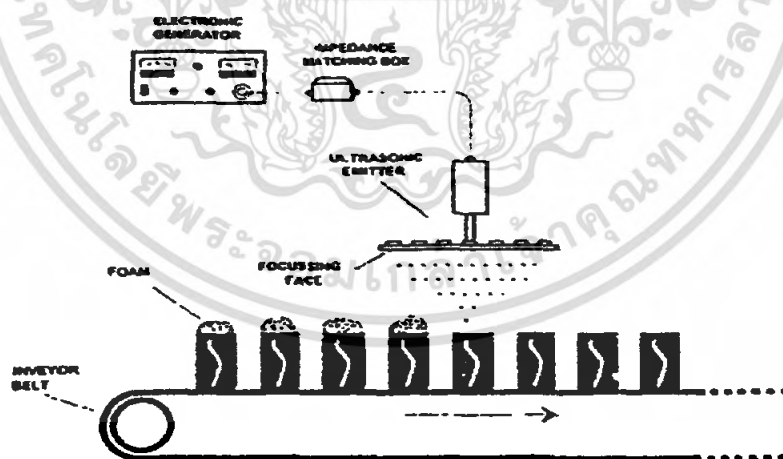
การใช้คลื่นอุลตราโซนิกร่วมกับกระบวนการทำแห้ง จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิการทำแห้งลงได้ และทำให้ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันหรือการสลายตัว (Degradation) ของสารลดลง มีการศึกษาหลากหลายเกี่ยวกับการนำคลื่นอุลตราโซนิกร่วมกับกระบวนการทำแห้งในการผลิตอาหารประเภทต่างๆ และมีสถานะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เนื่องมาจากผลการเกิดปรากฏการณ์แคปิวเทชันทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบถูกทำลาย ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 30-60 %

12. ผลต่อเมล็ดข้าว (Effects on Rice Grains)

มีการศึกษาการให้คลื่นอุลตราโซนิกแก่เมล็ดข้าวในน้ำ ซึ่งจะมีผลทำให้สตาร์ชออกมาจากเมล็ดข้าวได้รวดเร็วขึ้นในระหว่างการหุง เนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์แคปิวเทชันตรงบริเวณพื้นผิวของข้าวทำให้เกิดการทำลายผนังชั้นนอกของเมล็ดข้าว เป็นผลให้ลดระยะเวลาในการหุงต้มและเวลาในการเกิดเจลสั้นลง

13. การกำจัดโฟม (Defoaming)

Gallego-Juarez (1998) รายงานว่า โฟม คือ ฟองแก๊สที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของแก๊สภายในของเหลวซึ่งมีระลอกฟองแก๊สแต่ละฟองน้อยมาก ซึ่งในระบบของโฟมนั้นพบว่าอัตราส่วนของปริมาตรอากาศหรือแก๊สและของเหลวมีค่าสูงมากและค่า Bulk Density ของ โฟมมีค่าใกล้เคียงกับแก๊สวิธีการดั้งเดิมในการกำจัดโฟมคือการใช้ความร้อน สารเคมี ใช้กระแสไฟฟ้าและใช้แรงกลซึ่งมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปการบรรจุของเหลวที่มีโฟมล้นออกมาจากภาชนะบรรจุหลังจากเติมลงไปและนำไปปิดผนึกทันที จะทำให้ปริมาตรของของเหลวในภาชนะบรรจุลดลง การกำจัด โฟมที่ล้นเกินออกมาจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ในการนำคลื่นอุลตราโซนิกเพื่อกำจัดโฟมที่ล้นออกมาแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยพบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าการทำลายโฟมด้วยวิธีอื่นๆ และสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและใช้พลังงานที่ต่ำกว่า



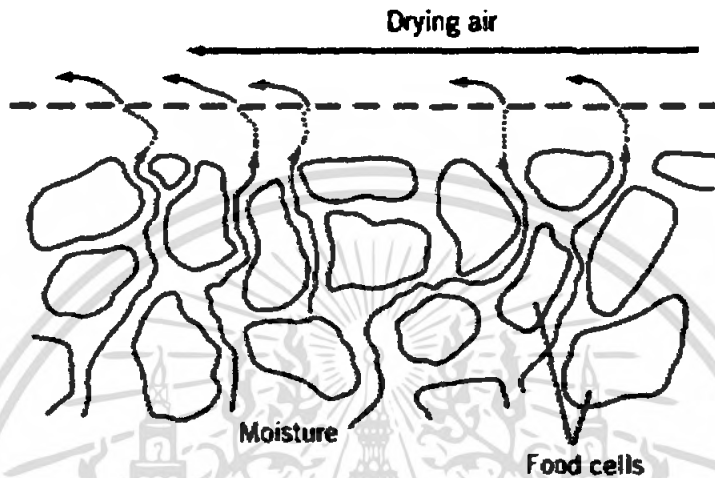
รูปที่ 2.7 แสดงการกำจัดโฟมโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกในกระบวนการผลิตอาหารบรรจุกระป๋อง

ที่มา: Gallego-Juarez (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้ง (วิลด์ รังสาตทอง, 2546)

การทำแห้งโดยอาศัยอากาศร้อน เมื่ออากาศร้อนสัมผัสกับอาหาร ความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของชิ้นอาหารและทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอนี้ก็จะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆ ชิ้นอาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศ ร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวของอาหารลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับอากาศร้อน ความแตกต่างนี้เป็นแรงผลักดันให้น้ำจากอาหารระเหยออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร

ที่มา: วิลด์ รังสาตทอง (2546)

2.4.1 กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร

1. น้ำที่เป็นของเหลวจะเคลื่อนที่ด้วยแรงแคปิลลารี (capillary force)
2. น้ำที่เป็นของเหลวจะเคลื่อนที่โดยการแพร่ เนื่องจากในแต่ละส่วนของชิ้นอาหารมีความเข้มข้นของตัวทำละลายต่างกัน
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับที่ผิวขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งในอาหาร
4. การแพร่ของไอน้ำในโพรงอากาศในชิ้นอาหารเนื่องจากความแตกต่างของความดันไอ

2.4.2 ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content: EMC)

ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่คงเหลืออยู่ในอาหาร ไม่สามารถกำจัดออก ได้ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางอบแห้งในขณะนั้น ความชื้นปริมาณนี้เมื่อเกิดการระเหยจนถึงสภาวะสมดุล จะให้ความความดันไอ (Vapor pressure) เท่ากับความดันย่อยของไอน้ำที่มีในอากาศในขณะนั้น นั่นคือสาเหตุที่ไม่สามารถดึงความชื้นปริมาณนี้ออกจากอาหาร ได้ ซึ่ง โดยทั่วไปการอบแห้งจะเกิดขึ้นได้ เมื่อน้ำในอาหารมีความดันไอสูงกว่าไอน้ำในอากาศ ในทางตรงข้ามถ้าความดันไอน้ำในอาหารมีค่าต่ำกว่า

ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ น้ำในอากาศจะถ่ายเทจากอากาศไป ชังอาหาร ทำให้อาหารมีความชื้นสูงขึ้น

2.4.3 ความชื้นเกาะเกี่ยว (Bound Moisture)

ความชื้นในอาหารซึ่งเมื่อระเหยถึงสภาวะสมดุล จะได้ค่าความ คั้นไอน้อยกว่าความคั้นไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน ความชื้นเกาะเกี่ยวในอาหารมีอยู่ 2 รูป ได้แก่

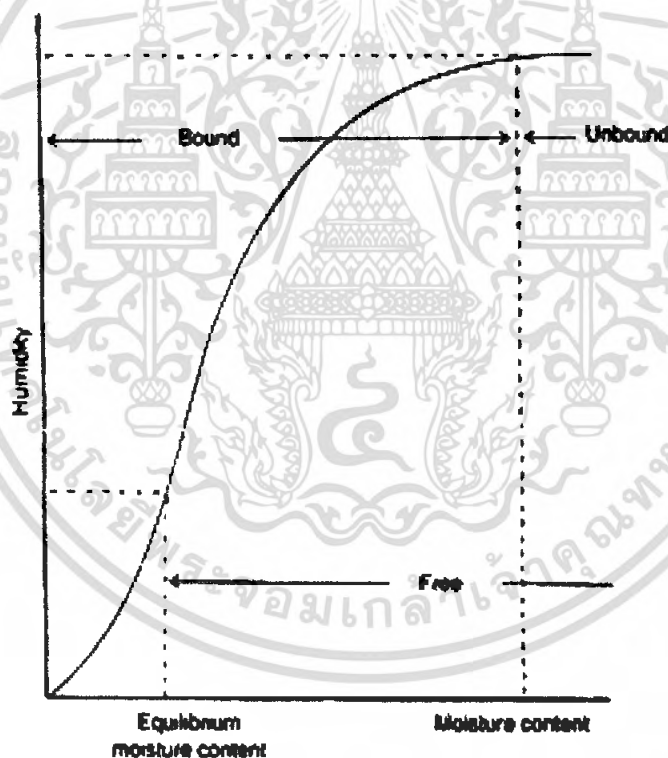
1. โมเลกุลของน้ำที่เกาะเกี่ยวกับกลุ่มอออน เช่น กลุ่มคาร์บอกซิล และ กลุ่มอะมิโน
2. โมเลกุลของน้ำที่มีพันธะไฮโดรเจนกับกลุ่มไฮดรอกซิลและ กลุ่มเอไมค์ ความชื้นอิสระ

(Free moisture)

2.4.4 ความชื้นไม่เกาะเกี่ยว (Unbound Moisture)

ความชื้นในอาหารซึ่งเมื่อระเหยถึงจุดสมดุลแล้วจะให้ค่าความ คั้นไอเท่ากับความคั้นไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ความชื้นในอาหาร ส่วนที่มากกว่าความชื้นสมดุล ซึ่งสามารถกำจัดออกได้ภายใต้สภาวะการอบแห้งในขณะนั้น



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

ที่มา: วิไล รังสาตทอง (2546)

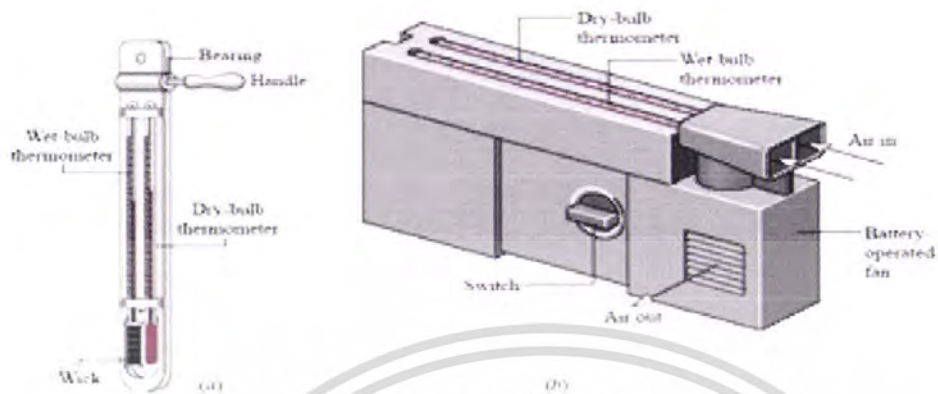
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง (กุลยา เอ็กมตชาญ, 2539)

ในการทำอาหารแห้งต่างๆไป มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็วหรือช้า ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

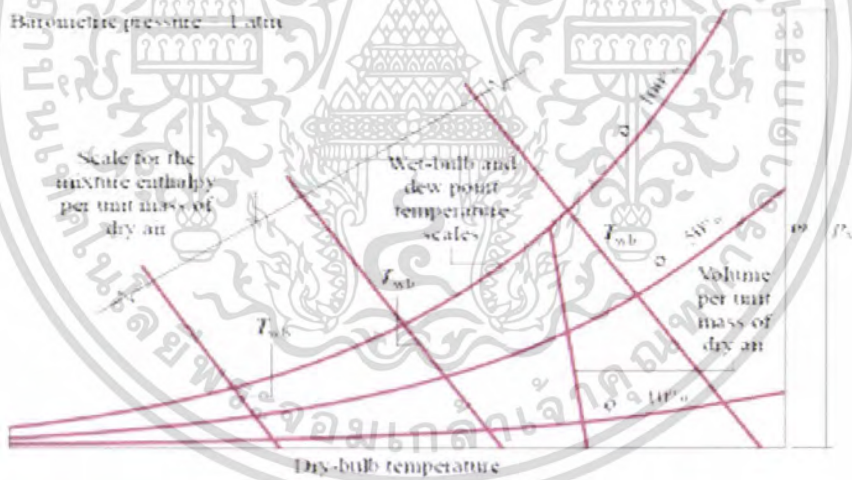
1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนั้นพื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากๆ การอบแห้งก็จะทำได้เร็วขึ้น
2. ขนาดและรูปร่างของอาหาร ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหารเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารหนามากเท่าไรการอบแห้งจะเกิดได้ช้าลง
3. ปริมาณอาหาร อาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณอาหารมากเกินไปเข้าไปในเครื่องอบแห้ง จะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณช่วงกลางๆ น้ำจะระเหยออกได้ไม่สะดวก ร้อนเข้าไปในไม่ค่อนถึง ยิ่งถ้าจัดเรียงตัวกันไม่ดีแล้ว ก็จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก
4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของลม ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำให้ลึหรือ ไม่ขึ้นกับความชื้นของอากาศ และความเร็วของลม นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้ออบก็จะเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน
5. ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำเนื่องจากในที่มีความดันต่ำๆ ลงมาน้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำให้แห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น
6. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนทำให้เสียหาย (Browning or Heat damage) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความร้อนไปทำให้สารอาหารบางตัว โดยเฉพาะพวกแป้งและน้ำตาล เกิดการเผาไหม้โดยปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ลักษณะของอาหารผิดไป การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้จะเกิดได้เร็วขึ้น ถ้ายังใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงๆ จากการศึกษาพบว่าเมื่ออบแห้งอาหารจนมีปริมาณความชื้นประมาณ 15-20% จะเร็วมาก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงนี้ความเข้มข้นของพวกแป้งและน้ำตาลมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดรวดเร็วขึ้นในการทำแห้งอาหาร โดยทั่วไป จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ได้โดยการเติมสารเคมี คือ โซลฟิเตอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในปริมาณ 200-700 ppm. แล้วแต่ประเภทของอาหาร

2.4.6 อุปกรณ์วัดความชื้นในอากาศ Psychrometers



รูปที่ 2.10 Psychrometers (a) sling psychrometer (b) Aspirating psychrometer

ที่มา: พัสกร เจียรตระกูล (2549)



รูปที่ 2.11 Psychrometric chart.

