



รายงานวิจัยประจำปี 2553

โครงการวิจัยที่ 3055-3843

เรื่อง ผลของการอบแห้งอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เครื่อง
อบแห้งลมร้อนแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศต่อปริมาณ
คลอโรฟิลล์และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

Effect of Artichoke Drying Using Solar, Tray and Vacuum Microwave Dryers
on Chlorophyll and Antioxidant Activities

หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์ ดร. พิษญา บุญประสม พูลลาภ
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง
เดือนธันวาคม 2553



รายงานวิจัยประจำปี 2553

โครงการวิจัยที่ 3055-3843

เรื่อง ผลของการอบแห้งอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เครื่อง
อบแห้งลมร้อนแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศต่อปริมาณ
คลอโรฟิลล์และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

Effect of Artichoke Drying Using Solar, Tray and Vacuum Microwave Dryers
on Chlorophyll and Antioxidant Activities

จัดทำโดย

อาจารย์ ดร. พิชญา บุญประสม พูลลาภ

อาจารย์ อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

เดือนธันวาคม 2553

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงเป็นอย่างสูงสำหรับทุนวิจัยที่ได้จัดสรรให้คณะผู้วิจัยในการทำงานวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยนี้จะไม่สำเร็จลงได้ถ้าคณะผู้วิจัยไม่ได้รับทุนวิจัยจากมูลนิธิโครงการหลวงในปีงบประมาณ 2553 นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับสถานที่ทำวิจัย รวมถึงบุคลากรของคณะที่ให้การสนับสนุน



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของกรรมวิธีการอบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำแห้ง ค่าสี ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณเถ้าทั้งหมด ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ ปริมาณแทนนิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณโคลิฟอร์มและอี.โคไล ทำการทดลองอบแห้งอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบ และเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด อาร์ติโชคสดมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 464.93 % น้ำหนักแห้ง ควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ทำการอบแห้งด้วยความเร็วลม 0.5 m/s พบว่าในกระบวนการอบแห้งจะมีแต่ช่วงการอบแห้งลดลงเท่านั้น นอกจากนั้นอัตราส่วนความชื้นของอาร์ติโชคลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลกับระยะเวลาในการอบแห้ง จากผลการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสามชนิดต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่าคุณภาพหลังการอบแห้งอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน ผลลัพธ์ที่ได้หลังการอบทั้ง 3 วิธี มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด

คำสำคัญ อาร์ติโชค การอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ



Abstract

The effects of different drying methods on drying rate, drying time, color, moisture content, water activity, total ash, extractives, tannin and total phenolic compounds of dried artichoke were investigated. The experiments on drying of artichoke by using vacuum microwave, indirect solar energy and tray dryer were conducted. Average initial moisture content of artichoke was 464.93 % dry basis. The drying rate curve of artichoke drying at 50 °C with 0.5 m/s air velocity of tray dryer exhibited only the falling rate period. The moisture ratio exponentially decreased with increasing drying time. Color assessment, moisture content water activity, total ash, extractives, tannin and total phenolic compounds were analyzed as the quality parameters. Subsequently, quality parameters from solar dryer, tray dryer, and microwave vacuum rotary drum dryer were compared. The effects of different drying methods on chlorophyll and antioxidant activities of artichoke were also studied. The amount of chlorophyll and antioxidant activities of dried artichoke using solar dryer were higher than those from tray dryer and microwave vacuum rotary drum dryer . Dried product qualities of artichoke using solar dryer with moisture content of less than 8% were comparable to those dried in tray dryer and microwave vacuum rotary drum dryer. Drying by solar dryer consumed lowest electrical energy.

Keywords : artichoke, drying, solar energy, solar dryer, antioxidant activities



สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	3
2.2 การตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	4
2.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	4
2.4 การอบแห้งแบบถาด (Tray Drying)	7
2.5 การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง ไมโครเวฟสุญญากาศ	8
2.6 การอบแห้ง	9
2.6.1 หลักการอบแห้ง	9
2.6.2 กระบวนการทำแห้งอาหาร	10
2.6.3 การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารเนื่องจากการทำแห้ง	11
2.6.4 อัตราการทำแห้งของอาหาร (Drying Rate)	12
2.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง	12
2.7 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง	14
2.7.1 การหดตัว	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2 การเปลี่ยนสี	14
2.7.3 การเกิดเปลือกแข็ง	15
2.7.4 การเสียความสามารถในการคืนรูป (Rehydration)	15
2.7.5 การเสียคุณค่าทางอาหารและสารระเหย	15
2.8 ประโยชน์ของการทำแห้ง	16
2.9 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้อาหารแห้ง	16
2.9.1 ข้อดีของการทำให้อาหารแห้ง	16
2.9.2 ข้อเสียของการทำให้อาหารแห้ง	17
2.10 อาร์ติโชค	17
2.11 การขยายพันธุ์อาร์ติโชค	18
2.12 การเพาะปลูกอาร์ติโชค	19
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	22
3.1 วัสดุ และอุปกรณ์	22
3.1.1 วัสดุเกษตร	22
3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
3.1.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	22
3.1.4 เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด (Tray Dryer)	23
3.1.5 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน	24
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.2.1 วางแผนการทดลอง	25
3.2.2 กระบวนการอบแห้ง	26
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	30
3.4 สถานที่ทำการวิจัย	30
บทที่ 4 ผลการวิจัย	31
4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	31
4.3 การลดความชื้นของอาร์ติโชคโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	32
4.4 การเปรียบเทียบการลดความชื้นอาร์ติโชคระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด	33
4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพหลังการอบอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	35
4.6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส	45
4.7 เปรียบเทียบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ติโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา	58
ภาคผนวก ข การคำนวณค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง	71
ภาคผนวก ค การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	74
ภาคผนวก ง ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชา	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	เนื้อหา	หน้า
4.1	เปรียบเทียบความชื้นของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	36
4.2	เปรียบเทียบค่า a_w ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	37
4.3	เปรียบเทียบค่าความสว่าง Lightness (L^*) ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ แบบถังหมุน	37
4.4	เปรียบเทียบค่า Chroma ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	38
4.5	เปรียบเทียบค่า Hue Angle ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอา ทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	38
4.6	เปรียบเทียบคุณภาพทางด้านเคมีหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสง อาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	39
4.7	เปรียบเทียบปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ แบบถังหมุน	40
4.8	เปรียบเทียบปริมาณแทนนินหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสง อาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	41
4.9	เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์หลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสง อาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	41
4.10	เปรียบเทียบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด หลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟ สุญญากาศแบบถังหมุน	42
4.11	เปรียบเทียบปริมาณอาร์ติโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง $g/1$ (IC_{50}) ใน อาร์ติโชคที่เป็นผลิตภัณฑ์ และหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด	43

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของอาร์ติโชคหลังจากอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน	44
4.13 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านสีของชาอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน	45
4.14 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านกลิ่นชาของชาอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน	46
4.15 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านรสชาติของชาอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน	46
4.16 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสค้ำของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน	47
4.17 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน	47
4.18 เปรียบเทียบปริมาณอาร์ติโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง g/1 (IC ₅₀) ในชาอาร์ติโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ	48
4.19 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า (ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด)	50

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป	8
2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	10
2.3 การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ (Capillary Force)	11
2.4 การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์	12
2.5 ลักษณะของอาร์ติโชค	17
3.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer) ที่พัฒนาขึ้น โดย ภาควิชาวิศวกรรม อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	23
3.2 เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด (Tray dryer)	24
3.3 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน	25
4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศภายใน และภาย นอกตู้อบแห้งครั้งที่ 1 (28-29 เมษายน 2553 ครั้งที่ 2 (30 เมษายน – 1 พฤษภาคม 2553) ครั้งที่ 3 (2 – 3 พฤษภาคม 2553)	32
4.2 กราฟแสดงการลดความชื้นของอาร์ติโชคระหว่างการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์	33
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดความชื้นของอาร์ติโชคระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์กับเครื่องอบพลังงานไฟฟ้าแบบถาด	34

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันค่านิยมของการบริโภคเครื่องดื่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผู้ผลิตเครื่องดื่มหันมาผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (health drink) เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมดังกล่าว ทำให้ชาสมุนไพรเป็นเครื่องดื่มอีกประเภทหนึ่งที่กลับเข้ามาได้รับความนิยมอีกครั้งหลังจากตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในปี พ.ศ. 2547 มีมูลค่าประมาณ 4,000 ล้านบาท อัตราการขยายตัวร้อยละ 10-15 ของประเภทเครื่องดื่มสุขภาพยอดนิยม คือชาเขียวที่กำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน ส่วนเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่เป็นที่นิยมน้อยลงมากคือ เห็กฮวย น้ำจิง น้ำใบบัวบก ชาที่ทำมาจากดอกคำฝอย ชุมเห็ด กระเจี๊ยบ มะตูม และชาจากดอกไม้ไทย เช่น กุหลาบ สารภี บุนนาค พิกุล ดอกบัวขาว มะลิ เป็นต้น เดิมตลาดจำกัดอยู่ในกลุ่มผู้สูงอายุ ตลอดจนในหมู่ของผู้ที่รู้ถึงสรรพคุณทางด้านสมุนไพร ดังนั้นเครื่องดื่มประเภทนี้จึงทำให้ได้รับความนิยมในการเลือกซื้อเป็นของฝากในโอกาสต่างๆ แต่ในปัจจุบันตลาดในประเทศเริ่มเปิดรับเครื่องดื่มสมุนไพรมากขึ้น จึงขยายตัวอย่างต่อเนื่องสำหรับตลาดส่งออก นับว่าเป็นตลาดที่น่าสนใจอย่างมากของชาสมุนไพร แต่การที่ผลักดันตลาดชาสมุนไพรไทย ให้แทรกเข้าไปแข่งขันในตลาดชาสมุนไพรในตลาดโลกได้นั้น ต้องอาศัยจุดเด่นที่แตกต่างเป็นการสร้างโอกาส โดยต้องเป็นจุดเด่นที่ผู้บริโภคในต่างประเทศรับรู้และยอมรับ ซึ่งก็คือสรรพคุณของสมุนไพรไทย ปัจจุบันมีการส่งออกเครื่องดื่มสมุนไพรไปจำหน่ายที่สหรัฐอเมริกาแล้ว แม้ว่าจะอยู่ในระยะเริ่มต้นและมูลค่าในการส่งออกยังไม่สูงมากนัก แต่ก็ถือว่าเป็นความสำเร็จอีกก้าวหนึ่งของคนไทยที่พัฒนาสินค้าที่มีอยู่แล้วให้สอดคล้องกับกระแสความต้องการของตลาดโลก (ธนาคารไทยพาณิชย์, 2547)