ที่มา: พัสกร เจียรตระกูล (2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 เครื่องอบแห้ง (วิล รังสาคทอง, 2546; อรุณี อภิชาติศรางกุล, 2530)

เครื่องอบแห้งด้วยกระแสลมร้อน (Hot air dryers) เครื่องอบชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักคือ เครื่องถ่ายเทความร้อน (Heater) ใบทัดสำหรับเป่าลมร้อนกระจายทั่วอาหารและทางระบายไอน้ำเพื่อให้ระเหยออกสู่อากาศนอก ถ้าเป็นอาหารที่มีขนาดใหญ่ควรจะอบทีละชุด (Batch process) เพราะใช้เวลาในการอบนาน ส่วนอาหารที่เป็นชิ้น ๆ เช่น ถั่ว ธัญพืช หรือข้าวโพดสามารถใช้ระบบต่อเนื่องได้

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีการมอดนไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน และทำให้สามารถนำอากาศมาหมุนเวียนใช้ใหม่เพื่อประหยัดพลังงาน มีการออกแบบเครื่องมือที่สามารถประหยัดพลังงานหลายแบบเพื่อนำความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่หรือมีการควบคุมความชื้นของอากาศโดยอัตโนมัติ

1. เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา

เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา มีลักษณะเป็น โครงสร้างสองชั้น เตาเผาอยู่ชั้นล่าง เตาบนจะมีทางระบายไอน้ำออก อากาศร้อนและสารที่ได้จากการเผา จะพัดผ่านกองอาหารที่หนาถึง 20 เซนติเมตร มีการใช้เครื่องนี้มาแต่ดั้งเดิมสำหรับการอบแห้งแอปเปิ้ลแผ่นในสหรัฐอเมริกา ฮอปและข้าวมอลต์ในยุโรป การควบคุมสภาวะการทำแห้งค่อนข้างยาก และใช้เวลาในการอบแห้งนาน ใช้แรงงานสูงเนื่องจากต้องคอยกลับผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นอาหารแต่ละชิ้นอาจรับความร้อนไม่เท่ากันและต้องใช้เวลาอบนานทำให้เสียอาหารชิ้นส่วนข้อดีมีความจุสูง สร้างง่ายและใช้ค่าดูแลรักษาต่ำ

2. เครื่องอบแห้งแบบชั้น

เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้ลมพัดผ่านอาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นวางเรียงหรือแขวนไว้ในตู้อบ ทำงานเป็นแบบกะ อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน ภายในตู้จะสร้างเป็นชั้นวางอาหาร ชั้นต่างๆทำด้วยโลหะมอดน ส่วนอาหารจะใส่ในถาดตามชั้นเหล่านี้ อากาศร้อนจะไหลอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/ตารางเมตร ของพื้นที่ผิวถาด นิยมใช้เครื่องอบแห้งชนิดนี้ในการผลิตอาหาร ในปริมาณต่ำ (1-20 ตัน/วัน) และเหมาะสำหรับ โรงงานขนาดเล็ก เพราะค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำ สามารถใช้อบแห้งอาหาร ได้หลายชนิด แต่ควบคุมยาก และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

3. เครื่องอบแห้งแบบสายพาน

เครื่องอบแห้งแบบสายพานจะมีการติดตั้งระบบสายพาน ใว้ภายใน เป็นการทำให้แห้งอาหารซึ่งกองอยู่หนาประมาณ 5 – 15 เซนติเมตร บนสายพานที่มีรูก้อนอยู่ด้านล่างเหมาะสำหรับอบอาหารที่มีขนาดเล็กหรือหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ โดยอากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนผ่านกองอาหารและเคลื่อนที่กลับลงมาเพื่อไม่ให้อาหารปลิวไปจากสายพาน ส่วนมากจะอบให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง จนถึงระดับหนึ่งก่อนที่จะนำไปทำการอบแห้งแบบถึง เพื่อการลดความชื้นขั้นสุดท้าย เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีอัตราการผลิตสูงและสามารถควบคุมการทำงานได้ดีใช้ในการทำแห้งผักและผลไม้ได้ถึง 5.5 ตัน/ชั่วโมง

4. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบดมีลักษณะแตกต่างจากเครื่องอบแห้งอื่นๆ คือ ในระหว่างทำให้แห้งอาหารจะลอยตัวในลมร้อนเพราะฐานของเครื่องอบนี้จะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูทั้งแผ่น เมื่อลมร้อนผ่านพ่นผ่านรูเหล่านี้จะเกิดแรงดันซึ่งทำให้อาหารสามารถลอยตัวอยู่ได้ วิธีนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารให้มากที่สุด ทำให้การทำแห้งง่ายขึ้น นอกจากนี้แล้วยังมีขนาดกะทัดรัด สามารถควบคุมการทำแห้งได้ดี ให้ประสิทธิภาพด้านความร้อนและอัตราการทำแห้งสูงเครื่องนี้เหมาะสำหรับอบแห้งอาหารที่มีขนาดเล็ก เช่น ธัญพืช อาหารจำพวกถั่ว แครอท มันฝรั่ง หอมหัวใหญ่ เนื้อ เป้ง กาแฟ โกโก้ น้ำตาล เกลือ เป็นต้น

5. เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์มีขนาดใหญ่กว่าแบบชั้น เพราะสามารถจุชั้นต่างๆ ได้หลายชุด เป็นเครื่องที่ใช้ลมร้อนในการทำแห้งอาหารแบบชั้นบางๆ บนถาดซึ่งซ้อนอยู่บนรถบรรทุกที่จัดให้เคลื่อนที่กึ่งอัตโนมัติผ่านอุโมงค์ที่บรรจุลมไว้ ตู้อบมีลักษณะคล้ายอุโมงค์อาจยาวถึง 24 เมตร กว้าง 2 เมตร สูง 2 เมตร ในปัจจุบันวิธีนี้ได้รับความนิยมมากกว่าการอบแห้งแบบใช้สายพานและเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าวิธีอื่น ใช้แรงงานต่ำ และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า

6. เครื่องอบแห้งแบบนิวเมติกส์

อาหารที่เป็นชิ้นหรือผงจะถูกอบแห้งอย่างต่อเนื่องในท่อโลหะแนวนอนหรือแนวตั้ง ในเครื่องอบแห้งแบบนิวเมติกส์และใช้ไซโคลนเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วออกมา เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้เงินลงทุนต่ำแต่ให้อัตราการทำแห้งและประสิทธิภาพของความร้อนสูง ควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ดี นิยมใช้วิธีนี้หลังการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าปกติ เช่น มันฝรั่งเม็ด ไข่ผง และนมแบบพิเศษ

7. เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

เครื่องอบแห้งแบบโรตารีประกอบด้วย ภาชนะโลหะทรงกระบอกหมุนเวียนเป็นมุมเล็กน้อยอยู่ภายใน และมีซี่โลหะเพื่อทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำหรือลมร้อนขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในเครื่องอบ วิธีนี้เหมาะกับอาหารที่มีแนวโน้มที่จะจับตัวหรือเกาะกัน ในเครื่องอบแห้งแบบสายพานหรือถาด อย่างไรก็ตาม ความเสียหายเนื่องจากการขีดขูดหรือการกระทบกันในเครื่องทำให้เครื่องนี้ใช้กับอาหารไม่กี่ชนิด เช่น เมล็ดโกโก้ ผลึกน้ำตาล

8. เครื่องอบแห้งแบบสายพานแขวน

เครื่องอบแห้งแบบสายพานแขวนใช้ในการอบแห้งอาหารชิ้นเล็กๆ ที่มีขนาดสม่ำเสมอ เช่น ถั่วหรือผักหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมบนสายพานที่มีรูเล็กๆ อยู่ด้านล่าง โดยสายพานนี้จะแขวนหลวมๆ ระหว่างลูกกลิ้ง มีการเป่าลมร้อนผ่านกองอาหาร การเคลื่อนที่ของสายพานจะทำให้เกิดการผสมและกลับอาหารให้เกิดผิวหน้าใหม่สัมผัสกับลมร้อนเสมอ เครื่องอบแห้งนี้ให้อัตราการอบแห้งสูง คือ ใช้เวลา 55 นาที สำหรับผักเทียบกับ 5 ชั่วโมงถ้าใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง ควบคุมได้ดีและผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายจากความร้อนน้อยมากแต่ไม่เหมาะกับอาหารที่มีความหนืดสูง

9. การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์ (Sun and solar drying)

เป็นวิธีที่ง่ายใช้เทคโนโลยีที่มีราคาถูก เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำไม่ต้องการพลังงานอื่นหรือความเชี่ยวชาญแรงงาน แค่มียี่ห้อคือ ควบคุมสภาวะการอบแห้งยาก ให้อัตราการตากแห้งต่ำกว่าเครื่องอื่น ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำและมีความแตกต่างกันสูง นอกจากนั้นการตากแห้งยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล ใช้เวลานานและใช้เวลาสูงกว่าวิธีอื่น ๆ นิยมใช้กับผลไม้หรือเมล็ดธัญพืช

2.4.8 การทำแห้งแบบชั้นบาง (Thin layer drying) (สิงหนาท พวงจันทร์แดง, 2546)

การทำแห้งผลผลิตทางการเกษตร อัตราการถึงความชื้นออกจากอาหารขึ้นกับเวลา งานวิจัยต่างๆ ส่วนมากได้รายงานเป็นอัตราส่วนความชื้นต่อเวลา (Moisture ratio per time) หรือความชื้น ได้มีผู้คิดสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำแห้งแบบชั้นบาง (thin layer drying model) โดย Thompson และ คณะ (1968) ได้เสนอ Thomson equation ดังนี้

$$t = A \ln MR + B \ln(MR)^2$$

นอกจากนี้ Henderson และ Perry (1976) ได้เสนอสมการกึ่งทฤษฎี โดยเพิ่มค่าคงที่ A เข้าไปอีก ได้สมการดังนี้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = A \exp(-k_1 t)$$

และ Lewis (1921) ได้เสนอ Lewis equation ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกฎของนิวตัน ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์การทำแห้งของเมล็ดธัญพืช โดยสมมติให้อัตราความชื้นที่สูญเสียไปรอบเมล็ดธัญพืช เป็นสัดส่วนกับความต่างระหว่างความชื้นในเมล็ดธัญพืชกับความชื้นที่จุดสมดุลได้สมการดังนี้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-k_2 t)$$

นอกจากนี้ยังมี สมการของ Page ซึ่งเป็นสมการที่นิยมสำหรับหารทำแห้งแบบชั้นบาง (Akpinar, 2006)

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-k_2 t^n)$$

เมื่อค่า k_1 , k_2 และ n คือค่าคงที่ของสมการทำแห้งในสมการของ Newton และสมการของ Page ตามลำดับเมื่อ

MR = อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้น

M = ความชื้น (%db)

M_e, M_o = ความชื้นสมดุล (%db), ความชื้นเริ่มต้น (%db)

t = เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (นาท)

2.5 การอัดผ่านเกลียว (Extrusion)

2.5.1 กระบวนการ Extrusion (ชนิตา หันสวาสดี, 2549)

กระบวนการ extrusion เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการการทำให้พองด้วยแรงอัดที่อุณหภูมิสูง (extrusion) ซึ่งในปัจจุบันมีการนำ extrusion technology มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เช่นอาหารเช้าชนิดที่บริโภคได้ หรือที่เรียกว่า ready to eat breakfast cereal และขนมขบเคี้ยว (rice snack) จากแป้งและธัญพืชชนิดต่าง ๆ ซึ่งหลักการของ extrusion นั้นจะเป็นการทำให้เกิดการพองตัวของแป้งที่ได้รับความร้อนจากขดลวดและความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียว ทำให้แป้งและองค์ประกอบอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหล่านี้เคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศ ความดันจะลดลงกระทันหัน ไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหล่านี้จะกระจายระเหยออกทันทีและดันก้อนแป้งเกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ เครื่อง extrusion นี้ มีทั้งชนิดสกรูเดี่ยว (single screw) และสกรูคู่ (twin screws) เทคโนโลยีนี้สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ เช่น เป็นแผ่นเล็ก ๆ (flake) หรือขึ้นรูปเป็นรูปลักษณะต่าง ๆ เช่น เหลี่ยม กลม หรือเกลียว คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทาง rheology ของแป้ง ความชื้นของส่วนผสมก่อนผ่านเครื่อง extruder ระยะเวลาทำให้สุก (cooking time) ความดัน และอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการ extrusion ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีการเติมสารปรุงรส (flavoring material) วิตามิน แร่ธาตุ โปรตีนหรือธัญพืชชนิดอื่นมาผสมหรือการเติมสารอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย

การดันผ่านเกลียวอัดหรือเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่รวมหลายๆ กรรมวิธีเข้าด้วยกัน เช่น การผสม การคั้น การนวด การเนียน การขึ้นรูป ส่วนประกอบหลักของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ได้แก่ สกรูบี้ม (screw Conveyer) โดยเครื่องจะอัดอาหาร ให้ออกมาในรูปกึ่งเหลว และอาหารนี้จะถูกอัดหน้าแปลน (die) ที่อยู่ปลายเกลียวหรือสกรู ถ้ามีการให้ความร้อนแก่อาหารด้วยด้วยจะเรียกกระบวนการนี้ว่าการอัดผ่านเกลียวอัดโดยใช้ความร้อน (extrusion cooking หรือ hot extrusion)

การใช้เทคนิคอัดผ่านเกลียวอัดในการผลิตอาหารมีข้อดีมากมาย โดยเฉพาะการทำให้กระบวนการแปรรูปอาหารง่ายขึ้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ โดยการทำงานของเครื่องเอง นั่นคือในขณะที่วัตถุดิบเคลื่อนที่ผ่านเครื่องจะได้รับพลังงานความร้อน ในเวลาสั้นแต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหารใกล้เคียงกับการใช้กระบวนการแบบดั้งเดิมอันได้แก่ การหุงต้ม การอบ การย่าง และการทำให้แห้งปัจจุบันจึงมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการอัดผ่านเกลียวอัดนี้ เพื่อผลิตอาหารชนิดต่างๆ มากมาย นอกจากนั้นยังสามารถควบคุมรูปร่างและลักษณะรวมทั้งคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดซึ่งผลิตด้วยวิธีอื่นได้

วัตถุประสงค์หลักของการอัดผ่านเกลียวอัดคือ การเพิ่มความหลากหลายของอาหาร เพื่อเพิ่มชนิดของอาหาร เพื่อเพิ่มชนิดของอาหารจากส่วนผสมพื้นฐานออกมาให้มี รูปร่าง สี กลิ่น รส แบบต่างๆ การอัดผ่านเกลียวอัดโดยใช้ความร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง เวลาสั้น (HTST) ซึ่งจะช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ อย่างไรก็ตามวิธีการหลักในการเก็บรักษาอาหารที่ถูกดัน

ผ่านเกลียวอัดทั้งแบบร้อนและเย็นคือการลดค่าวอเตอร์แอกทีวิตีในผลิตภัณฑ์ สรุปเหตุผลที่การดันผ่านเกลียวอัดกำลังได้รับความนิยมมากคือ

1. ความหลากหลาย กระบวนการดังกล่าวสามารถสร้างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ได้โดยการเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารหรือเปลี่ยนสภาวะการทำงานของเครื่องได้ กระบวนการมีความยืดหยุ่นสูงสามารถดัดแปลงให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งตรงกับความต้องการของผู้บริโภคได้

2. ลดค่าใช้จ่าย การคัดผ่านเกลียวอัดเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและให้ผลผลิตสูงกว่าวิธีการต้มหรือการขึ้นรูปอื่นๆ Darrington (1987) ได้รายงานไว้ว่า อาหารเข้าประเภทซีเรียลที่ได้จากการดันผ่านเกลียวอัดจะประหยัดวัตถุดิบได้ถึง 19% พลังงาน 100% แรงงาน 14% และเงินทุน 44% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม

3. ให้อัตราการผลิตสูงและสามารถทำการผลิตในลักษณะต่อเนื่องแบบอัตโนมัติได้ ความสามารถในการผลิตอาหารขบเคี้ยวด้วยอัตราการผลิตสูงถึง 315 กิโลกรัม/ชั่วโมง เช่น อาหารจากเมล็ดธัญพืชซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ 1,200 กิโลกรัม/ชั่วโมง อาหารสัตว์แห้งแบบแผ่น 9,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (Mans, 1982)

4. ไม่มีของเสียจากกระบวนการ

การดันผ่านเกลียวอัดเป็นตัวอย่างเป็นอย่างดีของการขยายขนาดโดยการขึ้นรูป อาหารที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ หรือเป็นผงจะถูกขึ้นรูปเป็นอาหารที่มีชิ้นใหญ่ขึ้น ตัวอย่างอื่นของการขยายขนาดได้แก่การแกะกันของแป้ง และการใช้เครื่องมือในการขึ้นรูปอื่นๆ

อย่างไรก็ตามเอ็กซ์ทรูเดอร์มีข้อจำกัดในการผลิตอาหารบางชนิด เช่นขนมปังแผ่นบางๆ ซึ่งถ้าผลิตโดยเครื่องนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายวอฟเฟิลหรือขนมปังกรอบมากกว่า แต่ข้อจำกัดดังกล่าวไม่ใช่ปัญหาใหญ่เนื่องจากความยอมรับของผู้บริโภคไม่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะเหมือนผลิตภัณฑ์เดิมหรือไม่เท่านั้น เพราะผู้บริโภคอาจเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะเหมือนผลิตภัณฑ์เดิมหรือไม่เท่านั้น เพราะผู้บริโภคอาจเห็นว่าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจก็ได้ ยกตัวอย่างการผลิตขนมขบเคี้ยวแบบพองๆ หรือผลิตภัณฑ์ธัญพืชซึ่งใช้ทานในตอนเช้า การใช้เทคนิคดังกล่าวจึงมีศักยภาพสูงในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ

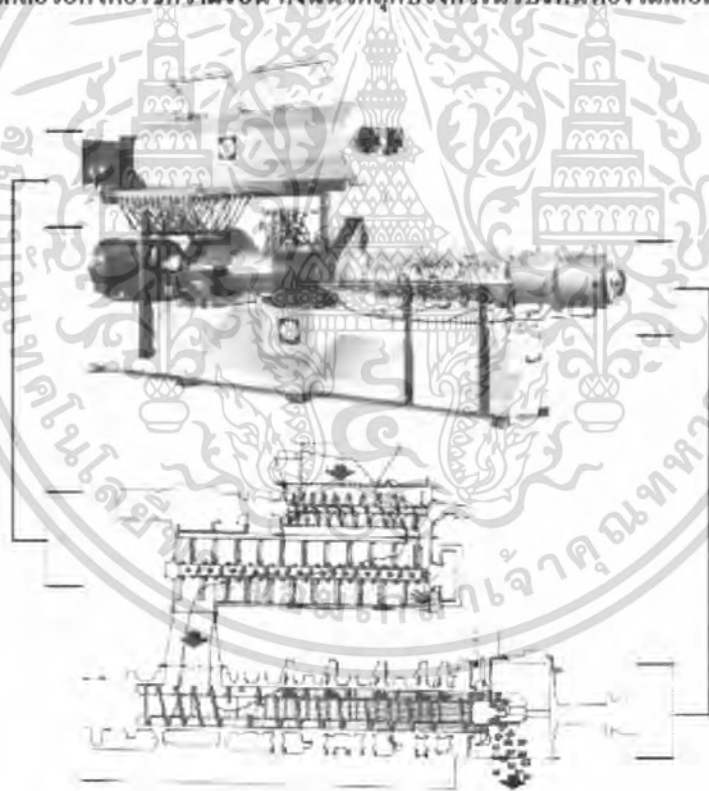
2.5.2 ทฤษฎี Extrusion (วิลโลว์ ลางศาตทอง, 2546)

ปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่อัดผ่านเกลียวอัดมี 2 ข้อคือ สภาวะการทำงานของเครื่องและคุณสมบัติด้านการไหลของอาหาร ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการได้แก่ อุณหภูมิ ความดันเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลน (die aperture) และอัตราการหมุน การออกแบบภายในบาร์เรล (barrel) ความเร็วและรูปทรงเรขาคณิต (geometry) ของเกลียวจะมีผลต่ออัตราการหมุน คุณสมบัติของวัตถุดิบก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของอาหารที่ได้ โดยมีปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ความชื้น ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยเฉพาะชนิดและปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล

การเพิ่มความชื้นในอาหารทำได้โดยการเติมน้ำ ในระหว่างการดันผ่านเกลียวอัดอาหารประเภทแป้ง เช่น เม็ดข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า โดยใช้ความร้อนด้วย อาหารจะได้รับแรงเฉือนอย่างรุนแรง เม็ดแป้งจะบวม ดูดน้ำและกลายเป็นเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้างของโมเลกุลใหญ่จะเปิดออกและกลายเป็นมวล

ที่มีความหนืดสูงและเกิดคุณสมบัติแบบพลาสติก แป้งจะละลายน้ำได้แต่ไม่ถูกย่อย การวัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิและอัตราการเดินต่างๆทำได้โดยการวัดครรชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index, WAI) และสมบัติการละลายน้ำ (water solubility characteristic, WSC) โดยทั่วไปค่า WAI ของผลิตภัณฑ์จากธัญพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความรุนแรงของกรรมวิธี และมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 180 – 200 องศาเซลเซียส ค่า WSC ลดลงเมื่อค่า WAI สูงขึ้น มีการวัดค่าความหนืดของแป้งบดในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากธัญพืชเพื่อหาความรุนแรงของกระบวนการหรือเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในโรงงานจำลองเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง

สำหรับการค้นผ่านเกลียวอัดอาหารประเภทโปรตีน เช่น ถั่วเหลืองและแป้งถั่วหรือหลังการสกัดน้ำมัน โครงสร้างแบบทุติยภูมิของโปรตีนจะเปิดออกในสภาพร้อนขึ้นทำให้เกิดมวลที่มีความหนืดสูงและมีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก โปรตีนจะเป็นโพลีเมอร์ที่เกาะเกี่ยวกัน (Cross-linked) จัดเรียงตัวกันใหม่และเกิดโครงสร้างเส้นใยของโปรตีนพืช (texturized vegetable protein, TVP) ค่าครรชนีความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (nitrogen solubility index) จะเป็นค่าที่ใช้วัดระดับการเสียดสภาพของโปรตีนค่านี้จะลดลงระหว่างการค้นผ่านเกลียวอัดโดยใช้ความร้อน ดังนั้นวัตถุดิบจึงควรมีโปรตีนที่ยังไม่เสียดสภาพในปริมาณสูง



รูปที่ 2.12 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder)

ที่มา : ธาตรี จีราพันธุ์ (2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ (2535) ได้ทำการศึกษาการนำผักโขมไปลวกที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮด์ จะทำให้สีที่ไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าภายหลังจะเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 250 องศาฟาเรนไฮด์ บางสมมติฐานกล่าวว่า การลวกที่อุณหภูมิน้ำเดือด (212 องศาฟาเรนไฮด์) จะทำให้ออกซิเจนในผักเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับคลอโรฟิลล์ ทำให้มีการเปลี่ยนสี แต่ถ้าวลวกที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮด์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะไม่เกิดขึ้น พร้อมกับออกซิเจนที่มีอยู่จะถูกจัดให้หมดไป จึงไม่เกิดปฏิกิริยาภายหลังแม้จะเพิ่มอุณหภูมิสูงถึง 250 องศาฟาเรนไฮด์ บางสมมติฐานกล่าวว่า การลวกที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยขจัดกรดในผัก จึงทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ของคลอโรฟิลล์ในระหว่างการฆ่าเชื้อ ทั้งนี้เนื่องจากพบว่า การลวกผักในสารละลายด่างจะช่วยทำให้สีดีขึ้น บางสมมติฐานกล่าวว่า เกิดเนื่องจากเอนไซม์ chlorophyllase จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮด์ โดยเอนไซม์นี้จะเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ ให้เป็นไฟลลิน (phyllin) ซึ่งมีสีเขียว และได้มีการศึกษารายงานเกี่ยวกับ การศึกษาอุณหภูมิและเวลาของการลวกเพื่อให้ได้กรรมวิธีการผลิตพริกแห้งที่เหมาะสมสำหรับพริกพันธุ์จินดา โดยการนำพริกสดที่ผ่านการคัดเลือกมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำพริกไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 20 ppm เป็นเวลา 30 นาที ล้างน้ำสะอาด และนำไปแช่ต่อในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 500 ppm เป็นเวลา 30 นาที ลวกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 6, 9, และ 12 นาที เมื่อทดสอบ peroxidase แล้วไม่พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น ยกเว้นพริกตัวอย่างที่ผ่านการลวกที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที (พริกมีสีคล้ำลงและมีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นเล็กน้อย) เท่านั้น จึงคาดได้ว่าเอนไซม์น่าจะถูกทำลายได้ตั้งแต่การใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีขึ้นไปและที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีขึ้นไป โดยพริกมีสีเข้มสดก่อนลวกได้เปลี่ยนเป็นสีส้มทุกตัวอย่างหลังการลวก เมื่อดูลักษณะของพริกหลังการลวกพบว่า เมื่อใช้เวลาลวกนานขึ้นปรากฏถึงที่ไม่ดี คือพริกมีลักษณะนิ่ม เม็ดที่อยู่ภายในจะแตกออกมา โดยเฉพาะที่การลวก 12 นาทีทั้งสองอุณหภูมิ การลวกที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีให้คุณภาพพริกแห้งที่ดีและเหมาะสมกับกรรมวิธีการทำแห้งมากที่สุด อีกทั้งมีการศึกษางานวิจัย การรักษาสีของน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปในระหว่างการผลิต โดยการแปรวิธีในการรักษาสีของน้ำบัวบกในขั้นตอนการเตรียม 2 วิธี คือการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส และการลวกในน้ำอุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส ร่วมกับการแช่สารละลายกรดซิตริก 0.005% (pH 4.5) ก่อนนำมาคั้นแปรระยะเวลาที่ในการลวกเป็น 0 - 10 นาที และเติม $ZnCl_2$ ปริมาณ 75 ppm วัดการเปลี่ยนแปลงสีด้วยระบบ Hunter และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวม โดยใช้ Ranking test พบว่าการลวกในน้ำบัวบกที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 นาที ช่วยรักษาสีเขียวใกล้เคียงกับสีของน้ำบัวบกมากที่สุด

Rocha et al. (1992) ได้ศึกษาอัตราการทำแห้งใบสาระแทน (Mint) และใบ โหระพา (basil) พบว่าการลวกช่วยลดเวลาการทำแห้ง ถ้าวลวกที่อุณหภูมิที่ไม่ผ่านการลวก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีจากการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ a, b และ เม็ดสีแคโรทีนอยด์ (Carotenoid Pigment) และยังทำให้เกิด Enzymatic

และ Nonenzymatic browning และการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์และเม็ดสีแคโรทีนอยด์ การลวก 15 วินาทีก่อนการทำแห้งจะช่วยให้การทำแห้งเร็วขึ้น

ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล (2549) ได้ศึกษาคลื่นอุลตราโซนิคในกระบวนการผลิตอาหารสามารถใช้คลื่นอุลตราโซนิคยับยั้งกิจกรรมต่างๆ ของเอนไซม์ทำให้ลดการเสื่อมเสียสภาพหรือความผิดปกติของรสชาติของอาหารได้และความแรงของฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการควิเดชั่นจะช่วยชะล้าง และทำความสะอาดสิ่งตกปรกวมถึงแบคทีเรียที่ติดอยู่บนบริเวณผิวของอาหารได้

Fabiano, A.N. Fernandes et al. (2007) ได้ศึกษาการทำ Pre-treatment ด้วยคลื่น Ultrasound ก่อนทำการอบแห้งกล้วย (Musa .ssp) โดยลวกในอ่าง Ultrasound ที่ใส่น้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้คลื่น Ultrasound ที่ความถี่ 25 kHz เป็นเวลา 10, 20, 30 นาที พบว่า การทำ Pre-treatment นี้สามารถช่วยลดเวลาการทำแห้งทั้งหมดได้ 11 %

Akpinar, E.K. et al. (2005) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งใบผักชีฝรั่ง โดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 56, 67, 85 และ 93 °C โดยใช้ความเร็วลม 1 m/s และการอบแห้งโดยใช้การตากแดด ตามธรรมชาติ แล้วนำข้อมูลการอบแห้งมาหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกจากหลาย ๆ โมเดลเช่น Newton, Page, Henderson, Verma et al เป็นต้น ซึ่งพบว่าโมเดลที่เหมาะสมกับการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนคือ Page model และ โมเดลที่เหมาะสมกับการอบแห้งโดยใช้วิธีการตากแดดตามธรรมชาติ คือ The Verma et al . model

Doymaz , I. (2005) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งใบมินต์ โดยใช้ตู้อบแบบ Cabinet dryer ที่อุณหภูมิ 35 ,45 ,55 และ 60 °C ซึ่งค่าความชื้นเริ่มต้น คือ 84.7 ± 0.5 %(wb) และความชื้นสุดท้ายคือ 10 ± 0.5 %(wb) แล้วนำข้อมูลการอบแห้งมาหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ทั้งหมด 4 โมเดล คือ The Lewis, The Henderson and Pabis ,The Page and The logarithmic model เมื่อ ใช้อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งสูงขึ้น จะทำให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้นด้วย

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

1. ผักหวานบ้าน
2. สารเคมี
 - folin ciocalteu
 - Na_2CO_3
 - เอทานอล ความเข้มข้น 95%
 - เอทานอล ความเข้มข้น 50%

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบเป็นชั้น ยี่ห้อ K.N.T
2. เครื่องวิเคราะห์ค่า a_w ยี่ห้อ Aqualab รุ่น Model Series 3 TE
3. เครื่องวัดสี Tri-Stimulus Colori-meter รุ่น JC-801
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Yamato Electronic Balance รุ่น HB-120
5. ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM400
6. โถสุตความชื้น
7. Aluminum can
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. อ่างพลาสติก
10. เครื่องปิดผนึกถุง ยี่ห้อ Dako รุ่น SK-210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวางแผนการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงแผนการทดลองการปรับสภาพและการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

การทดลอง	การปรับสภาพ	อุณหภูมิในการทำแห้ง
1	ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ควบคุม)	45 °C
2		55 °C
3		65 °C
4	ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือด	45 °C
5		55 °C
6		65 °C
7	ผ่านการลวกด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	45 °C
8		55 °C
9		65 °C

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ดังนั้นประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด = 18 การทดลอง

3.3 ขั้นตอนการทดลอง (ภาคผนวก ก)

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำผักหวานบ้านจากตลาดหัวตะเภาเข้ามาเก็บไว้ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส

- นำผักหวานบ้านมาล้างด้วยน้ำสะอาด
- สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะแกรงเป็นเวลา 5 นาที
- นำมาคัดเลือกเฉพาะส่วนที่เป็นใบ
- เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความชื้นตามหลัก AOAC, 2000
- นอกจากนี้เราจะทำการเก็บตัวอย่างเป็นจำนวน 10 กรัมเพื่อนำมา freeze dry เพื่อนำมา

วิเคราะห์สาร โพลีฟีนอลเริ่มต้น

3.3.2 การปรับสภาพ

ในการศึกษาผลกระทบของการปรับสภาพก่อนการทำแห้งแบ่งเป็น

- การลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที (Sbalini et al., 2007)

ในน้ำร้อนปริมาณ 2 ลิตร

- การลวกด้วยคลื่นอุลตราโซนิคที่น้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ที่ความถี่ 28

กิโลเฮิร์ตซ์ (Fernandes et al.2007) ในปริมาณน้ำ 8 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทำแห้ง

การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

1. นำตัวอย่างผักหวานหลังการปรับสภาพแล้วมา 500 กรัมต่อการทดลอง
2. นำมาเกลี่ยเป็นชั้นบางบนตะแกรง
3. วางในตู้อบลมร้อนที่มีความเร็วลม 0.24 เมตรต่อวินาที ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส
4. บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักระหว่างการทำแห้งทุก 5 นาที ใน 10 ครั้งแรก จากนั้นบันทึกทุก 10 นาที ใน 10 ครั้งและถัดไปทุก 20 นาที
5. ร่อนน้ำหนักคงที่ แล้วนำออกจากตู้อบลมร้อน
6. นำไปบดแล้วบรรจุใส่ถุงเพื่อวิเคราะห์คุณภาพผักแห้งและนำไปใช้ในกระบวนการอื่น

3.4 วิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

3.4.1 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (AOAC, 2000) มีขั้นตอนดังนี้

1. อบด้วยแก้วพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ปิดฝาด้วย นำมาใส่ในโถตุคความชื้น ปิดฝาโถทันที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
3. ชั่งน้ำหนักด้วยพร้อมฝาโดยเอาออกทีละใบ และต้องปิดโถทุกครั้งที่เอาถ้วยออก
4. ใส่ตัวอย่างอาหารประมาณ 2 กรัม ลงในถ้วย บันทึกน้ำหนักด้วยพร้อมฝา และตัวอย่าง
5. เขย่าด้วยเล็กน้อยเพื่อให้อาหารกระจาย อย่างสม่ำเสมอ และกระจายเต็มพื้นด้วย
6. นำถ้วยพร้อมตัวอย่างเข้าตู้อบที่ได้เตรียมให้มีอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสแล้ว วางฝาไว้ข้างๆด้วย อบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นับจาก อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส
7. เอาตัวอย่างออกจากตู้โดยปิดฝาด้วยให้สนิททุกใบ ใส่ในโถตุคความชื้น ปิดฝาโถให้สนิท ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
8. ชั่งน้ำหนักด้วยพร้อมฝาและตัวอย่างแห้ง

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

$$M(\% db) = \left(\frac{m - m_s}{m_s} \right) \times 100$$

เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก

$$M(\% wb) = \left(\frac{m - m_s}{m} \right) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ค่า water activity (a_w)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่า a_w ยี่ห้อ Aqualab รุ่น Model Series 3 TE และค่า water activity (a_w) เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอในสารละลายหรือวัสดุอาหาร (P) และความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_0) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นที่สภาวะสมดุล water activity จะสัมพันธ์กับความชื้นสมดุล (Equilibrium Relative Humidity : ERH) ของสิ่งแวดล้อม ดังสมการ

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

$$ERH = a_w \times 100$$

มีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดเครื่องวิเคราะห์ค่า a_w ทิ้งไว้ 30 นาที ก่อนการวัดค่า
2. ทำการสอบเทียบค่ามาตรฐานโดยใช้น้ำกลั่น ทำการวัดค่า a_w ให้มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด
3. นำตัวอย่างที่ต้องการวัดใส่ในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างวัดค่า a_w โดยใส่ให้เต็มพื้นล่างของ

ถ้วยวัด

4. ทำการวัดค่า a_w อ่านค่าที่ได้ แล้วบันทึกผล

3.4.3 การวัดค่าสี (Goncalves, 2007)