งานวิจัยนี้ มีความสนใจที่จะนำเอาอาร์ติโชกซึ่งเป็นพืชโครงการหลวงที่อยู่ในช่วงทดลองตลาด และมีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระสูงมาผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ทั้งนี้เพราะนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการตรวจสอบและได้ศึกษาวิจัยพบว่า สารสกัดที่ได้จากอาร์ติโชก เป็นสารเคมีในกลุ่มของฟีนอลิกไดเทอร์ปีน (phenolic diterpine) สารเหล่านี้จะให้ผลในการกำจัดสารพิษในร่างกาย โดยเฉพาะอนุมูลอิสระ (free radicals) ที่มีผลในการทำลายเซลล์และลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง และพบว่าอาร์ติโชกสามารถช่วยบำรุง และกระตุ้นการทำงานของตับ ภูมุน้ำดี ไต ลดไขมันในเส้นเลือด ดื่มได้ทุกวันทำให้ร่างกายสดชื่น ผิวพรรณสดใส บรรเทาอาการปวดท้องประจำเดือน การที่พืชมีสรรพคุณดังกล่าว ทำให้ผู้ศึกษาเลือกที่จะนำเอาพืชนี้มาแปรรูปโดยการอบแห้งเป็นเครื่องดื่มประเภทชา ซึ่งเป็นการสนับสนุนเกษตรกรในเขตภาคเหนือและในเขตพื้นที่ส่งเสริมของโครงการหลวง ให้เปลี่ยนจากการปลูกพืชเสพติดมาเป็นพืชที่เป็นประโยชน์ ในปัจจุบันมีการนำเข้าชาอาร์ติโชกจากต่างประเทศและมีราคาค่อนข้างสูง

ดังนั้น การศึกษาผลของกรรมวิธีการอบแห้งต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ติโชคนอกจากจะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตผลอาร์ติโชคแล้ว ยังทำให้สามารถเลือกกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมทำให้ชาที่ผลิตได้มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและทัดเทียมกับชาอาร์ติโชคที่นำเข้าจากต่างประเทศ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อทราบอัตราการอบแห้ง ระยะเวลาการอบแห้งของอาร์ติโชค ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน
2. เพื่อทราบถึงคุณภาพทางกายภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของอาร์ติโชคก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน
3. เพื่อทราบถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาอาร์ติโชค ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด
4. เพื่อทราบถึงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอาร์ติโชค
2. ลดการนำเข้าชาอาร์ติโชคจากต่างประเทศ
3. ทราบวิธีการอบที่เหมาะสมในการทำแห้งเพื่อให้ได้ชาอาร์ติโชคที่มีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระสูงสุด
4. เป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพและช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิต

4. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการทำแห้งในกระบวนการผลิตชาอาร์ติโชคซึ่งเป็นพืชโครงการหลวงที่อยู่ในช่วงทดลองตลาดและมีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระสูง
2. ศึกษาผลของการอบแห้งต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ติโชค

บทที่ 2

ทฤษฎี และแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานปฐมภูมิ (primary energy source) และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดของชีวิต ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูงประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นน้ำ ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำ (black body) ที่มีอุณหภูมิสูง 5,777 K ที่บริเวณ $0.7 R - 1 R$ พลังงานที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ เป็นผลจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ และทำให้มวลของดวงอาทิตย์ลดลงในอัตราประมาณ 4×10^9 กิโลกรัมต่อวินาที มีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ ในอัตรา 3.85×10^{23} กิโลวัตต์ จากปริมาณกำลังงานที่ปล่อยมา มีกำลังงานตกกระทบโลกในอัตรา 1.79×10^4 กิโลวัตต์ และพลังงานที่แผ่ออกมาจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

พลังงานจากดวงอาทิตย์มีหลายรูปแบบแต่เป็นที่รู้จักกันมากได้แก่ แสง และความร้อน รังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่ตลอดปีเป็นค่าความเข้มในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร รังสีแสงอาทิตย์มีค่า 380 ล้านล้านเมกะวัตต์ เมื่อผ่านบรรยากาศมาถึงโลกจะเหลือเพียง 170 ล้านเมกะวัตต์ (วิจิตร, 2524) ช่วงความยาวคลื่นที่ให้ความร้อนได้แก่ อินฟราเรด มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.8 – 200 ไมโครเมตร เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่ารังสีอัลตราไวโอเลต แต่สั้นกว่าช่วงความยาวคลื่นของวิทยุและโทรทัศน์ บรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด หยดน้ำและอนุภาคของแข็ง ซึ่งกั้นแสงแดดที่แผ่เข้ามายังพื้นผิวโลก ส่วนหนึ่งของแสงแดดจะถูกสะท้อนกลับสู่อวกาศนอกโลกทันที ขณะที่ส่วนที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาในโลกได้ก็จะถูกดูดซับ แพร่ หรือสะท้อนกลับโดยชั้นวัตถุ

การแผ่ความร้อนของดวงอาทิตย์จะอยู่ในรูปของการแผ่รังสี โดยจะแผ่รังสีผ่านชั้นบรรยากาศและแผ่รังสีลงสู่พื้นโลกอีกครั้งหนึ่ง การแผ่รังสีนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. การแผ่รังสีโดยตรง (Beam or Direct Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง และตกลงผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่งซึ่งทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์
2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีดวงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลก และวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในแนวทางการเดินทางของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสงรังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า
3. รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับแสง ในกรณีที่ผิวรับแสง ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียงรังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้ารังสีกระจายจากท้องฟ้า และผิวโลกเรียกรังสีรวมนี้ว่า Total Radiation (จงจิตร, 2540)

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่ลงมายังโลกนั้นยังขึ้นกับระยะห่างจากโลกกับดวงอาทิตย์และขึ้นอยู่กับมุมเอียงของโลก

ปัจจัยที่มีผลต่อการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก

1. ความโปร่งใสของบรรยากาศ เนื่องจากบรรยากาศประกอบด้วยฝุ่น เมฆ ไอน้ำ แก๊ส ซึ่งมีส่วนในการกระจาย การสะท้อน และการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์
2. ความยาวนานของเวลากลางวัน มีค่าแตกต่างกันตามฤดูกาลเป็นช่วงที่มีระยะเวลากลางวันยาวนานจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก
3. มุมของแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบบนพื้นโลก ในตอนเที่ยงวันค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีมากที่สุดเพราะส่องกระทบเป็นมุมฉากในตอนเช้า และเย็นแสงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ดังนั้นค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีน้อย

2.2 การตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้ว และในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ โดยเฉพาะกับผลผลิตทางการเกษตรเวลาที่ใช้ในการตากแห้งขึ้นอยู่กับชนิด และความชื้นของผลผลิต ความหนาของชั้นตากแห้ง และสภาวะอากาศ การอบแห้งด้วยแสงแดดจะเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มีข้อเสียคือ คุณค่าทางอาหารบางอย่าง เช่น สี กลิ่น รส อาจสูญเสียไป เกิดการปนเปื้อนจากฝุ่น แมลงต่างๆ และ จุลินทรีย์ (ครุณี, 2532) นอกจากนั้นยังพบว่าอาหารเน่าเสียในระหว่างการตากแดดเกิดขึ้น เนื่องจากมีแมลงมาไข่ทิ้งไว้แล้วเกิดเป็นตัวอ่อน ในบางครั้งเกษตรกรประสบปัญหาผลผลิตเปียกชื้น และไม่สามารถทำได้ทันเวลาทำให้ผลผลิตเสียหาย เช่น มีเชื้อราและสารพิษสูงเกินมาตรฐาน เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงวิธีการตากแห้งโดยใช้แสงแดด โดยอาศัยหลักการของวัตถุดำ ซึ่งสามารถดูด และเก็บความร้อนได้ดีมาก การอบในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาน้อยเพราะอุณหภูมิภายในตู้อบสูง เมื่อแห้งเร็วก็จะเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ได้ดีคือ ไม่เกิดการเน่าเสียในระหว่างการตาก ไม่มีการปนเปื้อนจากฝุ่น แมลง นก แม้ว่าจะมีแมลงไข่ หรือแมลงเล็ดรอดเข้าไปก็ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ จึงสะอาดและสะดวกกว่าโดยไม่จำเป็นต้องเก็บเมื่อฝนตกเป็นการประหยัดแรงงาน และประหยัดเชื้อเพลิง หรือไฟฟ้าด้วย