วัดค่าสีโดยเครื่อง Tri-Stimulus Colori-meter ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด D65 ที่ Standard observer angle 10° ทำการสอบเทียบมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง วัดค่า L^* (ค่าความสว่าง), a^* (แดง/เขียว), b^* (เหลือง / น้ำเงิน) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดเครื่องวัดสีทิ้งไว้ 30 นาที
2. ตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสงตามที่ต้องการ
3. ทำการสอบเทียบมาตรฐานก่อนการวัด โดยวางถ้วยแก้วใสสำหรับใส่ตัวอย่าง บนที่วางตัวอย่างของเครื่องวัดสี จากนั้นทำการสอบเทียบมาตรฐาน เทียบค่าที่อ่านได้กับค่าที่เป็นมาตรฐาน ให้มีค่าใกล้เคียงกันตามที่ต้องการ

4. ทำการวัดสีตัวอย่าง โดยใส่ตัวอย่างในถ้วยแก้วใส ทำการวัดตัวอย่างละ 2 ซ้ำ
5. อ่านค่าที่ได้ แล้วบันทึกผลค่า L^* a^* b^*
6. ทำการสอบเทียบมาตรฐานใหม่หลังจากวัดตัวอย่างไปแล้ว 10 ครั้ง

การคำนวณ

จากนั้นนำมาที่ได้ มาคำนวณค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) จากสมการ

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

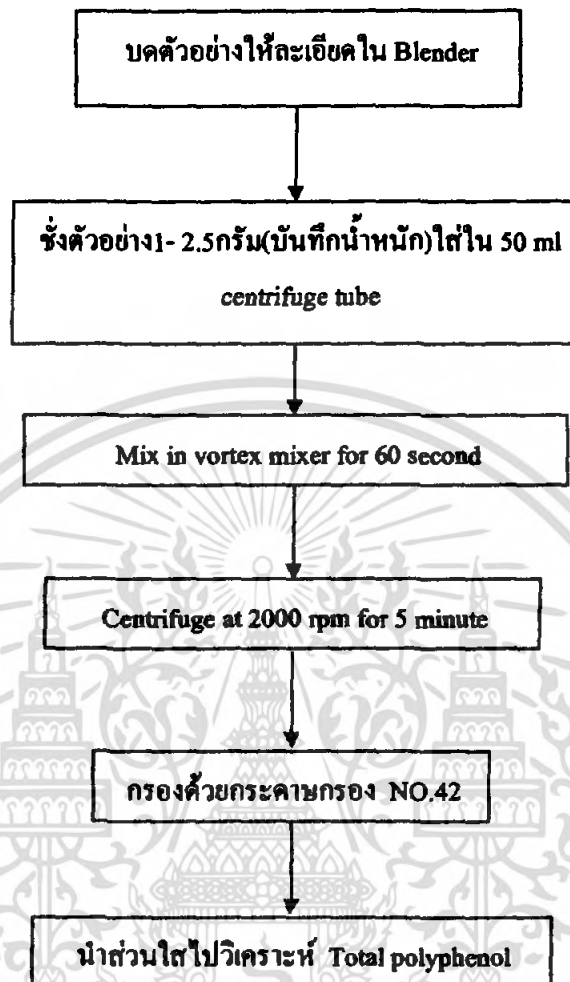
“0” หมายถึงค่าอ้างอิงที่อ่านจากสัททวนสค ค่า L^* , a^* และ b^* จะเป็นตัวชี้วัด ความสว่าง ความ เป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ความสำคัญ ส่วนสัททวนสคที่ใช้จะเป็นตัวอ้างอิง อิงค่า ΔE^* มากแสดงว่าสีที่เปลี่ยนแปลง ไปจากเดิมก็ยิ่งมาก

3.4.4 การหาปริมาณสารโพลีฟีนอล

ขั้นตอนการตรวจดังนี้

1. สกัดสารตัวอย่าง
2. จากนั้นเตรียมสาร Standard Gallic acid (การเตรียม Standard series 6 ความเข้มข้น สำหรับ ทำ standard curve)
 - 1) Pipet 0.25ml (น้ำกลั่น1.75ml)
 - 2) Pipet 0.5 ml (น้ำกลั่น1.75ml)
 - 3) Pipet 1 ml (น้ำกลั่น1.75ml)
 - 4) Pipet 1.5 ml (น้ำกลั่น1.75ml)
 - 5) Pipet 2 ml (น้ำกลั่น1.75ml)
 - 6) blank
3. นำสารตัวอย่างที่สกัดเตรียมใส่ 10ml of 1/10 dilute folin ciocalteu stock reagent จากนั้นใส่ 8 ml of Na_2CO_3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. นำไปแช่ใน water bath อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็น สีน้ำเงิน
5. วัดadsorbance ที่ 765nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer และ รายงานในรูปของ gallic acid equivalents (mg/100g of dry weight)

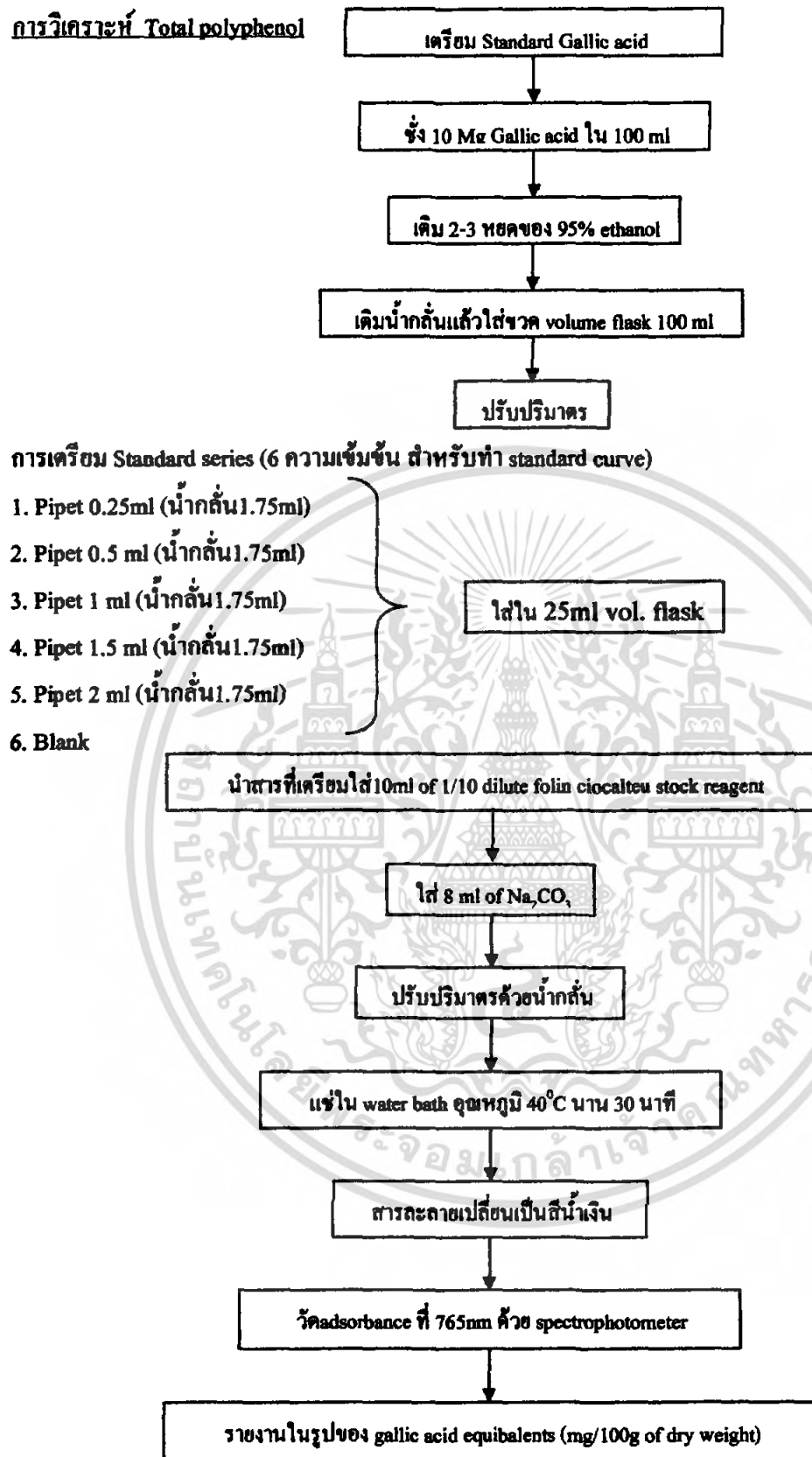
การสกัดสารตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 แผนผังการสกัดสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ Total polyphenol



รูปที่ 3.2 แผนผังการวิเคราะห์ Total polyphenol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการทำแห้ง

ความชื้นของผักหวานเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และที่ผ่านการปรับสภาพที่สภาวะต่าง ๆ รวมทั้งความชื้นสุดท้ายของผักหวานที่ผ่านการอบแห้ง ได้แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าความชื้นเริ่มต้นของผักหวานที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที มีความชื้นของผักหวานเริ่มต้นมากที่สุดคือ 91.24 – 91.96 % wb

4.1.1 อัตราการทำแห้ง

เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนถึงความชื้นสมดุล (5 ± 1 %wb) ของผักหวานที่สภาวะต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่า การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิค ที่อุณหภูมิร้อน 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดคือ 60 นาที และจากรูปที่ 4.1 พบว่าที่อุณหภูมิร้อน 65 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำแห้งเร็วกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำคือที่ 55 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

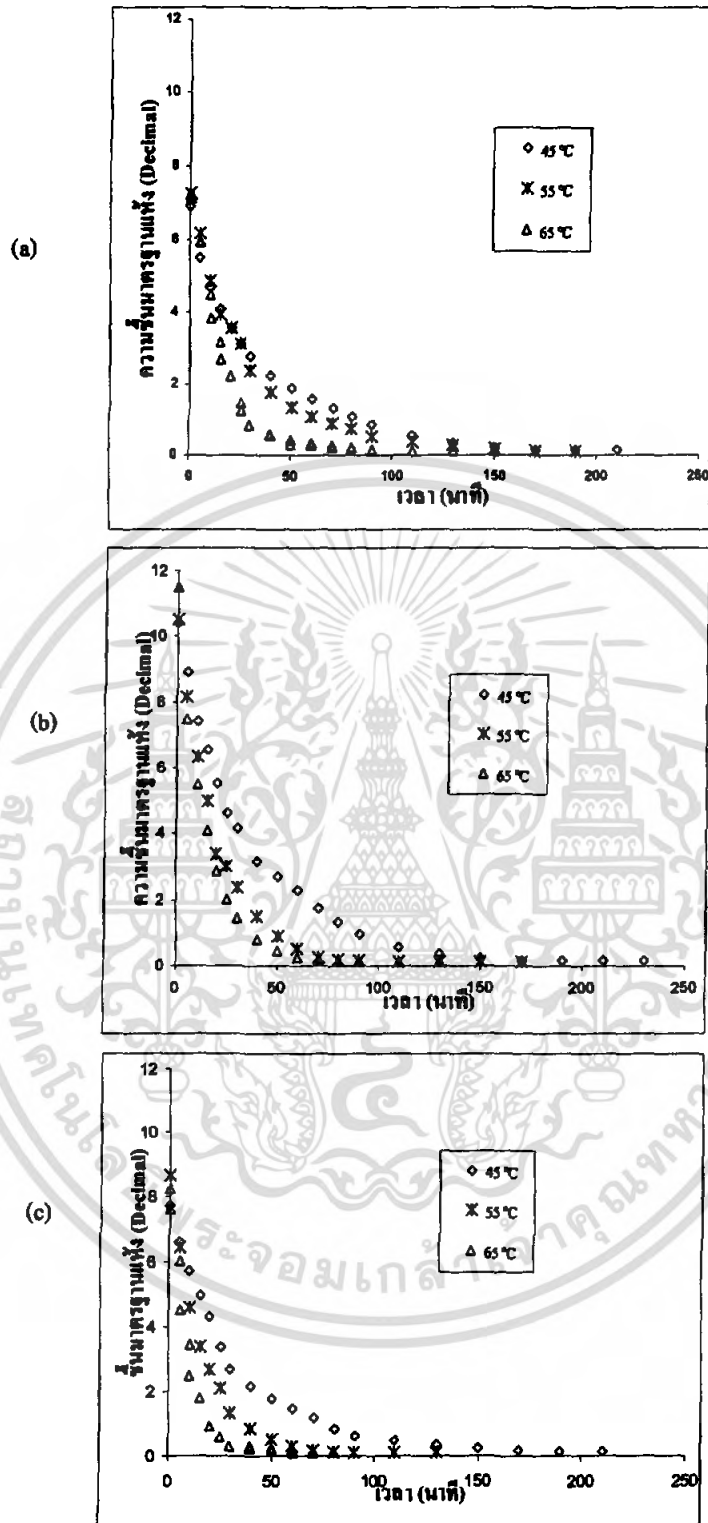
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของผักหวานที่สภาวะต่างๆ

ผักหวานที่สภาวะต่าง ๆ	ความชื้นเริ่มต้น(%wb)	ความชื้นสุดท้าย(%wb)
ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ควบคุม)	87.37 - 87.89	6.64 - 7.92
ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือด	91.24 - 91.96	5.45 - 7.40
ผ่านการลวกด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	88.37 - 89.65	5.82 - 6.83

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาที่ใช้ทำแห้งจนถึงความชื้นสุดท้ายที่สภาวะต่างๆ (5 ± 1 %wb)

ผักหวานที่สภาวะต่าง ๆ	เวลาที่ใช้อบแห้งจนถึงความชื้นสมดุล (นาที)		
	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง		
	45 °C	55 °C	65 °C
ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ควบคุม)	170	170	110
ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือด	190	130	90
ผ่านการลวกด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	170	90	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของความชื้น (db) และเวลาของศักรหวน (a) สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ (b) การปรับสภาพด้วยการลวก (c) การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำแห้ง

แบบจำลองคณิตศาสตร์พัฒนามาจากตัวแปรที่ใช้ทำแห้ง คือ อุณหภูมิลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของผักหวานในแต่ละตัวอย่าง เมื่อนำผลการทดลองมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เวลาใด ๆ กับตัวแปรอุณหภูมิลมร้อนและค่าความชื้นเริ่มต้นของผักหวานด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ Linear regression (ภาคผนวก ก.) เพื่อทำนายความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่าง ๆ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาใช้ในการทดลองนี้มี 2 แบบผลที่ได้เป็นดังนี้

- สมการ Newton's model $MR = \exp(-kt)$
- สมการ Page's model $MR = \exp(-kt^n)$

$$\text{เมื่อ } MR = \text{อัตราส่วนความชื้น} = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

$$M = \text{ความชื้นที่เวลาใด ๆ (\%db)}$$

$$M_e = \text{ความชื้นสมดุล (\%db)}$$

$$M_0 = \text{ความชื้นเริ่มต้น (\%db)}$$

$$t = \text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาที)}$$

$$k, n = \text{ค่าคงที่การอบแห้ง}$$

ค่าคงที่หรือค่าพารามิเตอร์ k, n ที่ได้จากสมการทั้งสองถูกนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Multiple Regression เพื่อหาความสัมพันธ์กับสภาวะการทำแห้งต่าง ๆ ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.1.2.1 สมการ Newton's model

1. ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ (ล้างแบบธรรมดา)

$$\begin{aligned} MR &= \exp(-kt) \\ k &= 0.002172T + 0.00049Mo - 0.07447 \\ R^2 &= 0.817346 \quad SE = 0.012437 \end{aligned}$$

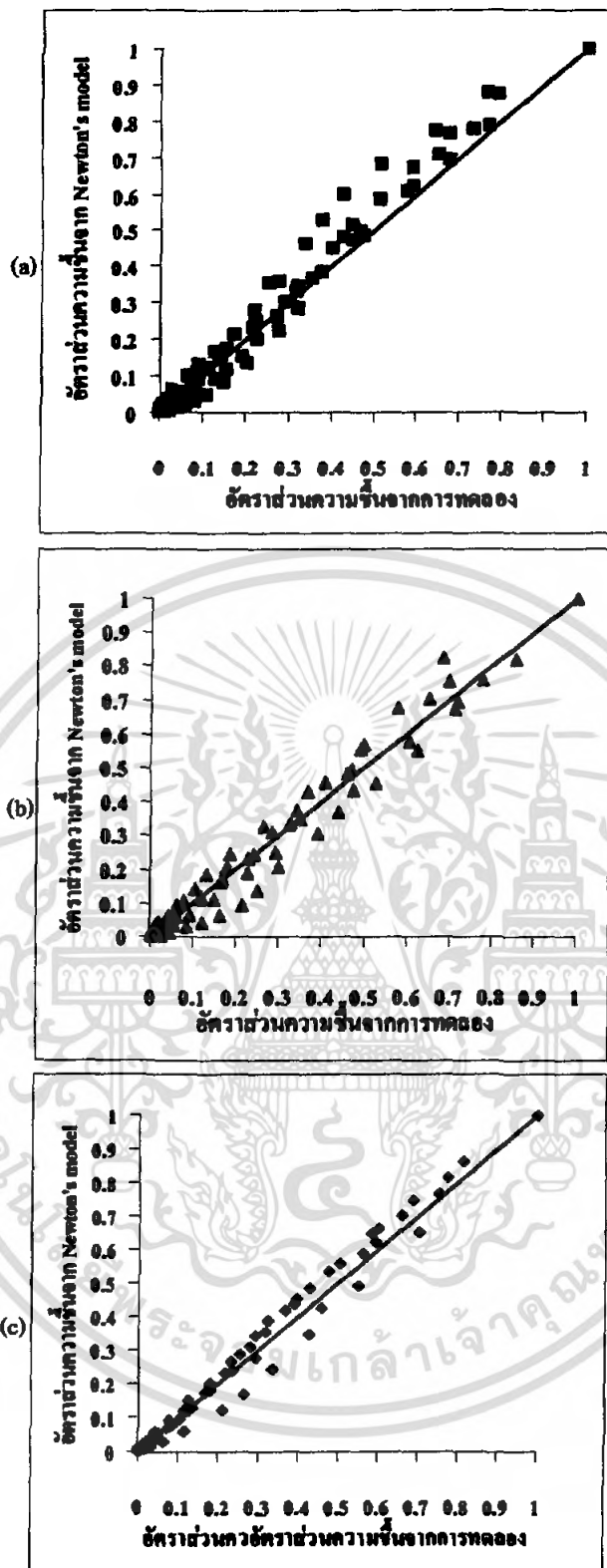
2. ที่สภาวะลวกด้วยน้ำ 100°C เป็นเวลา 15 วินาที

$$\begin{aligned} MR &= \exp(-kt) \\ k &= 0.001587 T - 0.001012 Mo - 0.021409 \\ R^2 &= 0.864755075 \quad SE = 0.00734295 \end{aligned}$$

3. ที่สภาวะลวกด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 28 kHz ด้วยน้ำ 25°C เป็นเวลา 5 นาที

$$\begin{aligned} MR &= \exp(-kt) \\ k &= 0.002591T - 0.00401Mo - 0.04318 \\ R^2 &= 0.952952 \quad SE = 0.007339 \end{aligned}$$

ค่าสหสัมพันธ์(R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อน(SE) ของ Newton's model ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดีและจากรูป 4.2 เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าค่าที่ได้จาก Newton's model ให้ผลการทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำแห้งได้จากผักหวานได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ที่การปรับสภาพด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาทีก่อนการทำแห้ง ซึ่งสามารถทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นได้ใกล้เคียงกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง ส่วนที่สภาวะอื่นพบว่าค่าที่ได้จาก Newton's model ให้ค่าอัตราส่วนความชื้นมากกว่าค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองเล็กน้อย



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการของ Newton ที่สถานะต่าง ๆ (a) ไม่ผ่านการปรับสภาพ (b) ปรับสภาพด้วยการลวก (c) ปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 สมการ Page's model

1. ที่สภาวะไม่ผ่านการปรับสภาพ (ล้างแบบธรรมดา)

$$\begin{aligned} MR &= \exp(-kt^n) \\ k &= 0.005034T + 0.001352Mo + 0.608333 \\ R^2 &= 0.253278 \quad SE = 0.105657 \\ n &= 0.001909T - 0.00114Mo - 0.02314 \\ R^2 &= 0.495446 \quad SE = 0.020019 \end{aligned}$$

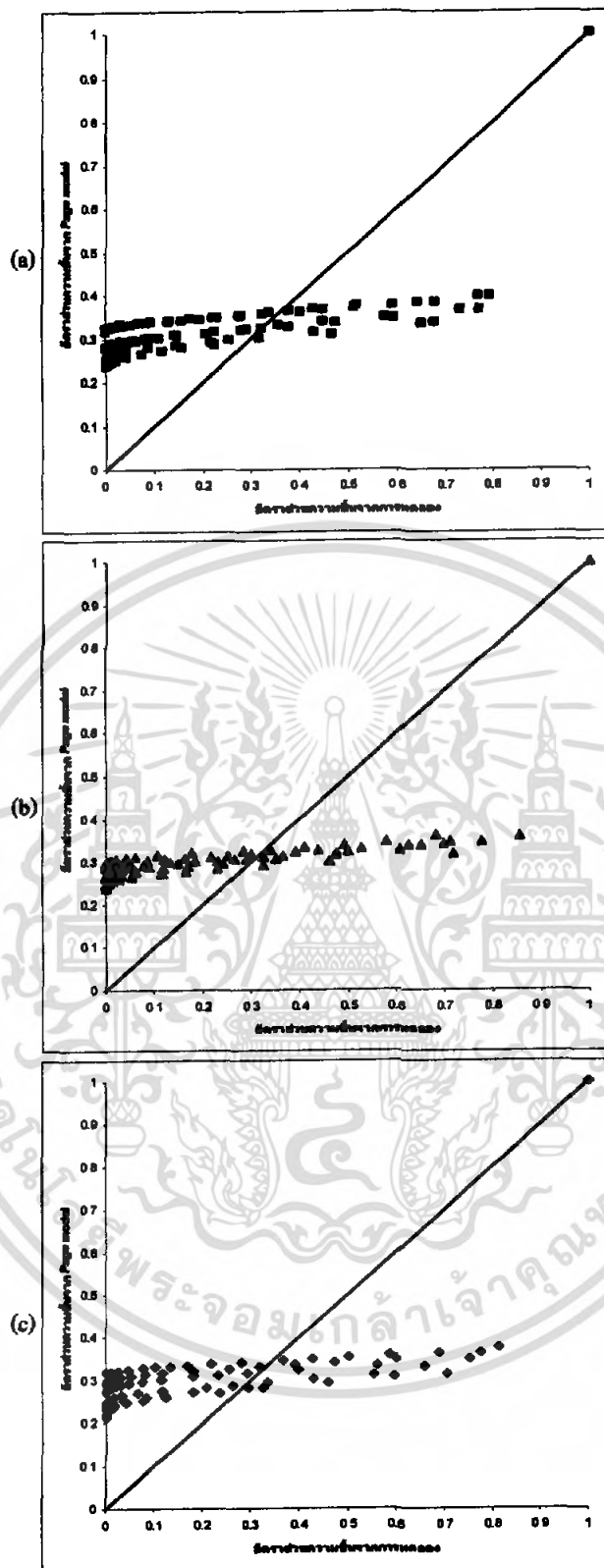
2. ที่สภาวะลวกด้วยน้ำ 100°C เป็นเวลา 15 วินาที

$$\begin{aligned} MR &= \exp(-kt^n) \\ k &= 0.001377T - 0.01991Mo + 1.086513 \\ R^2 &= 0.168208 \quad SE = 0.066373 \\ n &= 0.001394T + 0.001993Mo - 0.03177 \\ R^2 &= 0.305986 \quad SE = 0.023886 \end{aligned}$$

3. ที่สภาวะลวกด้วยคลื่นอัลตราโซนิก 28 kHz ด้วยน้ำ 25°C เป็นเวลา 5 นาที

$$\begin{aligned} MR &= \exp(-kt^n) \\ k &= 0.004604T - 0.00519Mo + 0.759122 \\ R^2 &= 0.393793 \quad SE = 0.070407 \\ n &= 0.001827T - 0.0034Mo + 0.000417 \\ R^2 &= 0.579614 \quad SE = 0.020401 \end{aligned}$$

ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE) ของ Page's model ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้และจากรูป 4.3 เมื่อนำค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากสมการ Page's model ไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าค่าที่ได้จาก Page's model ให้ผลการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำแห้งได้จากศัภหวนได้ไม่ดี โดยผลที่ได้จากสมการ Page's model จะมีค่า อัตราส่วนความชื้นอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.3 ในทั้ง 3 สภาวะ



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณของ Newton ที่สภาวะต่าง ๆ
 (a) ไม่ผ่านการปรับสภาพ (b) ปรับสภาพด้วยการถลอก (c) ปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้

ผักหวานหลังผ่านการอบแห้งแล้วถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ (ภาคผนวก ข.) ประกอบด้วย

- ค่าสี
- ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์
- a_w
- Polyphenol

ซึ่งผลการวิเคราะห์ผักหวานแห้งที่ได้แสดงค่าในตารางที่ 4.3

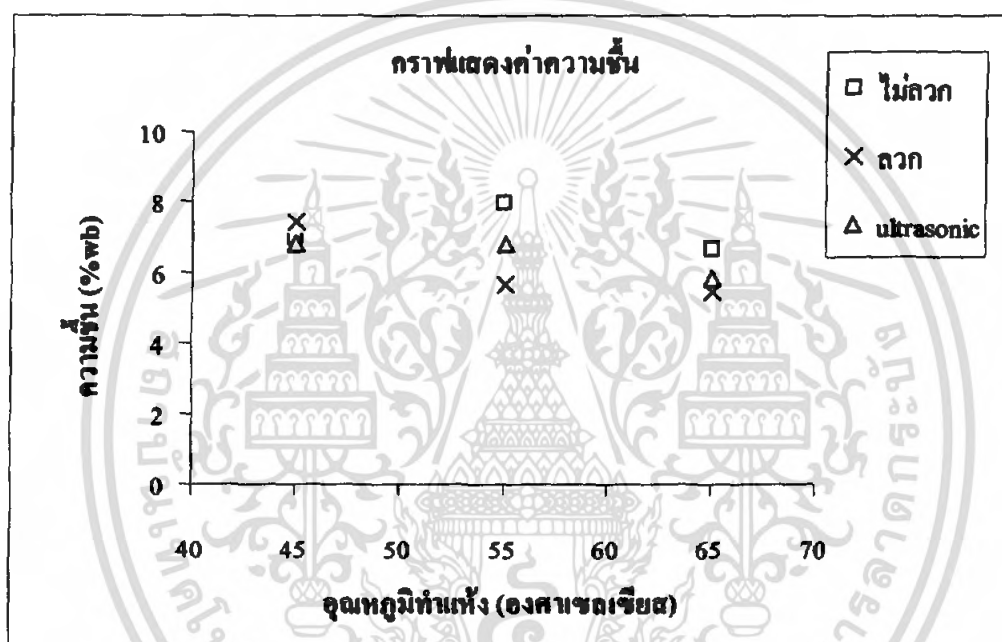
ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของผักหวานหลังการทำแห้ง

สถานะต่างๆ	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%wb)	a_w	ค่าสี			Polyphenol (mg/100g)
				L*	a*	b*	
ไม่ผ่านการปรับ สภาพ	45	6.98	0.27	49.11	-15.58	26.43	5269.74
	55	7.92	0.34	49.73	-16.37	30.51	3398.16
	65	6.65	0.30	44.89	-17.09	27.51	3707.60
ผ่านการลวกด้วย น้ำเดือด	45	7.41	0.33	37.10	-17.05	22.03	3087.43
	55	5.67	0.21	35.72	-16.47	19.62	1857.87
	65	5.45	0.22	36.38	-15.98	20.05	1577.64
ผ่านการลวกด้วย คลื่นอุลตรา- โซนิก	45	6.79	0.26	53.05	-15.13	28.01	2305.30
	55	6.83	0.28	47.24	-16.05	27.37	4684.29
	65	5.82	0.22	46.80	-17.65	29.33	5147.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ค่าความชื้น

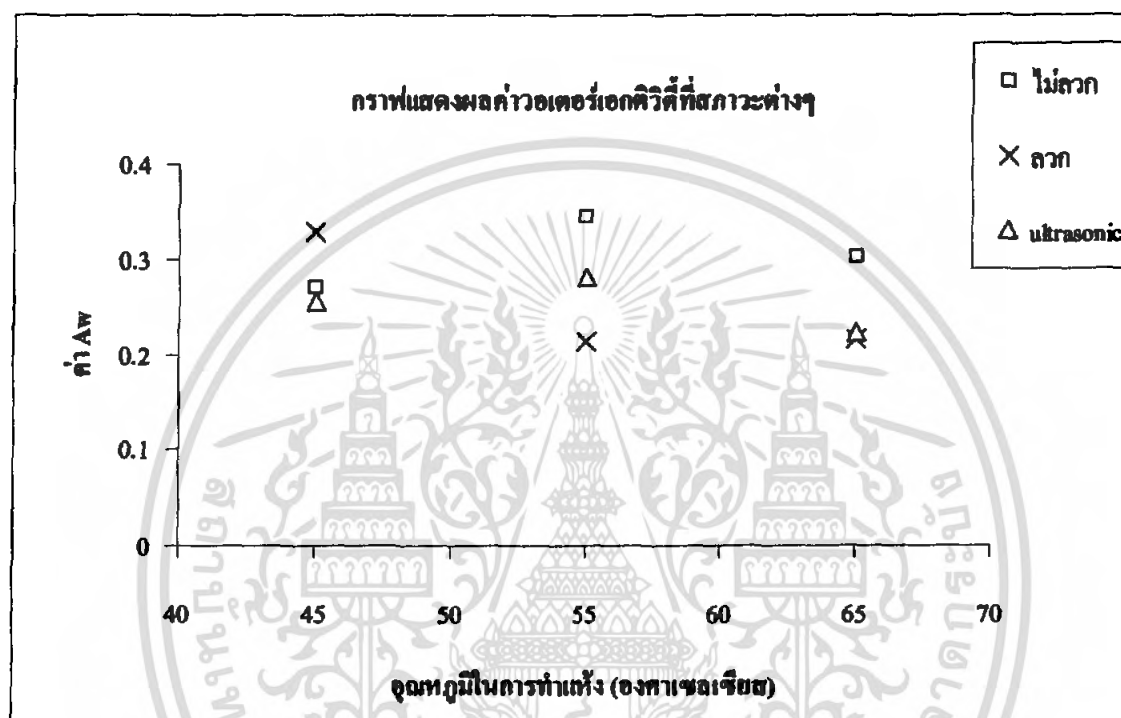
จากการวัดค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักหวานผง จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 5.4-7.9 ความชื้นฐานเปียก เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มขึ้นค่าความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำ กล่าวคือการใช้อุณหภูมิตั้งสูงย่อมทำให้ผักแห้งมากขึ้นในเวลาที่เทียบเท่ากันที่อุณหภูมิทำแห้งต่างกัน และเมื่อมีการปรับสภาพด้วยวิธีการลวกและการปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิค จะทำให้เวลาการทำแห้งสั้นลง รวมถึงค่าความชื้นสุดท้ายของผักหวานผงที่ได้จะมีค่าต่ำลงด้วย เนื่องจากการปรับสภาพด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำเดือดและการใช้คลื่นอุลตราโซนิคมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์ช่วยให้การถ่ายเทมวลเกิดขึ้นเร็ว อัตราการทำแห้งจึงมีค่าสูงขึ้นด้วย ดังแสดงค่าในรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิทำแห้งสูงขึ้น การลวกจะทำให้ค่าความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำสุด



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความชื้นสุดท้ายของผักหวานผง

4.2.2 ค่า a_w

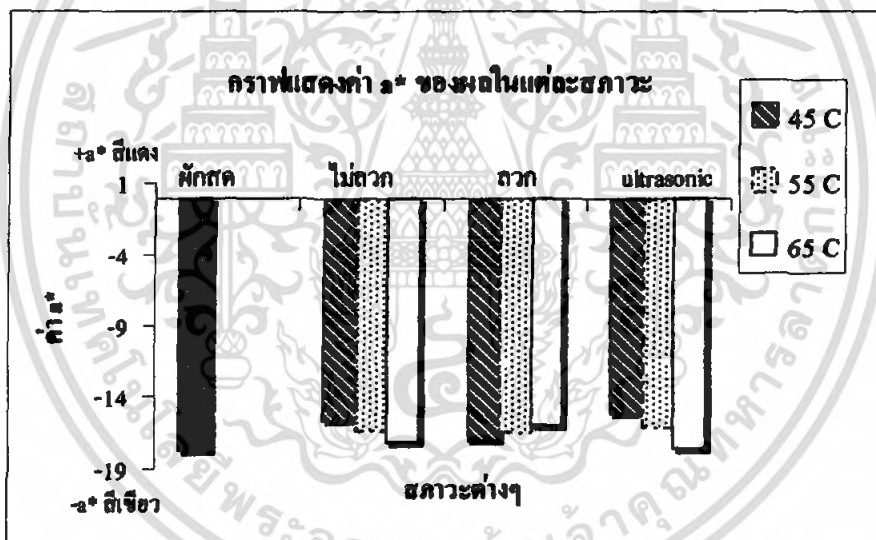
จากการวัดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ผักหวานผงที่ได้ จะเห็นได้ว่าค่า a_w สุดท้ายของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.21-0.34 ซึ่งเป็นค่า a_w ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่สามารถยอมรับได้ กล่าวคือ ค่า a_w ของอาหารแห้งควรมีค่าต่ำกว่า 0.65 ซึ่งเป็นค่า a_w ที่ไม่สามารถก่อให้เกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราได้ การปรับสภาพด้วยการลวกคู่กับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสจะมีค่า a_w น้อยที่สุดคือ 0.21 ซึ่งเป็นค่า a_w ที่อยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากเชื้อราและจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ดังแสดงค่าในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงค่า a_w ของผักหวานผง