2.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นการอบแห้งผลผลิตโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำจากผลผลิต ซึ่งจะอาศัยการพาความร้อน โดยที่การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะเสียต้นทุนด้านพลังงานน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดอื่นๆ (ครุณี, 2532) นภาพรณ (2547) ได้ศึกษาการอบแห้งเปปเปอร์มินท์ ยูเอสเอมินท์ และเลมอนไทม์ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งลักษณะเครื่องเป็นแบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบ ทำการอบแห้งด้วยความเร็วลม 1.5 และ 1.8 เมตรต่อ

วินาที โดยใช้พืชสมุนไพร 2,068 และ 2,585 กรัมต่อตารางเมตร คุณภาพหลังการอบพืชสมุนไพรที่ทำการตรวจวัดคือค่า สี ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณคลอโรฟอร์มและ *Escherichia coli* จากการทดลองพบว่าความเร็วลมไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยูเอสเอ็มเอ็นท์และเลมอนไทม์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะมีผลต่อเวลาในการอบแห้งเปปเปอร์มินท์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) นอกจากนั้นความเร็วลมยังมีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยของพืชสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากการเปรียบเทียบคุณภาพหลังการอบของพืชสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่าคุณภาพหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ด้อยไปกว่าคุณภาพหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนเป็น 2.35, 83.48 และ 15.45 บาทต่อ 1,800 กรัมตามลำดับ

2.3.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งตามแบบการไหลของกระแสอากาศเป็น 2

แบบ คือ

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ (Force Convection Solar Dryer) เครื่องอบแห้งนี้จะใช้พัดลมเป็นตัวขับเคลื่อนอากาศให้ไหลภายในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากการสร้างความดันให้เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมระหว่างทางเข้าและทางออก เหมาะสมกับการอบแห้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ลงทุนยากและสร้างยากกว่า แต่สามารถออกแบบให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างมาก ถ้าต้องการมีการอบแห้งจำนวนมากๆ ควรใช้พัดลมในการขับเคลื่อนอากาศทำให้การหมุนเวียนอากาศเป็นไปได้ด้วยดี ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้พัดลม หรือ free convection dryer

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ (Force Convection Dryer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยหลักการขยายตัวของอากาศภายนอกซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ทำให้การหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น ซึ่งเหมาะสมกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการลงทุนต่ำเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศขึ้นกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

2.3.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งตามลักษณะการรับพลังงานความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ประกอบกับลักษณะการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งประเภทได้เป็นลักษณะ ดังนี้

1. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Mode Solar Dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้วัสดุทำเป็นหลังคา รังสีดวงอาทิตย์จะทะลุผ่านไปยังวัสดุโดยตรง การระเหยน้ำออกจากตัววัสดุเกิดขึ้นเพราะความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกล่อง

2. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect Mode Solar Dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วย ตัวทำความร้อนด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar air heater) พัดลม (fan) โบลว์เวอร์ (blower) และห้องอบแห้ง (drying chamber) รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวทำอากาศร้อนก่อนแล้วจึงส่งไปยังวัสดุ โดยมีอากาศเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังเก็บ

3. แบบรับรังสีแสงอาทิตย์แบบผสม (Mixed Mode Solar Dryer) เครื่องอบประเภทนี้เกิดจากการพัฒนาโดยเอาสองแบบแรกมารวมกัน วัสดุจะได้รับความร้อนสองส่วนคือ ได้รับความร้อนจากการถูกแสงโดยตรงและได้จากอากาศร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อน

2.3.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ

1. การอบแห้งระบบ Passive คือระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่

ก. เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ

ข. ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่โชบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น

ค. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

2. การอบแห้งระบบ Active คือระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้

3. การอบแห้งระบบ Hybrid คือระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย

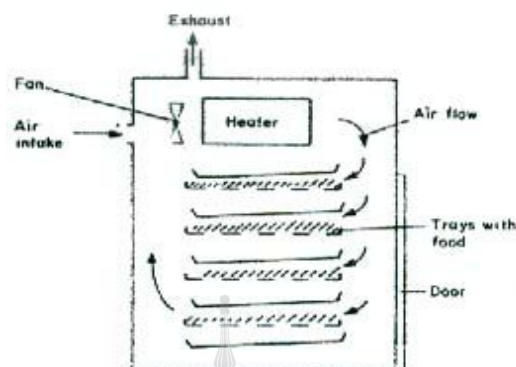
การถ่ายเทความร้อนเกิดตรงจุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือที่ใช้ในการอบ และวัสดุที่ต้องการทำให้แห้ง (วัฒนพงษ์, 2536) เช่นเดียวกับ Yahya et al. (2000) ที่ศึกษาถึงวิธีการถนอมอาหารผัก และผลไม้โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม และแบบทางอ้อมมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติโดยใช้ ฝรั่ง มะเดื่อ มะเขือเทศ และหัวหอม พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติโดยความชื้นสุดท้ายของฝรั่งหลังจากอบโดยใช้เครื่องอบทั้ง 3 แบบ เป็นร้อยละ 12.5, 20.05 และ 68.45 ตามลำดับ และความชื้นของมะเดื่อ จะลดลงเป็นร้อยละ 23.5 เมื่อใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ ซึ่งจะใช้เวลาในการอบเท่ากัน สำหรับมะเขือเทศไม่มีความแตกต่างกัน และหัวหอมมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.4 การอบแห้งแบบถาด (Tray Drying)

การอบแห้งแบบถาดเป็นการอบแห้งโดยใช้กระแสน้ำร้อนเคลื่อนที่สัมผัสกับอาหาร โดยอาหารอาจจะอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนที่ด้วย (สุคนธ์ชื่น และวรรณวิบูลย์, 2543) ซึ่งเครื่องอบแห้งนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากการทำแห้งแบบตากแดดมีข้อด้อยหลายข้อ เช่น พลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิที่ไม่สูงนัก และกระแสน้ำธรรมชาติไม่แรงพอ ทำให้ใช้เวลานาน ใช้พื้นที่มากและมักทำในที่เปิดโล่ง คุณค่าทางอาหารบางอย่าง เช่น สี กลิ่น รส อาจสูญเสียไป เกิดการปนเปื้อนจากฝุ่น แมลงต่างๆ และจุลินทรีย์ (ครุณี, 2532)

เครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่ความดันบรรยากาศ ลักษณะของเครื่องมือจะเป็นตู้รูปทรงแท่ง มีถาดสำหรับใส่อาหาร มีระบบท่อหรือเบฟเฟิล เพื่อนำความร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องนำความร้อนเพิ่มขึ้นด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง (วิไล, 2546)

ส่วนปัญหาเครื่องอบแห้งที่พบคือควบคุมดูแลยากจึงมีการอบแห้งที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจาก การกระจายลมไม่ทั่วถึง มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่อยู่บริเวณทางเข้าของลมมีลักษณะแห้งกว่าด้านทางออก ของลม ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มีความสม่ำเสมอกัน สามารถแก้ไขได้โดยสลับถาดหรือกลับ ทิศทางลม (ไพบูลย์, 2532)



ภาพที่ 2.1 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป

ที่มา : ไพบูลย์ (2532)

2.5 การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ มีหลักการเดียวกันกับการให้ความ ร้อนในระบบไมโครเวฟทุกประการ แต่แตกต่างกันที่ระยะเวลาที่ใช้เพราะในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ภายใต้อากาศสุญญากาศนั้น มีการใช้ความดันเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ระยะเวลาที่ใช้สั้นกว่าการใช้ ไมโครเวฟแบบธรรมดา (ไพบูลย์, 2529)

คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะเหมือนลำแสง เดินทางเป็นเส้นตรง เมื่อกระทบโลหะจะสะท้อน กลับแต่สามารถทะลุผ่านอากาศ แก้ว กระจก และพลาสติกได้ จะถูกดูดซับได้ดีในสารประกอบที่มี คุณสมบัติเป็นไดอิเล็กทริก เมื่อคลื่นไมโครเวฟสะท้อนกลับจะไม่เกิดความร้อนกับวัตถุนั้น แต่ถ้าสาร สามารถดูดซับไมโครเวฟได้จะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายในสาร โดยเปลี่ยนรูปเป็นพลังงาน แม่เหล็กไฟฟ้า องค์ประกอบของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อาหารทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็ก ทริก แต่การดูดซับไมโครเวฟได้แตกต่างกันไปนั้นขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีอาหาร พบว่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมี เกลือแร่ และรูปแบบน้ำของอาหารมี ความสำคัญต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟด้วย น้ำอิสระจะดูดซับน้ำได้ดีกว่าน้ำที่เกาะกับสารประกอบ อื่นๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ส่วนปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้แก่ ลักษณะทาง กายภาพของอาหาร อุณหภูมิและระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ สำหรับอาหารแห้ง อาหารที่มีไขมัน และน้ำสูงจะดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีกว่า

การอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยความร้อนที่ได้มาจากคลื่นไมโครเวฟ เมื่อคลื่นพุ่งเข้าสู่อาหารด้านในจะถูกคลื่นไว้ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นการลดความร้อนที่เป็นความร้อนสัมผัส ทำให้อาหารทั้งด้านนอกและด้านในได้รับคลื่นความร้อนเท่ากัน จึงไม่ทำให้อาหารเกิดการไหม้เกรียม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีสวยงามและคงคุณค่าทางอาหารเหมือนเดิม นอกจากนี้การทำแห้งจะทำให้ทุกสภาวะโดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความสะอาดถูกต้องลักษณะ (ไพบูลย์, 2529)