4.2.3 ค่าสี

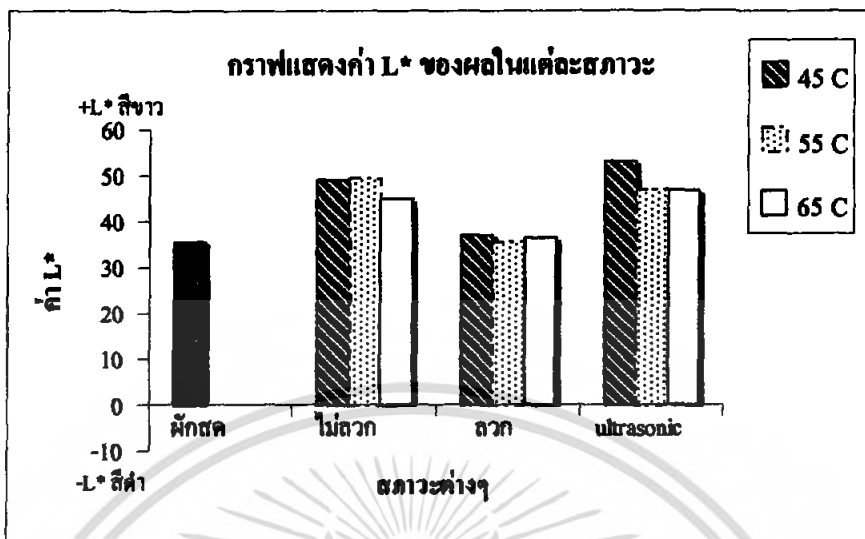
การเปลี่ยนแปลงค่าสีที่เกิดขึ้นวัดจาก ระบบ C.L.E L*-a*-b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า +L* แสดงถึงสีขาว จนไปถึง -L* แสดงถึงสีดำ แกน a* จะบรรยายถึงแกนสีจากสีเขียว (-a*) ไปจนถึงสีแดง (+a*) ส่วนแกน b* จะบรรยายถึงแกนสีจากสีน้ำเงิน (-b*) ไปสีเหลือง(+b*) ค่าสีเริ่มต้นของผักหวานสดมีดังนี้ คือ $L^* = 35.84$, $a^* = -17.67$, $b^* = 21.6075$ จากการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ผักหวานแห้งนั้น จะเห็นได้ว่าค่า a* ของผลิตภัณฑ์เป็นค่า ลบ ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียวของผลิตภัณฑ์และค่า a* ของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้นมากนัก การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิกและอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจะให้ค่า a* ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นที่สุด คือมีค่าเท่ากับ -17.65 การปรับสภาพด้วยวิธีการลวก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และการไม่ปรับสภาพ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ก็ให้ค่า a* ที่ใกล้เคียงค่าเริ่มต้นเช่นกัน อาจกล่าวได้ว่าเมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่สูงในเวลากการทำแห้งที่สั้นกว่าจะให้ค่า a* ซึ่งเป็นค่าของสีเขียวใกล้เคียงค่าเริ่มต้นของผักสด ในขณะที่เมื่อเลือกการปรับสภาพด้วยการลวกและอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะให้ค่า a* ที่ใกล้เคียงค่าเริ่มต้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าความเป็นสีเขียว a* ของผักหวานเมื่อผ่านกระบวนการการทำแห้งไม่ว่าจะวิธีการใดค่า a* จะมีค่าน้อยกว่าค่าเริ่มต้น ดังแสดงค่าในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงค่าสี a* ของผักหวานแห้งที่ได้

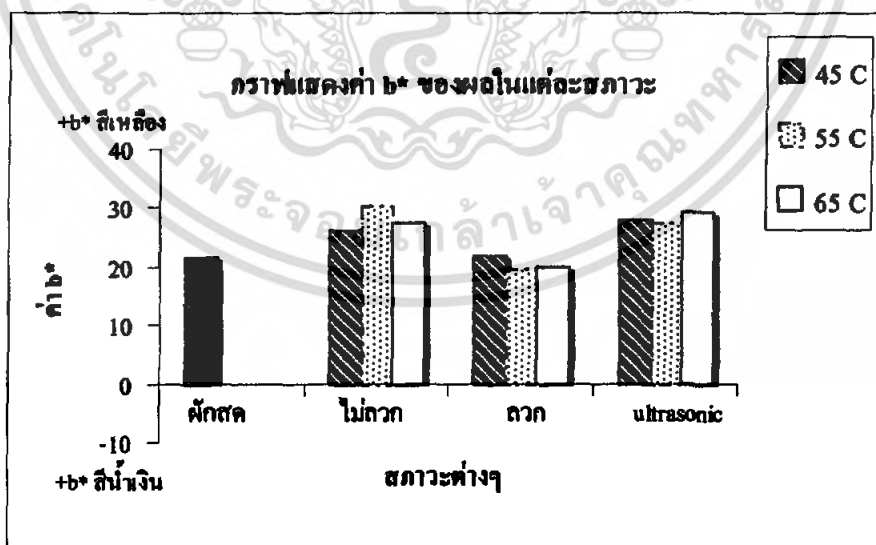
ส่วนค่า L* จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าสีจากค่าเริ่มต้นอยู่มาก การปรับสภาพด้วยวิธีการลวก จะให้ค่า L* ที่ไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้นนักคืออยู่ในช่วง 35.7-37.1 แต่การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก และการไม่ปรับสภาพ จะให้ค่า L* ที่มากกว่าค่าเริ่มต้นอยู่มาก ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งที่ 45 องศาเซลเซียส จะให้ค่า L* ที่ค่อนข้างมาก เมื่ออุณหภูมิมากขึ้นจะให้ค่า L* ที่น้อยลงซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเมื่อใช้

อุณหภูมิที่มากขึ้นความสว่างของผลิตภัณฑ์จะน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามค่าความสว่างของผักหวานเมื่อผ่านกระบวนการการทำแห้งไม่ว่าจะวิธีการใดค่า L^* ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าค่าเริ่มต้น ดังแสดงค่าในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงค่า L^* ของผักหวานแห้งที่ได้

ส่วนค่า b^* จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีจากค่าเริ่มต้นมากกว่าค่า a^* การปรับสภาพด้วยวิธีการลวกจะให้ค่า b^* ที่ใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้น แต่การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิกและการไม่ปรับสภาพ จะให้ค่า b^* ที่มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ 27.3-30.5 ซึ่งมากกว่าค่าเริ่มต้นอยู่มาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิกและการไม่ปรับสภาพจะได้ผลิตภัณฑ์ผักหวานที่มีสีเหลืองมากขึ้น เนื่องจากการวัดค่า b^* วัดค่าได้สูงขึ้น ดังแสดงค่าในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงค่า b^* ของผักหวานแห้งที่ได้

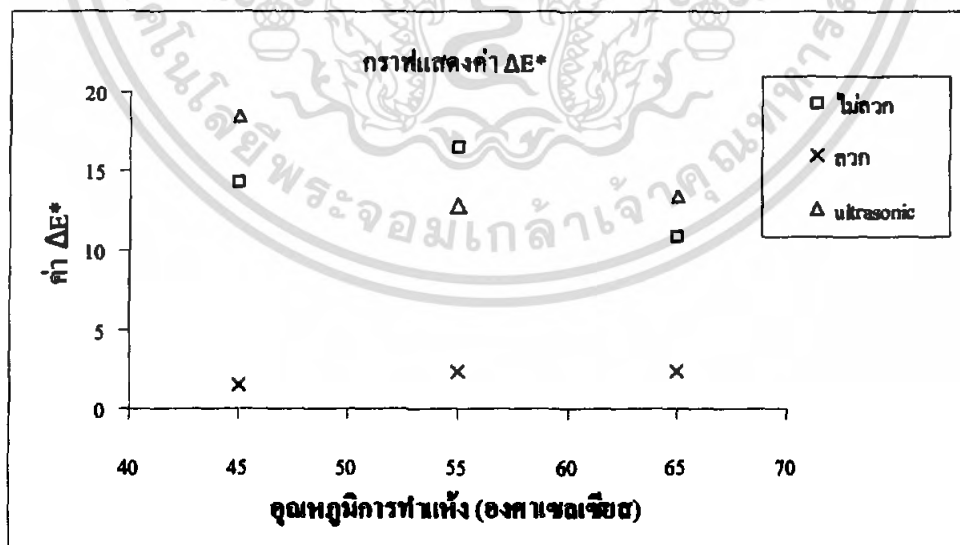
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า ΔE^* ของผลิตภัณฑ์ผักหวานผง

ΔE^*	45	55	65
ลาวก	1.47	2.331	2.36
ไม่ลาวก	14.27128	16.549	10.82
ultra	18.53547	12.875	13.409

จากการเปลี่ยนแปลงค่าที่ต่างๆ เราสามารถคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างสีสองสี หรือค่า ΔE^* (total difference) ได้ ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.4 ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้ว ค่าการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่า L^* และค่า b^* ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเป็นสี เหลือง เมื่อพิจารณาการปรับสภาพด้วยการลวกจะเห็นได้ว่ามีค่า ΔE^* ที่น้อย อาจกล่าวได้ว่าการลวกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่น้อยที่สุด ส่วนการใช้อุณหภูมิกการทำแห้งที่ 45 องศาเซลเซียสเมื่อใช้คู่กับการปรับสภาพด้วยการลวกแล้วจะให้ค่า ΔE^* ที่น้อยที่สุดแต่สำหรับการใช้การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิคและการไม่ปรับสภาพหากใช้คู่กับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจะให้ค่า ΔE^* ที่น้อยกว่าการใช้ควบคู่กับอุณหภูมิต่ำกว่า คือ 45 และ 55 องศาเซลเซียส แต่หากพิจารณาที่ อุณหภูมิอย่างเดียวอาจประมาณได้ว่าเมื่อใช้อุณหภูมิกการทำแห้งที่มากขึ้นจะทำให้การเปลี่ยนแปลงสีน้อยลง เนื่องมาจากการใช้เวลานี้น้อยกว่าดังแสดงค่าในรูปที่ 4.9

นำค่าสีที่ได้ไปวิเคราะห์ผลด้วยวิธี One-way ANOVA โดยโปรแกรม SPSS ได้ผลดังตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าการปรับสภาพด้วยวิธีการลวกและการใช้คลื่นอุลตราโซนิคมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.5 - ข.13)



รูปที่ 4.9 แสดงค่า ΔE^* ของผักหวานผงที่ได้

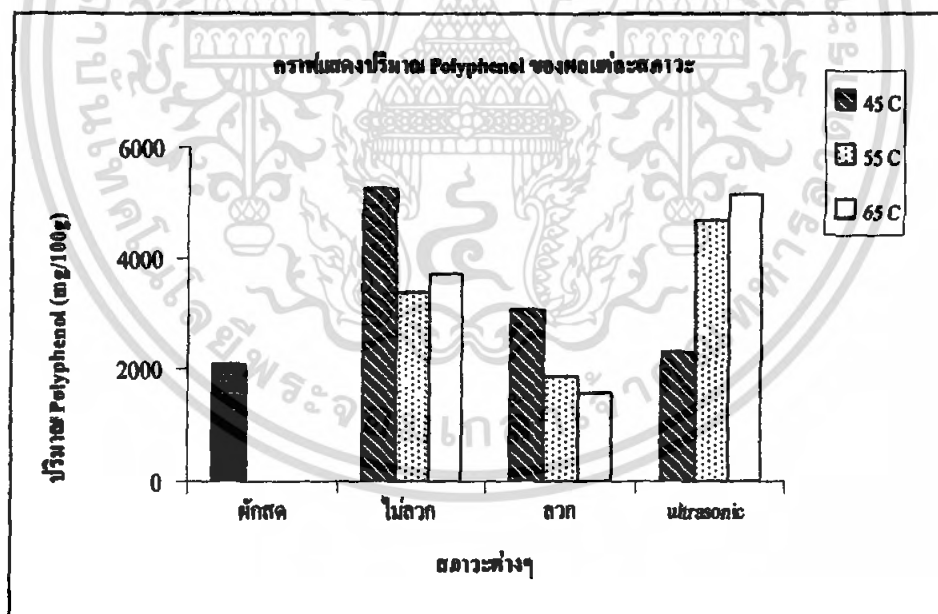
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ปริมาณโพลีฟีนอล

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าโพลีฟีนอล (Polyphenol) ของผักหวานที่สภาวะต่าง ๆ (mg/100g)

condition	อุณหภูมิทำแห้ง		
	45	55	65
ไม่ลวก	5269.741	3398.163	3707.599
ลวก	3087.428	1857.874	1577.636
ultrasonic	2305.302	4684.291	5147.761

ผักหวานสดเริ่มต้นมีค่าโพลีฟีนอล 2079.72 มิลลิกรัม/100 กรัม จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าผักหวานที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและทำแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสกับผักหวานที่ผ่านการปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิคและทำแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุดคือมีค่าเท่ากับ 5269.74 และ 5147.76 มิลลิกรัม/100 กรัมตามลำดับ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณโพลีฟีนอลในผักหวานสดถึงประมาณ 60% ส่วนผักหวานที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการลวกน้ำเดือดและทำแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณโพลีฟีนอลต่ำสุดเท่ากับ 1577.64 มิลลิกรัม/100 กรัม



รูปที่ 4.10 แสดงค่าโพลีฟีนอล ของผักหวานที่สภาวะต่าง ๆ (mg/100g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลการทดลองการทำแห้งผักหวานบ้านด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิร้อน 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ที่การปรับสภาพก่อนการทำแห้งแบ่งออกเป็น การลวกที่น้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที และการปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิค ที่ความถี่ 28 KHz เป็นเวลา 5 นาที และไม่ผ่านการปรับสภาพ จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพของผักหวานผงที่ได้ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ (R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE) แล้วพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำแห้งผักหวานในรูปแบบสมการของ Newton ให้ผลสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลองได้ดีกว่าแบบสมการของPage
2. การทำแห้งผักหวานที่ผ่านการปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิคความถี่ 28 กิโลเฮิร์ต อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ให้อัตราการแห้งที่เร็วกว่าผักหวานที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที และผักหวานที่ไม่ได้ปรับสภาพก่อนการทำแห้งตามลำดับ การวิเคราะห์คุณภาพผักหวานแห้ง ผักหวานหลังผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับผักหวานสดมากที่สุด และการปรับสภาพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผักหวานที่ไม่ผ่านการปรับสภาพรวมทั้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยอุลตราโซนิคมีค่าปริมาณโทลพิโนลเพิ่มขึ้น ขณะที่ผักหวานที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดและทำแห้งที่อุณหภูมิสูง มีค่าปริมาณโทลพิโนลต่ำลง
3. การทำแห้งผักหวานที่อุณหภูมิร้อน 65 องศาเซลเซียส ให้อัตราการแห้งที่เร็วกว่าผักหวานที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิร้อน 55 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์คุณภาพผักหวานผงกับอุณหภูมิการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงค่าสีไม่มีนัยสำคัญ และทำแห้งที่อุณหภูมิสูง มีค่าปริมาณโทลพิโนลต่ำลง
4. ผักหวานแห้งที่ได้หลังผ่านการปรับสภาพและทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าความชื้นสุดท้ายและค่า a_w อยู่ในระดับที่ปลอดภัย และไม่มีนัยสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรควบคุมความชื้นเริ่มต้นของผักหวานก่อนการทำแห้ง และควรรหาความชื้นทันทีหลังจากนำออกจากโถดูดความชื้น (desiccators) ไม่ควรเก็บตัวอย่างไว้นานเกินไปเพราะทำให้เกิดการผิพลาถได้
2. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักหวานผง ควรเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทและเก็บในที่แห้งและเย็นเพื่อป้องกันการสูญเสียปริมาณสารสำคัญและป้องกันการดูดซับความชื้น
3. ควรหาแนวทางในการนำผักหวานผงไปใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ผู้บริโภค
4. ควรศึกษาถึงสารสำคัญใน สารโพลีฟีนอล เพื่อประ โยชน์ในการนำไปบริโภคต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. เอกสารประกอบการสอน กระบวนการแปรรูปอาหาร (Food Processing) . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร, 100-108.
- กฤษยา เอื้อกมลชาญ. (2539). Studies on the effect of microwave on the quality of Kluay Tak. รายงานปัญหาพิเศษ (วท.บ. อุตสาหกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . กรุงเทพมหานคร.
- ชนิศา หันสวาสดี. (2549). การแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวพองกรอบ. [Online]. Available: http://www.tistr-foodprocess.net/vegetable_dry.html.
- ธัญญิตี มาแสง. (2549). ผักหวานป่า. [Online]. Available: <http://www.geocities.com/psplant/veget005.html>.
- ชาติกร จีราพันธุ์. (2549). เอกซ์ทรูเดอร์ Extruder. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. [Online]. Available: <http://www.nsur.ac.th/e-learning/animal/lesson6-2.php>.
- พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล. (2549). อัคราโซนิค ตัวช่วยในกระบวนการผลิตอาหาร. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักหวานผง. มพช.1174. (2549).
- วิไล รังสาคทอง. (2546). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร Food Processing Technology. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร, 251-253:278-289.
- สภาอากาศไทย. (2551). พืช ผัก ผลไม้ ที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านหรือป้องกันการเกิดมะเร็ง.
- สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์. (2545). เอกสารการสอนชุดวิชาการถนอมอาหารและการแปรรูปอาหาร. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพมหานคร, 81-84.
- สิงหนาท พวงจันทร์แดง. (2546). การพัฒนาเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นเพื่อพัฒนาการทำแห้งพืชผักสมุนไพรไทย (ใบกระเพรา). วารสารอาหาร ฉบับเดือน เมษายน – มิถุนายน, 146-155.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอ่างทอง. (2550). ผักหวานบ้าน. [Online]. Available: <http://www.angthong.go.th/moac/index.html>.
- อริญา เจริญธรรม. (2546). ปัญหาพิเศษเรื่องอิทธิพลของการดวกใบกระเพราด้วยน้ำร้อนและไมโครเวฟ. 6-13.
- อรุณี อภิชาติสร่างกุล. (2530). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทั่วไป. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Akpinar, E. K., Bicer Y., Cetinkaya, F. (2006). Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. *Journal of Food Engineering*, 75, 308–315.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AOAC (2000). **Official methods of Analysis**. No. 930.04. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, USA.
- Doymaz, I. (2005). Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. **Journal of Food Engineering**, 78, 591–596.
- Fabiano, A.N., Fernandes, Sueli Rodrigues. (2007). Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. **Journal of Food Engineering**, 82, 261–267.
- Goncalvesa, E.M., Pinheiroa, J., Abreu M. (2007). Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) during blanching. **Journal of Food Engineering**, 81, 693–701.
- Lim, Y.Y., Murtijaya, J. (2007). Antioxidant properties of phyllanthus amarus extracts as affected by different drying methods. **LWT**, 40, 1664–1669.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Journal of Food Engineering**, 44, 71–78.
- Senadeera, W., Bhandari, B. R., Young, G., & Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. **Journal of Food Engineering**, 58, 277–283.
- Shalini, G.R., Shivhare, U.S., Santanu Basu. (2008). Thermal inactivation kinetics of peroxidase in mint leaves. **Journal of Food Engineering**, 85, 147–153.
- Gallego-Jua´rez, J. A., Rodri´guez-Corral, G., Ga´lvez-Moraleda, J. C., & Yang, T. S. (1999). A new high intensity ultrasonic technology for food dehydration. **Drying Technology**, 17, 597–608.
- Mason, T. J. (1998). Power ultrasound in food processing – the way forward. In M. J. W. Povey & T. J. Mason (Eds.), **Ultrasounds in food processing** (pp. 104–124). Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Henderson, S.M., and Perry, R.L. (1976). **Agricultural Process Engineering**. 3rd ed. The AVI Publishing Company, Inc. Westport Connecticut. 422 p.
- Lewis, W.K. (1921). The Rate Drying of Solids Materials. **J. Ind. Eng. Chem.** 13(5);427-432.
- Rocha, T., Lebert, A. and Marty-Audouin, C. (1992). Effect of drying Conditions and Blanching on Drying Kinetics and Color of Mint (*Mentha spicata* Huds.) and Basil (*Ocimum basilicum*) In Mujumdar, A. (ed.) **Drying**. 1992 Elsevier Science Publishers. Netherlands. p.1360-1369.
- Thompson, T.L., Peart, R.M. and Foster, G.H. (1968). Mathematic Simulation of Corn Drying : A New Model. **Transactions of the ASAE**. 11(4) :582-586.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยสมการของ Newton

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าที่ใช้ทำ linear regression ที่สถานะไม่ผ่านการปรับสภาพ

การทดลอง	Temp	Mo	k	R ²
1	45	6.930843517	0.0238	0.9932
	55	10.57158053	0.035	0.9825
	65	13.89143854	0.0842	0.9865
2	45	4.731122814	0.0353	0.9639
	55	6.105839169	0.0496	0.9978
	65	5.940246598	0.0658	0.9894

ตารางที่ ก.2 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สถานะไม่ผ่านการปรับสภาพ

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.9040718
R Square	0.8173457
Adjusted R Square	0.6955762
Standard Error	0.0124366
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงตาราง ANOVA ที่สถานะไม่ผ่านการปรับสภาพ

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.002076348	0.0010382	6.712237	0.078062901
Residual	3	0.000464007	0.0001547		
Total	5	0.002540355			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.0744663	0.035090311	-2.122132	0.123932	-0.186139283	0.03720678	-0.186139283	0.037206776
T	0.00217237	0.000729622	2.9773837	0.05872	-0.000149618	0.00449435	-0.000149618	0.004494349
Mo	0.00049027	0.001868735	0.2623546	0.810032	-0.005456876	0.00643742	-0.005456876	0.006437419

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการตก

การทดลอง	Temp	Mo	k	R ²
1	45	10.41592937	0.0306	0.9647
	55	10.57844899	0.0561	0.9336
	65	11.48663055	0.069	0.9973
2	45	10.66612866	0.0481	0.9912
	55	9.734548502	0.0552	0.9839
	65	8.910497789	0.0739	0.9985

ตารางที่ ก.5 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการตก

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.929922
R Square	0.864755
Adjusted R Square	0.774592
Standard Error	0.007343
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงตาราง ANOVA ที่สถานะการปรับสภาพด้วยการลวก

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.001034272	0.0005171	9.5909892	0.049737215
Residual	3	0.000161757	5.392E-05		
Total	5	0.001196028			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.02140987	0.047176069	-0.4538291	0.6807714	-0.171545182	0.1287254	-0.171545182	0.128725434
T	0.00158766	0.00037282	4.2585178	0.0237445	0.000401181	0.0027741	-0.000401181	0.002774142
Mo	-0.00101257	0.003783682	-0.2676156	0.8063395	-0.013053935	0.0110288	-0.013053935	0.011028791

ตารางที่ ๘.๗ แสดงค่าที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

การทดลอง	Temp	Mo	k	R ²
1	45	11.06342016	0.029	0.9967
	55	11.51574123	0.049	0.9944
	65	9.981944005	0.0897	0.9792
2	45	8.011720455	0.0479	0.9683
	55	7.205217934	0.0617	0.9811
	65	7.60475115	0.0968	0.994

ตารางที่ ๘.๘ แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.55316
R Square	0.305986
Adjusted R Square	-0.15669
Standard Error	0.023886
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.003272911	0.001636	30.38266	0.010204814
Residual	3	0.000161584	5.39E-05		
Total	5	0.003434495			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.043182825	0.02869613	-1.50483	0.229427	-0.134506716	0.0481411	-0.134506716	0.048141067
T	0.002590961	0.000372944	6.947326	0.006117	0.001404088	0.0037778	0.001404088	0.003777834
Mo	-0.00400522	0.001789319	-2.2384	0.111126	-0.009699631	0.0016892	-0.009699631	0.001689192

- การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยสมการของ Page

ตารางที่ ก.10 แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

การทดลอง	T	Mo	k	R ²
1	45	6.930844	0.8004	0.9934
	55	10.57158	0.7939	0.9961
	65	13.89144	1.0272	0.9961
2	45	4.731123	0.8926	0.9794
	55	6.105839	0.984	0.9992
	65	5.940247	0.8782	0.9928

ตารางที่ ก.11 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สถานะไม่ผ่านการปรับสภาพ

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.503267
R Square	0.253278
Adjusted R Square	-0.24454
Standard Error	0.105657
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 แสดงตาราง ANOVA ที่สถานะไม่ผ่านการปรับสภาพ

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.011359399	0.00568	0.50878	0.645265937
Residual	3	0.033490196	0.011163		
Total	5	0.044849595			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.608332987	0.298115086	2.040598	0.13397	-0.340402266	1.5570682	-0.340402266	1.55706824
X Variable 1	0.005033862	0.006198618	0.812094	0.47619	-0.014692906	0.0247606	-0.014692906	0.02476063
X Variable 2	0.001352009	0.01587612	0.08516	0.9375	-0.049172891	0.0518769	-0.049172891	0.05187691

ตารางที่ ก.13 แสดงค่า n ที่ใช้ทำ linear regression ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

การทดลอง	T	Mo	n
1	45	6.930844	0.059929
	55	10.57158	0.088496
	65	13.89144	0.07349
2	45	4.731123	0.054096
	55	6.105839	0.052476
	65	5.940247	0.10755

ตารางที่ ก.14 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สถานะไม่ผ่านการปรับสภาพ

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.703879
R Square	0.495446
Adjusted R Square	0.159077
Standard Error	0.020019
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 แสดงตาราง ANOVA ที่สถานะไม่ผ่านการปรับสภาพ

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.001180591	0.0006	1.472924	0.358394307
Residual	3	0.001202293	0.0004		
Total	5	0.002382883			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.0231355	0.056484617	-0.41	0.709597	-0.202894783	0.1566237	-0.20289478	0.15662374
X Variable 1	0.00190873	0.001174468	1.6252	0.202591	-0.001828947	0.0056464	-0.00182895	0.00564641
X Variable 2	-0.0011424	0.003008089	-0.38	0.729394	-0.010715518	0.0084306	-0.01071552	0.00843064

ตารางที่ ค.16 แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก

การทดลอง	T	Mo	k	R ²
1	45	10.41593	0.9678	0.9912
	55	10.57845	1.0288	0.9895
	65	11.48663	0.9248	0.9977
2	45	10.66613	0.9053	0.9756
	55	9.734549	0.8995	0.9983
	65	8.910498	1.017	0.9985

ตารางที่ ค.17 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลวก

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.410132
R Square	0.1682083
Adjusted R Square	-0.38632
Standard Error	0.0663731
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 แสดงตาราง ANOVA ที่สถานะการปรับสภาพด้วยการลวก

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.002672623	0.001336	0.303336	0.758615803
Residual	3	0.013216151	0.004405		
Total	5	0.015888774			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	1.08651264	0.426425357	2.547955	0.084093	-0.270563164	2.44358844	-0.27056316	2.44358844
X Variable 1	0.00137661	0.003369929	0.408498	0.710317	-0.009348009	0.01210123	-0.00934801	0.01210123
X Variable 2	-0.0199081	0.034200767	-0.5821	0.60136	-0.128750229	0.08893398	-0.12875023	0.08893398

ตารางที่ ก.19 แสดงค่า n ที่ใช้ทำ linear regression ที่สถานะการปรับสภาพด้วยการลวก

การทดลอง	T	Mo	n
1	45	10.41593	0.033608
	55	10.57845	0.045991
	65	11.48663	0.086648
2	45	10.66613	0.067414
	55	9.734549	0.090139
	65	8.910498	0.068769

ตารางที่ ก.20 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สถานะการปรับสภาพด้วยการลวก

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.55316
R Square	0.305986
Adjusted R Square	-0.15669
Standard Error	0.023886
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.21 แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยการลอก

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.000754671	0.000377	0.66134	0.578165422
Residual	3	0.001711686	0.000571		
Total	5	0.002466357			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.03176518	0.153462589	-0.20699	0.849271	-0.520151624	0.4566213	-0.52015162	0.45662127
X Variable 1	0.001394008	0.001212775	1.149436	0.333701	-0.002465583	0.0052536	-0.00246558	0.0052536
X Variable 2	0.001992781	0.012308222	0.161906	0.88167	-0.037177476	0.041163	-0.03717748	0.04116304

ตารางที่ ก.22 แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

การทดลอง	T	Mo	k	R ²
1	45	11.06342	0.8822	0.9988
	55	11.51574	0.9194	0.9962
	65	9.981944	1.0894	0.9968
2	45	8.01172	0.9738	0.9928
	55	7.205218	0.9631	0.9807
	65	7.604751	0.9585	0.9974

ตารางที่ ก.23 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.6275295
R Square	0.3937932
Adjusted R Square	-0.0103446
Standard Error	0.0704066
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.24 แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.009660417	0.00483	0.974403	0.471988238
Residual	3	0.014871283	0.004957		
Total	5	0.0245317			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.75912166	0.275294626	2.757488	0.0703	-0.116988704	1.635232	-0.1169887	1.635232024
X Variable 1	0.004604189	0.003577813	1.286872	0.288445	-0.006782008	0.01599	-0.00678201	0.015990386
X Variable 2	-0.00519498	0.017165727	-0.30264	0.781937	-0.05982398	0.049434	-0.05982398	0.049434026

ตารางที่ ก.25 แสดงค่า k ที่ใช้ทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

ที่สภาวะการปรับสภาพด้วย Ultrasonic

การทดลอง	T	Mo	n
1	45	11.06342	0.049075
	55	11.51574	0.071662
	65	9.981944	0.062356
2	45	8.01172	0.050991
	55	7.205218	0.06732
	65	7.604751	0.115868

ตารางที่ ก.26 แสดงผลสรุปการทำ linear regression ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.7613239
R Square	0.5796141
Adjusted R Square	0.2993568
Standard Error	0.0204013
Observations	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.27 แสดงตาราง ANOVA ที่สภาวะการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.001721585	0.000861	2.06815	0.2725664
Residual	3	0.001248641	0.000416		
Total	5	0.002970226			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.0004169	0.079770507	0.005226	0.996158	-0.253448	0.2542822	-0.25344846	0.25428225
X Variable 1	0.00182743	0.001036722	1.762704	0.176155	-0.001472	0.0051267	-0.00147188	0.005126745
X Variable 2	-0.00339965	0.004974012	-0.68348	0.543358	-0.019229	0.0124299	-0.01922918	0.012429871

ภาคผนวก ข
วิเคราะห์คุณภาพการทำแห้งผักหวานผง

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลค่าความชื้นของผักหวานหลังการทำแห้ง

การปรับสภาพ	การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นฐานเปียก (%wb)
1	1	45	6.9766
2	1	45	8.1227
3	1	45	6.7880
1	2	45	6.9766
2	2	45	6.6918
3	2	45	6.7880
1	1	55	10.2713
2	1	55	5.5815
3	1	55	8.4480
1	2	55	5.5675
2	2	55	5.7496
3	2	55	5.2100
1	1	65	5.8579
2	1	65	4.7217
3	1	65	7.4352
1	2	65	7.4327
2	2	65	6.1802
3	2	65	4.1966

หมายเหตุ 1 = การไม่ปรับสภาพ, 2 = การปรับสภาพโดยวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด, 3 = การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลค่า a_w ของผักหวานหลังการทำแห้ง

การปรับสภาพ	การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ค่า a_w
1	1	45	0.2705
2	1	45	0.3865
3	1	45	0.2555
1	2	45	0.2705
2	2	45	0.2710
3	2	45	0.2555
1	1	55	0.4245
2	1	55	0.1925
3	1	55	0.3440
1	2	55	0.2650
2	2	55	0.2350
3	2	55	0.2200
1	1	65	0.2345
2	1	65	0.1740
3	1	65	0.2765
1	2	65	0.3735
2	2	65	0.2570
3	2	65	0.1705

หมายเหตุ 1 = การไม่ปรับสภาพ, 2 = การปรับสภาพโดยวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด, 3 = การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลค่าสีของผักหวานหลังการทำแห้ง