2.6 การอบแห้ง

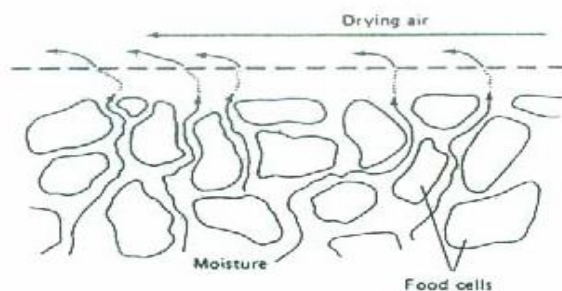
การทำอาหารแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหาร เป็นการถนอมอาหารแบบหนึ่งที่ทำได้ง่าย เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่ง สามารถเก็บรักษาได้นานเป็นปี จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นที่จะป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นสำคัญ ถ้าจะป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ควรจะลดต่ำลงจนถึงประมาณร้อยละ 5 (รุ่งนภา, 2535)

2.6.1 หลักการอบแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าของอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอบนผิวหน้าของอาหารขึ้น ด้านในจะมีความดันไอสองและค่อยๆลดต่ำลง เมื่อชั้นของอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหารน้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงแคปิลารี
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายของอาหารในส่วนต่างๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งดูดซับโดยผิวหน้าของแข็งในอาหาร
4. ความแตกต่างของความดันไอนำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

อาหาร



ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง

ที่มา: วิไล (2546)

2.6.2 กระบวนการทำแห้งอาหาร

การทำแห้งคือ การลดความชื้นในอาหาร หรือ การลดค่า a_w ของอาหาร ค่า a_w มาจากคำว่า available water หรือ water activity หมายถึง ปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ น้ำที่มีอยู่ในอาหาร (water content of food) ทุกชนิดจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบในปริมาณเล็กน้อยแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 10-95 โดยน้ำหนัก อาหารที่มีน้ำมาก จะเกิดการเสื่อมเสียเร็ว แต่ปริมาณน้ำอย่างเดียวไม่สามารถที่จะบ่งชี้ว่าอาหารนั้นจะเสื่อมเสียได้เร็วหรือช้า เพราะองค์ประกอบของอาหารแตกต่างกัน น้ำที่มีอยู่ในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

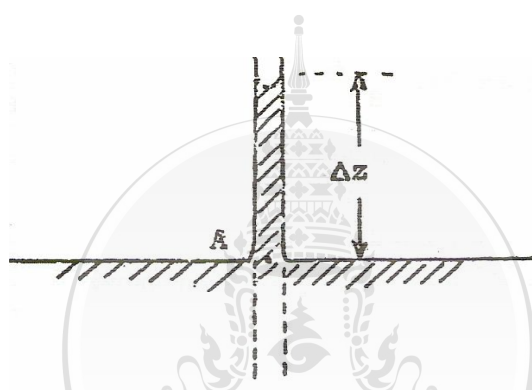
1. น้ำอิสระ (Free Water) น้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในเซลล์พืช เซลล์สัตว์ ไซโทพลาซึม ช่องว่างระหว่างเซลล์ ท่อส่งน้ำ ท่ออาหาร น้ำอิสระสามารถดึงออกจากอาหารได้ง่ายๆ โดยใช้พลังงาน ความร้อนและแสงในช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่ น้ำอิสระเป็นน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเป็นน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญและการสืบพันธุ์ เรียกน้ำส่วนนี้ว่า available water หรือ water activity เป็นน้ำที่มีความสำคัญ มีบทบาทต่อการถนอมอาหารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2. น้ำไม่อิสระ (Bound water) น้ำไม่อิสระเพราะโมเลกุลไปเกาะเกี่ยวกับโมเลกุลของสารเคมี หรือสารประกอบอื่นๆ ในอาหารด้วยพันธะต่างๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะแวนเดอร์วาลส์ การจับตัวด้วยพันธะต่างๆ มีผลต่อความแข็งแรง ความยากง่ายในการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของสารอื่นๆ

2.6.3 การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารเนื่องจากการทำแห้ง

การทำแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหารโดยการระเหย การระเหยเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร 2 ระดับ คือ การเคลื่อนที่จากภายในอาหารไปสู่ผิวหนังของอาหาร และจากผิวหนังของอาหารไปสู่อากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

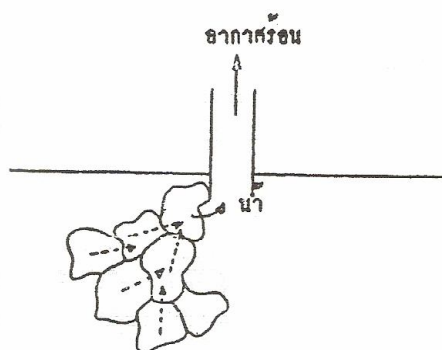
1. การเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบ (Capillary Force) เป็นการเคลื่อนที่ของไอน้ำในอาหารที่มีเซลล์โปรง มีรูพรุนขนาดใหญ่ มีช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นทางแคบๆ เกิดแรงดันของน้ำขึ้นมาตามท่อส่งน้ำ และท่อแคปิลลารี เกิดขึ้นได้สะดวกรวดเร็ว หยุดเมื่อน้ำในช่องแคบๆ ขาดตอนลง ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ (Capillary Force)

ที่มา : สมบัติ (2529)

2. การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์ เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารที่มีเนื้อแน่น ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ต่อเนื่องเป็นทางแคบๆ หรือเกิดในอาหารที่อบแห้งไประยะหนึ่งแล้วที่แรงผ่านช่องแคบหมดไปแล้ว น้ำจะต้องแพร่ผ่านผนังเซลล์จึงเคลื่อนที่ได้ช้า ซึ่งมีลักษณะเป็น Semipermeable membrane จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารแล้วจะระเหยไปกับกระแสลมร้อน ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์

ที่มา : สมบัติ (2529)

2.6.4 อัตราการทำแห้งของอาหาร (Drying Rate)

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา) อาหารที่มีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่ของน้ำจะเป็นแบบการไหลผ่านช่องแคบ น้ำที่เคลื่อนมาที่ผิวอาหารจะเร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ ผิวอาหารจะเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยน้ำเกิดอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า อัตราการทำแห้งคงที่ เมื่อการไหลผ่านช่องแคบของน้ำหมดไป น้ำจะเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนผิวอาหารแห้ง การระเหยเกิดขึ้นช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง

อัตราการอบแห้ง เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อเวลา หรือพื้นที่โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยไป}}{\text{ระยะเวลา หรือพื้นที่}}$$

การทำแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของอากาศในเครื่องทำแห้งสมดุลกับความชื้นของอาหาร หรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ มีค่าเท่ากับ ค่า a_w ของอาหารคูณด้วย 100 เรียกว่าความชื้นสมดุล

2.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารมีเนื้อโปร่ง น้ำจะเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ผ่านเซลล์ในอาหารเนื้อแน่น อาหารเนื้อโปร่งจะแห้งเร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารมีน้ำตาล

สูงจะเหนียว กีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจะแห้งช้า อาหารที่ผ่านการลวก นวดคลึง จนเซลล์แตก จะแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาด และรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิว ต่อน้ำหนัก ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่ จึงแห้งได้เร็วกว่า ความหนาของอาหาร อาหารยิ่งหนามากเท่าไร การอบแห้งก็จะใช้เวลานานนอกจากนั้นต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา อัตรการอบแห้งภายในตู้เกิดไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับชนิด ประสิทธิภาพ ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำ (ลมร้อนมีอุณหภูมิสูง) ระเหยได้ดี

4. ปริมาณอาหารต่อพื้นที่ในเตามีความสัมพันธ์ กับพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับลมร้อน การอบแห้งอาหารโดยใส่อาหารเข้าไปในตู้อบครั้งละมากๆ ทำให้การอบแห้งไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะช่วงกลางๆ อาหารจะซ้อนทับกัน น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี อาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อนไม่ทั่วถึง ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนได้จึงทำให้อาหารแห้งช้า การจัดเรียงอาหารเพื่อนำไปอบแห้งมีผลต่ออัตรการอบแห้ง การจัดเรียงอาหารให้แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่ซ้อนทับกัน อาหารจะสัมผัสกับลมร้อนได้อย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ อาหารจะแห้งได้อย่างทั่วถึง

5. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity : RH) ความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนกับอาหารมีผลต่อแรงขับเคลื่อนความชื้นออกจากอาหาร ในการอบแห้งลมร้อนยังมีความชื้นต่ำ อัตรการอบแห้งยังสูง แต่ถ้าลมร้อนมีความชื้นเข้าใกล้จุดอิ่มตัว (น้ำเยอะ) จะรับไอน้ำได้น้อย อัตรการอบแห้งจะต่ำ ความชื้นของอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าจะสามารถลดความชื้นของอาหารในกระบวนการอบแห้งให้ต่ำเท่าไร อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ทันทีที่อาหารและอากาศร้อนถึงจุดสมดุล การระเหยน้ำจะไม่เกิดขึ้นอีก

6. อุณหภูมิของอากาศ เพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ เพิ่มแรงขับเคลื่อนน้ำหรือความชื้นออกจากผิวหน้าอาหาร ถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น อัตรการอบแห้งจะสูงขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงจนทำให้อาหารไหม้ หรือเกิดความเสียหายจากปฏิกิริยาทางเคมี หรือกายภาพ การกำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน และระยะเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งผักและผลไม้ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 45-70 องศาเซลเซียส ถ้าสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยเร็วเกินไป อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงซ้อนทางเคมี กายภาพที่ผิวหน้า

ผิวหนังเกิดเปลือกแข็งกระด้าง น้ำซึมผ่านไม่ได้ เรียกว่า case hardening อัตราการอบแห้งลดต่ำลง ผลิตภัณฑ์มีความชื้นอยู่ในสูง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้จะเกิดการเน่าเสีย เกิดสีคล้ำ

7. ความเร็วของลมร้อนในการอบแห้งลมร้อนให้กับอาหารพาความชื้นออกไป ถ้าใช้ความเร็วลมสูงก็จะพาไอน้ำจากผิวหนังของอาหารสู่ภายนอกได้เร็วขึ้น และยังช่วยป้องกันการเกิดสถานะอิมตัวในบรรยากาศเหนือผิวของอาหาร ช่วยลดเวลาในช่วงการอบแห้งคงที่

2.7 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร และสถานะที่ใช้ในการอบแห้ง คือ

2.7.1 การหดตัว

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตโดยธรรมชาติจะมีลักษณะเต่ง ผนังเซลล์มีความยืดหยุ่น สามารถต้านทานแรงได้ระดับหนึ่ง ถ้าแรงที่ได้รับมากเกินไปกว่าที่ผนังเซลล์จะรับได้ผนังเซลล์จะแตก เซลล์ผิดรูปไปในการอบแห้งเมื่อน้ำระเหยไปจะเกิดช่องว่างขึ้นทำให้เซลล์ของอาหารซึ่งเชื่อมโยงติดกันถูกดึงให้เข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้น เซลล์หดตัวแต่ไม่สามารถหดตัวเข้าไปได้เท่าๆกันทุกส่วน ส่วนที่หดตัวไม่ได้ก็จะเกิดการยืดตัวออกทำให้เกิดแรงดึง ผนังเซลล์ทนต่อแรงดึงได้ระดับหนึ่ง ถ้าแรงที่ได้รับมากกว่าที่ผนังเซลล์จะรับได้ทำให้เกิดการฉีกขาด ซึ่งมักเกิดกับอาหารที่มีโครงสร้างแข็งแรงหรือการอบแห้งที่เร็วเกินไป ถ้าทำการอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิสูง ผิวหน้าจะแห้งแข็งก่อนที่อาหารส่วนที่อยู่ใจกลางจะแห้ง ดังนั้นเมื่ออบบริเวณใจกลางแห้งและหดตัว จะดึงส่วนที่ผิวหน้าทำให้เกิดการปริแตกภายใน เกิดช่องว่าง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายรังผึ้งได้ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแข็ง มีผิวหน้าที่โค้งเล็กน้อย มีลักษณะเหี่ยวมากกว่า มีช่องว่างมากกว่า ถ้าอบอย่างช้าๆ จะมีผิวหน้าที่โค้งมากกว่า มีเนื้อแน่น การเสียน้ำทำให้เซลล์ของอาหารเกิดการหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพส่วนที่อ่อนจะเหี่ยวลงไป อาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่มากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วอาหารจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ

2.7.2 การเปลี่ยนสี

สีของอาหารหลังการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการอบแห้งทำให้ลักษณะผิวหนังของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสะท้อนแสง สีเปลี่ยน และยังมีผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ของรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง อาหารที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อน ปฏิกิริยาทางเคมี เกิดสารสีน้ำตาล อุณหภูมิ ความชื้นของอาหาร

2.7.3 การเกิดเปลือกแข็ง

อาหารจะมีเปลือกแข็งหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ ซึ่งเกิดจากในช่วงแรกที่ให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในของอาหารเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง

2.7.4 การเสียความสามารถในการคืนรูป (Rehydration)

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำกลับมาคืนสภาพโดยการแช่น้ำ จะคืนน้ำกลับคืนได้ไม่ถึงร้อยละ 100 และใช้เวลานาน ผลิตภัณฑ์อาหารหลังคืนสภาพจะมีเนื้อเหนียว สูญเสียความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ ความกรอบ อาจมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหดตัว การบิดเบี้ยว การฉีกขาดของเซลล์ เซลล์อาหารจะเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ โปรตีนเสียสภาพในการดูดน้ำ อัตราการคืนรูปอาจใช้เป็นดัชนีชี้คุณภาพของอาหาร อาหารถูกทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเสียหายน้อย คืนรูปได้เร็วและสมบูรณ์กว่าอาหารที่ทำแห้งไม่เหมาะสม อาหารทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง จะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนในการทำลายผนังเซลล์ หรือเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชโปรตีน

2.7.5 การเสียคุณค่าทางอาหารและสารระเหย

คุณค่าทางอาหารที่เหลืออยู่ในอาหารแห้งมีความแตกต่างกันเป็นผลมาจากวิธีการเตรียมอุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำแห้ง สภาวะในการเก็บรักษา มีการเสื่อมสลายของวิตามินซี แคโรทีน เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเสื่อมสลายไรโบฟลาวินจากแสง ส่วนไทอะมิน โปรตีน เกิดจากความร้อน เมื่อใช้เวลาในการทำแห้งนาน การสูญเสียก็จะยิ่งมาก การสูญเสียสารระเหย เนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นหอม กลิ่นรสของอาหารแห้งลดน้อยลงจากเดิม สารระเหยจะสูญเสียไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในอาหาร ความดันไอของสารละลาย

2.8 ประโยชน์ของการทำแห้ง

2.8.1 ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมี การผลิตเอนไซม์ การเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์

2.8.2 ทำให้มีผลิตภัณฑ์ไว้ใช้อุปโภคบริโภคในยามขาดแคลน นอกฤดูกาลหรือในแหล่งห่างไกล

2.8.3 ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็นให้เปลืองค่าใช้จ่าย

2.8.4 เป็นการลดน้ำหนักอาหาร ขนาดของอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ การเก็บรักษา การขนส่ง ลดพื้นที่ และค่าใช้จ่าย

2.8.5 เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ที่มีลักษณะ กลิ่นรสเฉพาะ เช่น ลูกเกด ซึ่งได้จากการทำแห้งองุ่น ลูกพรุน หนุ่ยแผ่น หนุ่ยหยอง กุนเชียง เป็นต้น

2.8.6 เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้อุปโภคบริโภค เช่น ชา กาแฟผงสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ต้องผ่านกระบวนการหมัก ต้ม บด มาก่อนการอบแห้ง ผู้บริโภคเพียงนำมาเติมน้ำร้อนก็สามารถบริโภคได้ทันที (รุ่งนภา, 2535)

2.9 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้อาหารแห้ง

2.9.1 ข้อดีของการทำให้อาหารแห้ง

1. น้ำหนักเบา การทำแห้งสามารถลดน้ำหนักลงได้ประมาณร้อยละ 60-90 ของอาหารสด ยกเว้นธัญพืชประกอบด้วยน้ำ และน้ำส่วนนี้เองจะถูกกำจัดออกโดยกระบวนการอบแห้งหรือตากแห้ง

2. มีความกระชับ คือผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งต้องการเนื้อที่น้อยกว่าของอาหารสด อาหารแช่เยือกแข็ง หรืออาหารกระป๋อง โดยเฉพาะถ้าสามารถจัดเก็บในภาชนะบรรจุได้

3. ความคงตัวที่สภาวะการเก็บ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งไม่จำเป็นต้องใช้ตู้เย็นในการเก็บรักษา แต่มีข้อจำกัดของอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อให้ได้ระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น

2.9.2 ข้อเสียของการทำให้อาหารแห้ง

1. ความไวต่อความร้อน เนื่องจากอาหารส่วนมากมีความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่ง อาจทำให้เกิดกลิ่นรสใหม่ขึ้นได้ ถ้าควบคุมสภาวะไม่เหมาะสม
2. เกิดการสูญเสียกลิ่นรส สารระเหย ที่ระเหยได้ และเกิดการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ได้
3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงการเกิดการแห้งกรอบอันเนื่องมาจากการหดตัว
4. เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังเกิดการหืนของไขมัน
5. เกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้า ปริมาณความชื้นสุดท้ายมีค่าสูง หรือเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

2.10 อาร์ติโชค

อาร์ติโชคนิยมปลูกในหลายประเทศมีชื่อสามัญเรียกหลายภาษาเช่น ภาษาอังกฤษ เรียก “Globe artichoke” และ ภาษาบราซิลเรียก “alcachofra” เป็นต้น เป็นพันธุ์ไม้ในตระกูล (Family) Asteraceae สกุล (Genus) *Cynara* และมีชื่อชนิดว่า *Cynara scolymus* เป็นพืชที่มีคุณค่าทางยาสามารถบริโภคสดหรือปรุงเป็นอาหารหรือนำมาสกัดสาร ไชนาริน (synarin) รับประทานเพื่อบำรุงรักษาสุขภาพได้ดี นิยมบริโภคมานานกว่าศตวรรษแล้ว ทุกส่วนของต้นอาร์ติโชคสามารถนำมาทำประโยชน์ได้ทั้งหมด มีรายงานการพบ สารไชนาริน ซึ่งเป็นสารสำคัญในอาร์ติโชคโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวยุโรปเมื่อปี ค.ศ. 1970 ในยุคโบราณ อาร์ติโชคเป็นอาหารและยารักษาโรคของชาวอียิปต์ ชาวกรีก และชาวโรมัน ปัจจุบันปลูกเพื่อเป็นการค้าในหลายประเทศทั่วโลก (ศักดิ์ดา, 2553)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของอาร์ติโชค