การปรับสภาพ	การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0	-	-	35.78	-17.88	22.71
0	-	-	33.73	-17.01	19.52
0	-	-	38.56	-17.92	23.58
0	-	-	35.29	-17.87	20.62
1	1	45	48.5	-15.45	26.01
1	1	45	49.72	-15.71	26.84
1	2	45	48.5	-15.45	26.01
1	2	45	49.72	-15.71	26.84
2	1	45	35.67	-17.05	20.53
2	1	45	36.71	-17.43	21.73
2	2	45	37.05	-17.09	22.67
2	2	45	38.98	-16.62	23.2
3	1	45	53.05	-15	27.66
3	1	45	53.05	-15.26	28.35
3	2	45	53.05	-15	27.66
3	2	45	53.05	-15.26	28.35
1	1	55	46.88	-15.47	28.48
1	1	55	48.26	-15.6	29.3
1	2	55	52.02	-17.1	31.86
1	2	55	51.75	-17.29	32.41
2	1	55	36.89	-16.63	20.13
2	1	55	37.44	-16.4	20.49
2	2	55	34.28	-16.2	18.87
2	2	55	34.28	-16.63	18.97
3	1	55	47.83	-15.8	28.87
3	1	55	48.13	-15.95	28.83
3	2	55	46.2	-15.97	25.4
3	2	55	46.8	-16.47	26.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับ สภาพ	การ ทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
1	1	65	46.15	-17.42	28.64
1	2	65	43.39	-16.77	26.01
1	2	65	44.3	-16.93	26.94
2	1	65	37.54	-15.89	21.55
2	1	65	38.67	-15.99	22.04
2	2	65	34.89	-16.01	18.37
2	2	65	34.4	-16.02	18.25
3	1	65	46.07	-16.76	28.43
3	1	65	46.73	-17.03	29.07
3	2	65	47.24	-18.4	29.83
3	2	65	47.17	-18.4	29.99

หมายเหตุ 0 = ผักสด, 1 = การไม่ปรับสภาพ, 2 = การปรับสภาพโดยวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด, 3 = การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๔.4 แสดงข้อมูลปริมาณ โพลีฟีนอลของผักหวานหลังการทำแห้ง

การปรับสภาพ	การทดสอบ	อุณหภูมิ (°C)	ABS	mg/ml	g	x 30/2	x Dilution	mg/100g
0	-	-	0.578	0.131	0.947	1.970	19.695	2079.725
1	1	45	0.744	0.169	0.953	2.532	12.660	1329.134
1	1	45	0.405	0.081	0.944	1.212	12.120	1284.170
1	2	45	0.822	0.173	0.935	2.601	52.020	5565.422
1	2	45	0.746	0.157	0.945	2.349	46.980	4974.060
2	1	45	0.432	0.087	0.942	1.301	26.010	2760.853
2	1	45	0.490	0.100	0.952	1.496	29.910	3140.817
2	2	45	0.434	0.087	0.957	1.310	26.190	2736.105
2	2	45	0.563	0.116	0.936	1.737	34.740	3711.935
3	1	45	0.642	0.146	0.952	2.186	10.928	1147.606
3	1	45	0.690	0.157	0.941	2.349	11.745	1247.610
3	2	45	0.746	0.157	0.941	2.349	23.490	2495.220
3	2	45	0.640	0.133	0.944	1.997	19.965	2115.385
1	1	55	0.629	0.131	0.950	1.959	19.590	2061.454
1	1	55	0.499	0.102	0.940	1.527	30.540	3247.554
1	2	55	0.867	0.184	0.952	2.753	27.525	2892.497
1	2	55	0.803	0.169	0.942	2.540	50.790	5391.147
2	1	55	0.551	0.113	0.934	1.700	16.995	1819.983
2	1	55	0.570	0.117	0.939	1.761	17.610	1874.800
2	2	55	0.546	0.112	0.948	1.682	16.815	1773.921
2	2	55	0.611	0.127	0.968	1.899	18.990	1962.791
3	1	55	0.724	0.152	0.943	2.277	45.540	4828.244
3	1	55	0.670	0.140	0.943	2.096	41.910	4445.741
3	2	55	0.807	0.170	0.949	2.553	51.060	5378.700
3	2	55	0.639	0.133	0.975	1.992	39.840	4084.478
1	1	65	0.715	0.150	0.948	2.244	44.880	4734.177
1	1	65	0.718	0.150	0.948	2.255	45.090	4755.827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับ สภาพ	การ ทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ABS	mg/ml	g	x 30/2	x Dilution	mg/100g
1	2	65	0.858	0.182	0.951	2.723	27.225	2862.475
1	2	65	0.748	0.157	0.951	2.357	23.565	2477.918
2	1	65	0.533	0.109	0.935	1.638	16.380	1751.684
2	1	65	0.486	0.099	0.925	1.481	14.805	1601.233
2	2	65	0.507	0.104	0.956	1.553	15.525	1624.294
2	2	65	0.416	0.083	0.936	1.248	12.480	1333.333
3	1	65	0.788	0.166	0.928	2.492	49.830	5368.455
3	1	65	0.851	0.180	0.951	2.699	53.970	5678.064
3	2	65	0.677	0.141	0.947	2.118	42.360	4471.184
3	2	65	0.757	0.159	0.941	2.387	47.730	5073.342

หมายเหตุ 0 = ผิดผล, 1 = การไม่ปรับสภาพ, 2 = การปรับสภาพโดยวิธีการตกด้วยน้ำเดือด, 3 = การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ค่าที จากโปรแกรม SPSS (one-way ANOVA)

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า L* (ไม่มีนัยสำคัญ)

ANOVA

L*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16.658	2	8.329	.209	.812
Within Groups	1154.821	29	39.821		
Total	1171.479	31			

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพกับค่า L* (มีนัยสำคัญ)

ANOVA

L*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1001.648	2	500.824	85.520	.000
Within Groups	169.831	29	5.856		
Total	1171.479	31			

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพกับค่า L*

L*				
	pre-treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	2	12	36.400	
	1	10		47.668
	3	10		48.227
	Sig.		1.000	.857

หมายเหตุ 1 = การไม่ปรับสภาพ, 2 = การปรับสภาพโดยวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด, 3= การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพและ อุณหภูมิการทำแห้งกับค่า L* (มีนัยสำคัญ)

ANOVA

L*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1116.046	8	139.506	57.884	.000
Within Groups	55.432	23	2.410		
Total	1171.479	31			

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพและ อุณหภูมิการทำแห้งกับค่า L*

L*					
V3	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Tukey HSD ^a					
552	4	35.722			
652	4	36.375			
452	4	37.102			
661	4		44.888		
653	4		46.802	46.802	
553	4		47.240	47.240	
451	2			49.110	49.110
551	4			49.728	49.728
453	2				53.050
Sig.		.962	.596	.324	.071

หมายเหตุ ค่า V3 = ภาวะต่าง ๆ ในการทดลอง ตัวเลขสองตัวเลข หมายถึงอุณหภูมิในการทำแห้ง และตัวเลขตัวสุดท้าย หมายถึง การปรับสภาพ โดย 1 = การไม่ปรับสภาพ, 2 = การปรับสภาพโดยวิธีการลวกด้วยน้ำเดือด, 3= การปรับสภาพด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า a* (ไม่มีนัยสำคัญ)

ANOVA

a*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.191	2	1.595	2.539	.096
Within Groups	18.225	29	.628		
Total	21.415	31			

ตารางที่ ข.11 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพกับค่า a* (ไม่มีนัยสำคัญ)

ANOVA

a*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	.000	1.000
Within Groups	21.415	29	.738		
Total	21.415	31			

ตารางที่ ข.12 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างการปรับสภาพและอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า a* (มีนัยสำคัญ)

ANOVA

a*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15.282	8	1.910	7.163	.000
Within Groups	6.133	23	.267		
Total	21.415	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพและอุณหภูมิการ
ทำแห้งกับค่า a*

a*

V3	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a				
653	4	-17.6475		
661	4	-17.0875	-17.0875	
452	4	-17.0475	-17.0475	
552	4	-16.4650	-16.4650	-16.4650
551	4	-16.3650	-16.3650	-16.3650
553	4		-16.0475	-16.0475
652	4		-15.9775	-15.9775
451	2			-15.5800
453	2			-15.1300
Sig.		.082	.185	.062

ตารางที่ ข.14 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า b* (ไม่มีนัยสำคัญ)

ANOVA

b*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.605	2	3.802	.202	.819
Within Groups	546.819	29	18.856		
Total	554.424	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างกรปรับสภาพกับค่า b* (มีนัยสำคัญ)

ANOVA

b*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	458.972	2	229.486	69.722	.000
Within Groups	95.452	29	3.291		
Total	554.424	31			

ตารางที่ ข.16 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างกรปรับสภาพกับค่า b*

b*				
	pre-treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	2	12	20.5667	
	3	10		28.2800
	1	10		28.4950
	Sig.		1.000	.960

ตารางที่ ข.17 แสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างกรปรับสภาพและอุณหภูมิการทำแห้งกับค่า b* (มีนัยสำคัญ)

ANOVA

b*					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	508.851	8	63.606	32.101	.000
Within Groups	45.573	23	1.981		
Total	554.424	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 แสดงผลการวิเคราะห์ Homogeneous Subsets ระหว่างการปรับสภาพและอุณหภูมิการ
ทำแห้งกับค่าb*

b*

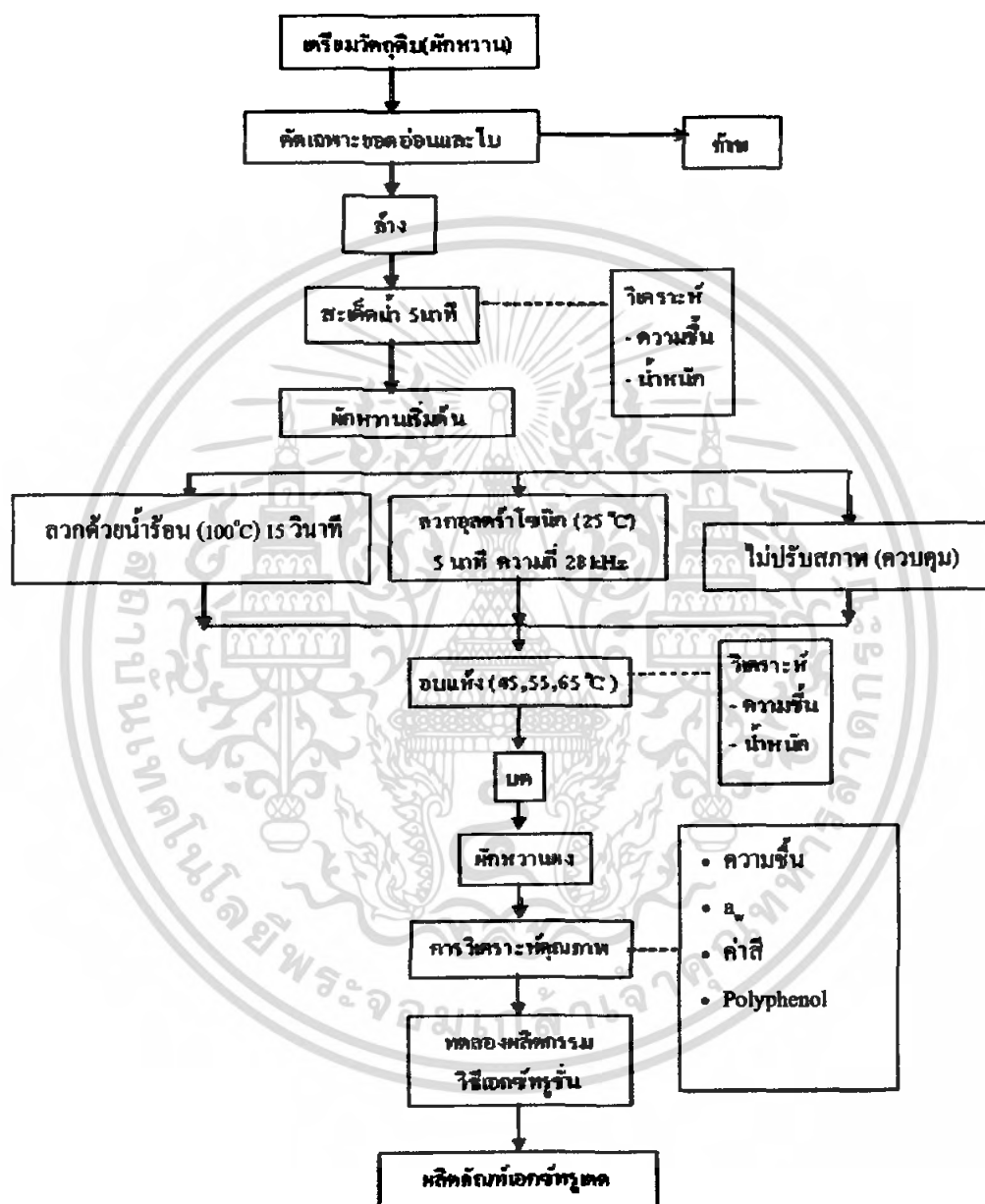
V3	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD*				
552	4	19.6150		
652	4	20.0525		
452	4	22.0325		
451	2		26.4250	
553	4		27.3675	27.3675
661	4		27.5125	27.5125
453	2		28.0050	28.0050
653	4		29.3300	29.3300
551	4			30.5125
Sig.		.439	.224	.152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วิธีการทดลอง และผลิตภัณฑ์ที่ได้

- วิธีการทดลอง



รูปที่ ก.1 แสดงแผนผังวิธีการทดลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ



รูปที่ ก.2 ผักหวานบ้านสด



รูปที่ ก.3 แสดงขั้นตอนการคัดเลือกใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนการปรับสภาพก่อนการอบแห้ง



รูปที่ ก.4 แสดงขั้นตอนการลวก



รูปที่ ก.5 เครื่องกำเนิดคลื่น Ultrasonic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

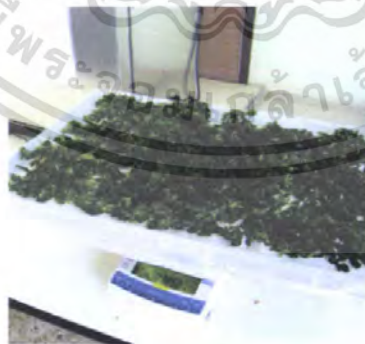
- ขั้นตอนการอบแห้ง



รูปที่ ก.6 ผักที่เคลือบบนตะแกรงก่อนนำไปอบแห้ง



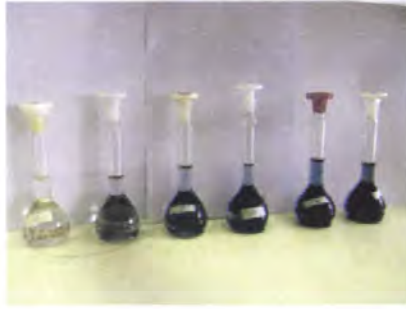
รูปที่ ก.7 แสดงขั้นตอนการอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อน



รูปที่ ก.8 แสดงขั้นตอนการชั่งน้ำหนักระหว่างการอบแห้ง

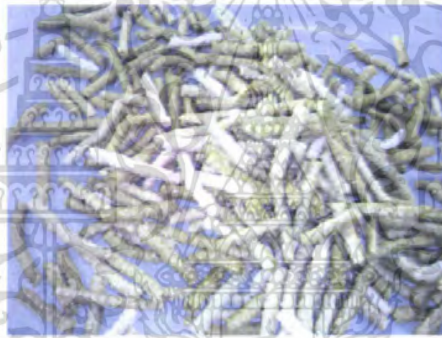
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณสาร Polyphenol



รูปที่ ๙.๑ แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณสาร Polyphenol

- ขั้นตอนการทดลองผลิตกรรมวิธีเอกซ์ทรูชัน



รูปที่ ๙.๑๐ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเตด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้



รูปที่ ค.11 ผักผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และอบแห้งที่ 45°C



รูปที่ ค.12 ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยการลวก และอบแห้งที่ 45°C



รูปที่ ค.13 ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic และอบแห้งที่ 45°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑๔ ผักผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และอบแห้งที่ 55°C

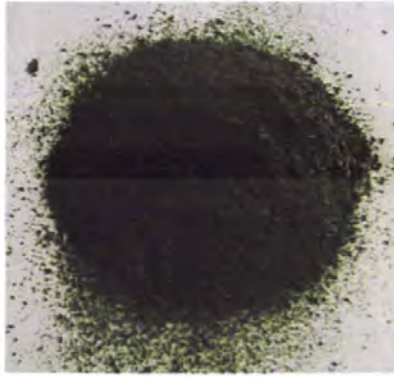


รูปที่ ๑๕ ผักผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการลวก และอบแห้งที่ 55°C



รูปที่ ๑๖ ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic และอบแห้งที่ 55°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 ผักผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และอบแห้งที่ 65°C



รูปที่ ก.18 ผักผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการลวก และอบแห้งที่ 65°C

รูปที่ ก.19 ผักผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยคลื่น Ultrasonic และอบแห้งที่ 65°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้