สายพันธุ์อาร์ติโชคที่ใช้ปลูกแบ่งออกตามลักษณะการใช้บริโภคคือ

2.10.1 พันธุ์ที่นิยมบริโภคดอกเป็นหลัก ลำต้นมีลักษณะเตี้ย ทรงพุ่มมีขนาดเล็ก ระยะปลูกชิด ปลูกได้ปริมาณมาก มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น

2.10.2 พันธุ์ที่บริโภคใบเป็นหลัก มีลักษณะลำต้นสูง ทรงพุ่มใหญ่ มีอายุการเก็บเกี่ยวนาน ใบมีขนาดใหญ่ เป็นพันธุ์ที่มีสารไซนาบินในใบมากที่สุด

2.10.3 พันธุ์ที่บริโภคดอกและใบเป็นหลัก มีลักษณะความสูงของลำต้นขนาดกลาง ทรงพุ่มขนาดกลาง เป็นสายพันธุ์ที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศฝรั่งเศส ที่นิยมปลูกมี 3 พันธุ์ คือ A. 75 (ก่อนปี ค.ศ. 1975) A.80 (พันธุ์ลูกผสม ปี ค.ศ. 1980) และ A.85 (ปี ค.ศ. 1985) พันธุ์ A.85 เป็นสายพันธุ์ที่มีคุณลักษณะดีที่สุด ให้ผลผลิตสูง ดอกที่เก็บเกี่ยวสดสามารถเก็บไว้ได้นาน ทนทานต่อการขนส่ง แต่มีข้อเสียคือ ไม่ค่อยต้านทานโรค และเพาะขยายพันธุ์ได้ยาก โดยทั่วไปเกษตรกรจะนิยมปลูกพันธุ์ที่บริโภคดอกมาก เพราะดอกของอาร์ติโชคพันธุ์นี้มีคุณค่าทางอาหารและสรรพคุณทางยาสูงที่สุด (ศักดิ์ดา, 2553)

2.11 การขยายพันธุ์อาร์ติโชคมี 3 วิธี คือ

2.11.1 การใช้เมล็ดปลูก ส่วนมากเป็นพันธุ์ลูกผสม ระยะเพาะปลูกระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน โดยการคัดเลือกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออกด้วยการแช่น้ำ คัดเอาเมล็ดที่ลอยน้ำออกทิ้ง หลังจากนั้นจึงคลุกด้วยสารเคมีที่ป้องกันเชื้อราและจึงหว่านเมล็ดลงในถาดเพาะหรือแปลงเพาะดินที่ใช้เพาะเมล็ดต้องผสมปุ๋ยหมักในอัตรา ดิน 3 ส่วน : ปุ๋ยหมัก 1 ส่วน เมื่อเมล็ดงอกแล้วต้นมีขนาดสูงประมาณ 1 – 2 นิ้ว ใช้น้ำฉีดพ่นต้นอ่อนเพื่อกระตุ้นให้เจริญเติบโตเร็วขึ้น (ศักดิ์ดา, 2553)

2.11.2 การใช้พันธุ์จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นวิธีที่ดีที่สุดเพราะสามารถขยายพันธุ์ได้ในปริมาณมาก ลำต้นมีขนาดเท่ากัน มีการเจริญเติบโตเท่ากัน ให้ผลผลิตเก็บเกี่ยวได้พร้อมกัน แต่เป็นวิธียุ่งยากสำหรับเกษตรกรและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง (ศักดิ์ดา, 2553)

2.11.3 การปลูกโดยใช้หน่อ เป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้มาก แต่ต้องเลือกหน่อที่ดีสมบูรณ์ มาทำพันธุ์และนำหน่อที่ได้หุบสารเคมีป้องกันเชื้อรา แปลงเพาะชำต้องใส่แคลเซียมคลอไรด์ และคอปเปอร์ซัลเฟตคลุกเคล้าผสมกับดิน แล้วจึงชำหน่อลงในแปลงเพาะชำกล้าที่มีขนาด 1.2 – 1.3 เมตร โดยการชำเป็นแถว 4 – 5 แถวต่อแปลง ระยะต้นห่างประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงใช้หญ้าหรือฟางแห้งคลุมแปลงเพาะชำและให้น้ำวันละ 2 เวลา หลังจากนั้น 7 – 10 วัน จึงเอาหญ้าหรือฟางแห้งที่คลุมแปลงออก โดยในขณะคลุมเปลี่ยนฉีดพ่นประมาณ 2 ครั้ง อย่าใช้ปุ๋ยยูเรียมากเกินไป เพราะจะทำให้หน่อพันธุ์อวบอ้วนเกินไป อ่อนแอเป็นโรครากง่าย หลังจากนั้นควรหมั่นตรวจสอบติดตามสถานการณ์ศัตรูพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคที่เกิดจากเชื้อราและแบคทีเรียอย่างสม่ำเสมอ และถอนหน่อกล้าพันธุ์ที่ตายหรือเป็นโรคออกจากแปลงไปทำลาย ระยะเวลาเพาะชำพันธุ์กล้าประมาณ 1 เดือน (ศักดิ์ดา, 2553)

2.12 การเพาะปลูกอาร์ติโชค

2.12.1 ดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกอาร์ติโชคต้องเป็นดินที่อุ้มน้ำ และระบายน้ำได้ดี มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 – 7 ในช่วงฤดูแล้งความชื้นในดินต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 เพราะอาร์ติโชคเป็นพืชที่มีใบค่อนข้างใหญ่การคายน้ำของใบจึงสูง ในช่วงฤดูฝน หากน้ำในดินสูงเกินไปจะเป็นอันตรายต่ออาร์ติโชคที่มีอายุอ่อนหรือต้นอ่อนอาร์ติโชคเป็นพืชที่ชอบขึ้นในดินที่ค่อนข้างเป็นด่าง มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6 – 6.5 ดังนั้นหากในพื้นที่ดินมีคุณสมบัติเป็นกรด ควรปรับลดความเป็นกรดของดินด้วยการเคลือบคลุมคอกก่อนจึงค่อยปลูกอาร์ติโชค (ศักดิ์, 2553)

2.12.2 ภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอาร์ติโชคให้ได้ผลผลิตที่ดีคือต้องมีอากาศเย็นตลอดปี อยู่เหนือกว่าระดับน้ำทะเลไม่น้อยกว่า 1,200 เมตร อาร์ติโชคเป็นพืชที่ต้องปลูกในพื้นที่ที่มีแสงแดดมาก ราก ใบ ลำต้น และดอก จึงจะมีการเจริญเติบโตดี สม่าเสมอ และสะสมสารที่มีสรรพคุณทางยาได้มาก (ศักดิ์, 2553)

2.13 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

ในผักและผลไม้สดมีปริมาณของสารประกอบและสารอื่นที่มีสมบัติด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่ในปริมาณมาก แต่เมื่อนำผักและผลไม้เหล่านั้นมาผ่านกระบวนการแปรรูปโดยอาศัยความร้อนเช่น การอบแห้ง การต้ม การลวก หรือการทอดจะมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารอื่นๆที่มีสมบัติด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลงเนื่องจากการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนรวมถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาที่จะมีผลต่อสารต่างๆ ที่อยู่ในผักและผลไม้ด้วย จากรายงานของ Gil-Izquierdo และคณะ (2001) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ (0, 2, 5, 7 และ 10 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 14 วันต่อสารต้านอนุมูลอิสระ (วิตามินซีและสารประกอบฟีนอลิก) ของอาร์ติโชคสายพันธุ์ Blanca de Tudela โดยตรวจสอบสารประกอบฟีนอลิก 3 ชนิด คือ chlorogenic acid, 1,5-dicaffeoylquinic acid (1,5-di-CQA)+3,5-dicaffeoylquinic acid (3,5 di-CQA) and 1,4-dicaffeoylquinic acid (1,4-di-CQA)+4,5-dicaffeoylquinic acid (4,5 di-CQA) จะพบว่าปริมาณวิตามินซีของกลีบดอกด้านในจะสูงกว่าด้านนอก (144 และ 193 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และจะลดลงหลังจาก 14 วันของการเก็บรักษา ในทุกอุณหภูมิที่ทดสอบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกลีบดอกด้านในจะสูงกว่าด้านนอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่เวลาเริ่มต้นมี 618 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม chlorogenic acid มี 143 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1,4 di-CQA+4,5 di-CQA มี 207 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจากการเก็บรักษาจะพบว่ากลีบดอกด้านในจะมีปริมาณ chlorogenic acid และ 1,4 di-CQA+4,5 di-CQA เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเก็บที่อุณหภูมิ 2, 5, และ 7 องศาเซลเซียส ในทางตรงข้ามหลังจากเก็บรักษาจะพบว่าปริมาณ 1,5-di-CQA+3,5-di-CQA จะลดลงจาก 260 เป็น 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากรายงานของ Cabezas-Serrano และ คณะ (2009) ได้ศึกษาความไวของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของอาร์ติโชค 5 สายพันธุ์ (C3, Catanese, Tema, Violetto Foggiano และ Violetto Sardo) ในกระบวนการตัดแต่งสด เก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส จะพบว่าอาร์ติโชคสายพันธุ์ C3 มีปริมาณฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระสูง แต่ลักษณะปรากฏและสี มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีกิจกรรมของ polyphenol peroxidase (PPO) สูง ส่วนสายพันธุ์ Catanese มีปริมาณวิตามินซีสูง (117.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณฟีนอลต่ำ แต่มีคุณภาพหลังการตัดแต่งดี และสายพันธุ์ Tema, Violetto Foggiano และ Violetto Sardo มีปริมาณฟีนอลปานกลาง ลักษณะปรากฏและสีไม่เป็นที่ยอมรับ จากรายงานของ Park และคณะ (2006) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและผลการยับยั้งอนุมูลอิสระในผลพลับสดและผลพลับที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีตากแดดและวิธีที่อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าในผลสดจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าผลพลับที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีตากแดดและวิธีที่อบ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 1.3, 0.9 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สมบัติการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ในผลสดและที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีตากแดดและวิธีที่อบ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับร้อยละ 70, 59 และ 55 ตามลำดับและโดยวิธี 2,2-azobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate) (ABTS) มีค่าเท่ากับร้อยละ 58, 53 และ 46 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปรรูปโดยการทำให้แห้งผลพลับมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลพลับสด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Jung และคณะ (2005) ได้ศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลพลับสดเปรียบเทียบกับผลพลับแห้งพบว่าสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าลดลงจากร้อยละ 88 เป็น 84 เมื่อนำผลพลับสดมาผ่านกระบวนการทำให้แห้ง

ในรายงานของ Vinson และคณะ (2005) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างผลไม้ 6 ชนิดโดยเปรียบเทียบระหว่างผลสดกับผลที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้ง ได้แก่ แอปริคอต แคนเบอร์รี อินทผลัม พิก องุ่นและพลัม จากการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลสดเท่ากับ 1,478, 2,344, 21,730, 2,859, 1,219 และ 1,754 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างผลไม้ทั้ง 6 ชนิดที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งพบว่ากระบวนการทำให้แห้งมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 497, 889, 2,129, 360, 592 และ 1,012 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัมตามลำดับ ในงานวิจัยของ Toor และ Savage (2006) ได้ศึกษาผลของการต้มมะเขือเทศทั้งแห้งต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้มะเขือเทศ 3 สายพันธุ์ (Excell, Tradiro, and Flavourine) ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีระดับของ 5-hydroxymethyl-2-furfural ต่ำและมีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำ และค่า a^*/b^* สูงกว่ามะเขือเทศสดและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างมะเขือเทศทั้งแห้ง (300 มิลลิกรัม gallic acid equivalents, GAE/100 กรัมมวลแห้ง) น้อยกว่ามะเขือเทศสด (404 มิลลิกรัม GAE/100 กรัมมวลแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟลาโวนอยด์ และไลโคปีนในตัวอย่างมะเขือเทศสด (206 มิลลิกรัม rutin equivalents/100 กรัมมวลแห้ง และ 63 มิลลิกรัม/100 กรัมมวลแห้ง ตามลำดับ) ลดลงหลังจากนำมะเขือเทศไปทำให้แห้ง (179 มิลลิกรัม rutin

equivalents/ 100 กรัม และ 54 มิลลิกรัม/ 100 กรัมมวลแห้ง ตามลำดับ) ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมะเขือเทศลดลงจาก 284 มิลลิกรัม/ 100 กรัมมวลแห้ง เป็น 223 มิลลิกรัม/100 กรัมมวลแห้ง หลังจากอบแห้ง กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของมะเขือเทศกึ่งแห้ง (1783 $\mu\text{mole trolox equivalents antioxidant capacity (TEAC)}/100$ กรัมมวลแห้ง) มีค่าต่ำกว่ามะเขือเทศ (2730 $\mu\text{mole TEAC}/ 100$ กรัมมวลแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากรายงานของ Katsube และคณะ (2009) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อความสามารถของสาร antioxidant และความคงตัวของสารประกอบโพลีฟีนอลิกในใบหม่อนโดยนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 60, 70, 80 และ 110 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจสอบกิจกรรมและระดับของสาร antioxidant โดยใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl จะพบว่าการทำแห้งโดยใช้อากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างจากการทำแห้งแบบเยือกแข็งของใบหม่อน ในขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียสจะพบว่าค่าที่ได้จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเป็นตัวสำคัญที่จะควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะรักษากิจกรรมของสาร antioxidant และระดับของสารประกอบโพลีฟีนอลิก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Vega-Galvez และคณะ (2009) โดยได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ความสามารถของสาร antioxidant และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของพริกขี้หนูที่อุณหภูมิในการอบแห้งระหว่าง 50 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณวิตามินซีและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 90 องศาเซลเซียสมีการสูญเสียวิตามินซีมากถึงร้อยละ 98.2 ที่อุณหภูมิสูง (80 และ 90 องศาเซลเซียส) จะมีสูญเสียค่ากิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และจากรายงานของ Negi และ Roy (2001) ได้ศึกษาผลของการอบแห้งบรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผักใบเขียวระหว่างการเก็บรักษาในระยะยาว จะพบว่าการสูญเสียเบต้าแคโรทีน และกรดแอสคอร์บิกมากในการอบแห้งแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบตู้อบลมร้อนและมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์สูงในการอบแห้งแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่างการเก็บรักษาผักใบเขียวจะมีการสูญเสียน้ำมากขึ้นทำให้คุณค่าทางโภชนาการและคลอโรฟิลล์ลดลงและพบว่าการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุเกษตร

อาร์ติโชคสายพันธุ์อิมพีเรียลสตาร์ (cv.Imperial Star) เก็บเกี่ยวที่ระยะความแก่ทางการค้า จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย จ.เชียงใหม่

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนของบริษัทมาร์ชคูล ประเทศไทย
3. เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดยี่ห้อ Armfield ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องวัดสี Minolta Chroma รุ่น CR-300 ประเทศญี่ปุ่น
5. เครื่องวัด A_w ยี่ห้อ NOVASINA ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 4 ตำแหน่งรุ่น AB 204-s ของบริษัท Mettler Toledo ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์
7. เตาเผาถ้ำ รุ่น CWF 1100 ยี่ห้อ Carbolite ประเทศอังกฤษ
8. เครื่องอบไฟฟ้า (Hot air oven) รุ่น memmert model UM 400
9. โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ภาพที่ 3.1) ซึ่งแผงรับพลังงานความร้อนทำจากแผ่นสังกะสีถูกฟูกสีดำ นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แบบ indirect ภายในเครื่องประกอบด้วยพัดลม 1 ตัว เพื่อช่วยในการดูดลมร้อนเข้า และนำความชื้นออกไป โดยมีช่องลมเข้าและออก มีตะแกรง 4 ชั้น สำหรับบรรจุวัตถุดิบ



ภาพที่ 3.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer) ที่พัฒนาขึ้นโดย

อ.ดร. พิษญา บุญประสม พูลลาภ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ที่มา : ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.1.4 เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด (Tray Dryer)

ใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดระดับห้องทดลอง (lab scale) สามารถอบแห้งได้ครั้งละ 4 ถาด ถาดที่ใช้เป็นถาดสแตนเลส มีขนาด 18.4x28.3x1.4 เซนติเมตร ลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งเป็นแบบทางขวางคือ ไหลจากซ้ายไปขวา การปรับระดับอุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วลม สามารถปรับได้ด้วยปุ่มปรับระดับอุณหภูมิ และปุ่มปรับระดับความเร็วลมซึ่งอยู่ด้านหน้าของเครื่องอบแห้ง การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดเป็นการอบแห้งที่อาศัยลมร้อนจากฮีตเตอร์ (heater) โดยลมร้อนจะไหลผ่านชั้นของถาดที่มีผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่เป็นชั้นบางๆ เพื่อให้สัมผัสกับอากาศร้อน แหล่งกำเนิดความร้อนติดตั้งอยู่ทางด้านข้าง ตำแหน่งของใบพัดติดตั้งใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดความร้อน เพื่อกระจายความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึง



ภาพที่ 3.2 เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด (Tray dryer)

ที่มา : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.1.5 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ใช้เครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนของห้องอบจะเป็นถังรับความดันสูง ขนาดความจุ 200 ลิตรทำจากสแตนเลสซึ่งใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหารโดยจะมีถังพลาสติกขนาดความจุ 125 ลิตร หมุนอยู่ภายในจะเป็นส่วนที่ใช้ใส่ผลิตภัณฑ์ที่จะทำการอบ ชุดถังอบจะมีชุดยิงพลังงานไมโครเวฟ 6 ชุด พลังงานทั้งหมด 4,800 วัตต์ (ชุดละ 800 วัตต์) ซึ่งมีชุดควบคุมการจ่ายพลังงานอยู่ด้านหน้าของเครื่อง ส่วนที่ 2 เป็นส่วนชุดปั๊มสุญญากาศและตัวดักไอน้ำ โดยที่ตัวดักไอน้ำจะเป็นตัวทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มไม่ลดลงตามปริมาณของไอน้ำที่ขยายตัว ดังนั้นปั๊มสุญญากาศและตัวดักไอน้ำจึงทำงานไปพร้อมๆ กัน เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน เป็นการอบแห้งที่สภาวะสุญญากาศประมาณ $[(-600)-(-700)]$ mmHg เพื่อให้ไอน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยที่อุณหภูมิ 45-65 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ ห้องอบแห้งเป็นทรงกระบอก และมีท่อนำคลื่นไมโครเวฟต่ออยู่ด้านข้างของผนังถัง เพื่อนำคลื่นไมโครเวฟจากแหล่งกำเนิด (แมกนีตรอน) มาสู่บริเวณภายในห้องอบมีถังหมุน (ถังพลาสติก) ซึ่งมีใบกวาดเป็นครีบอกอยู่ภายใน ทำหน้าที่พาผลิตภัณฑ์ขึ้นไปแล้วปล่อยให้ตกอย่างอิสระ ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานไมโครเวฟอย่างทั่วถึงและไอน้ำที่ระเหยมาจจากผลิตภัณฑ์ สามารถเคลื่อนที่ออกได้สะดวก



ภาพที่ 3.3 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน
ที่มา : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

อบแห้งอาร์ติโชคสายพันธุ์อิมพีเรียลสตาร์ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน โดยศึกษาผลของการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและทางประสาทสัมผัสของอาร์ติโชค ประกอบไปด้วย 3 การทดลอง โดยมีระเบียบวิจัยดังนี้

3.2.1 วางแผนการทดลอง

ศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง 3 ชนิด วางแผนการทดลองแบบบล็อกกลุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) โดยจัดให้มีการรับผลิตผลทั้ง 3 ครั้งเป็นบล็อก และจัดให้กรรมวิธีการอบเป็นทรีตเมนต์ ทำการอบแห้งแต่ละครั้ง 3 ซ้ำทุกกรรมวิธีการอบ

3.2.2 กระบวนการอบแห้ง

ตอนที่ 1 ศึกษาหาอัตราการอบแห้ง เวลาการทำแห้ง ในการอบแห้งพืชสมุนไพรโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ความเร็วลมที่ใช้คือ 0.5 เมตรต่อวินาที

วิธีการทดลอง

1. นำอาร์ติโชคมาคัดแยกสิ่งปลอมปนออก และตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ
2. นำไปล้างทำความสะอาดแล้วนำไปแช่สารละลายคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 5 นาที และทำให้สะเด็ดน้ำ (ธีรศักดิ์, 2545)
3. ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบหลังการล้างทำความสะอาด
4. นำอาร์ติโชคมาตัดขวางโดยกำหนดความหนาเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร เก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาร์ติโชคสด ได้แก่ ค่าความชื้น ค่า a_w ก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง
5. ชั่งน้ำหนักถาด และนำอาร์ติโชคเข้าเครื่องอบโดยเกลี่ยเป็นชั้นบางๆ ทำการชั่งน้ำหนักเบื้องต้นรวมถาดและตัวอย่าง
6. เปิดเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นสัมพัทธ์ และ Thermocouple Data Logger ทั้ง 2 เครื่องให้ทำงานพร้อมกับเปิดสวิตช์ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทำการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศภายใน และภายนอกตู้อบแห้ง
7. สุ่มตัวอย่างออกมาตรวจวัดความชื้นทุก 1 ชั่วโมงจนตัวอย่างมีความชื้นต่ำกว่าหรือประมาณร้อยละ 8

ตอนที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพหลังการอบ โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้ง 2 ชนิดได้แก่

1. เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด

โดยใช้ความเร็วลมที่ 0.5 เมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสในการอบ (Arslan and Ozcan, 2007)

วิธีการทดลอง

1. นำอาร์ติโชคมาคัดแยกสิ่งปลอมปนออก และตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ
2. นำไปล้างทำความสะอาดแล้วนำไปแช่สารละลายคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 5 นาที และทำให้สะเด็ดน้ำ (ธีรศักดิ์, 2545)
3. ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบหลังการล้างทำความสะอาด
4. นำอาร์ติโชคมาตัดขวางโดยกำหนดความหนาเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร เก็บ

ข้อมูลเบื้องต้นของอาร์ติโซคสด ได้แก่ ค่าความชื้น ค่า s_i ค่า a_w ก่อนเข้าเครื่องอบ

5. เปิดสวิชต์อบลมร้อนแบบถาดให้ทำงานพร้อมทั้งตั้งค่าอุณหภูมิ และความเร็วมให้อยู่ในสภาวะใกล้เคียงกับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ 50 องศาเซลเซียส และ 0.5 เมตรต่อวินาที

6. ชั่งน้ำหนักถาด และนำอาร์ติโซคเรียงใส่ถาดทั้ง 4 ชั้น นำเข้าเครื่องอบลมร้อนแบบถาดจนเต็ม โดยเกลี่ยเป็นชั้นบางๆ ทำการชั่งน้ำหนักเบื้องต้นรวมถาดและตัวอย่าง

7. ทำการบันทึกน้ำหนักของอาร์ติโซคที่ลดลงจากเครื่องชั่งไฟฟ้า อ่านค่าน้ำหนักทุก 15 นาที ตลอดระยะเวลาในการอบแห้ง

2. เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนนั้น ใช้ปริมาณพืชในการอบครั้งละ 1,000 กรัม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้ชุดยิงพลังงานไมโครเวฟ 6 ชุด ที่กำลัง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อุณหภูมิสุดท้ายในการอบที่ 50 องศาเซลเซียส (นภกรณ, 2547) (อุณหภูมิที่แสงแดดทำได้สูงสุดคือ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งแบบถาดเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความดันให้คงที่ได้ดังนั้น จึงต้องทำให้อุณหภูมิสุดท้ายของการอบเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิของการอบแห้งทั้ง 3 วิธีใช้อุณหภูมิเดียวกันในการอบแห้ง)

วิธีการทดลอง

1. นำอาร์ติโซคมาคัดแยกสิ่งปลอมปนออก และตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ
2. นำไปล้างทำความสะอาดแล้วนำไปแช่สารละลายคลอรีนในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 5 นาที และทำให้สะเด็ดน้ำ (ธีรศักดิ์, 2545)
3. ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบหลังการล้างทำความสะอาด
4. นำอาร์ติโซคมาคัดขวางโดยกำหนดความหนาเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร เก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาร์ติโซคสด ได้แก่ ค่าความชื้น ค่า s_i ค่า a_w จากนั้นนำเข้าเครื่องอบโดยนำอาร์ติโซคใส่ในถังหมุนพลาสติก
5. ทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบเมื่อสิ้นสุดการอบ
6. ตรวจสอบคุณภาพหลังการอบอาร์ติโซค ที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน และเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด ในแง่ของคุณภาพของอาร์ติโซคหลังการอบและเก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้ การตรวจสอบคุณภาพโดยทำการวิเคราะห์ทางด้านต่างๆ ดังนี้คือ

1. ทางด้านกายภาพ

- ตรวจวัดสีของอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chroma meter รุ่น CR-300

2. ทางด้านเคมี

- ตรวจวัดค่า water activity (a_w)
- การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
- การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000)
 - i การหาปริมาณเถ้าทั้งหมด
 - ii การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าที่ละลายในน้ำ
 - iii การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในน้ำ
- การวิเคราะห์หาปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (Extractives)
- การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน โดยใช้วิธีของ Lowenthal's permanganate oxidation process
- ปริมาณคลอโรฟิลล์ a, b และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดตามวิธีของ Witham *et al.* (1971).
- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีของ Folin-ciocalteu colorimetric assays (Singleton , 1965)
- กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระตามวิธีของ DPPH assay, Manthey (2004).

3. ทางจุลชีววิทยา

- การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (2000)
- การหาปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ AOAC (2000)
- การหาปริมาณอีโคไล และ โคลิฟอร์ม (*Escherichia coli* and Coliform) โดยวิธี MPN (Most probable number method) ตามวิธีของ AOAC (2000)

ตอนที่ 3 ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาอาร์ติโชคที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิดและเปรียบเทียบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ติโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1. ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มชา ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน ใช้ผู้ทดสอบ 50 คน ทดสอบคุณภาพด้านสี กลิ่นชา รสชาติ กลิ่นรสตกค้าง (after test) และความชอบโดยรวมที่มีต่อเครื่องดื่มสมุนไพร ใช้วิธีทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale ผู้ทดสอบชิมให้

คะแนนตามความชอบ 1–9 คะแนน โดยเรียงคะแนนจากชอบน้อยที่สุดไปหาชอบมากที่สุด (ไพโรจน์, 2545) วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) โดยจัดให้ผู้ชิมบล็อกที่มีความแปรปรวนเดียวและให้เครื่องคั้นชาเป็นฟริตเมนต์

วิธีการศึกษา

1.1 นำอาร์ติโชค ที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 กรรมวิธีมาบดให้ละเอียด

1.2 บรรจุอาร์ติโชค ที่ผ่านการบดลงในถุงชา ปริมาณ 2 กรัม ปิดผนึกโดยใช้ด้าย

เย็บ

1.3 ใช้น้ำร้อนจากกาต้มน้ำไฟฟ้า ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ชงกับอาร์ติโชค บด 1 ชองทิ้งไว้ 5 นาที แล้วยกชองออก

1.4 เสริฟให้ผู้ทดสอบชิม ตัวอย่างละ 20 มิลลิลิตร ในแก้วทดสอบชิมชนิดใส

1.5 ใช้อัตราส่วน 3 ตัว ทดสอบโดยวิธีให้คะแนนด้านสี กลิ่นชา รสชาติ กลิ่นรส

ตกค้าง (After test) และความชอบโดยรวม

2. ศึกษาเปรียบเทียบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ติโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ นำชาอาร์ติโชค 10 ตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ เปรียบเทียบกับชาอาร์ติโชคที่ผลิตได้ทั้ง 3 วิธี

ตอนที่ 4. ศึกษาและคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิด

โดยเก็บข้อมูลและคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิดภายใต้สถานะที่ดำเนินการทดลอง

- เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้ดังนี้

คำนวณพลังงานจากขนาดกำลังไฟฟ้าของพัดลมตัวละ 0.05 กิโลวัตต์ โดยใช้พัดลม 1 ตัว ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อวินาทีเท่ากับ 3.6 บาท พืชสมุนไพรที่ใช้อบประมาณ 2800 กรัม แสดงการคำนวณดังสมการที่ 3.1

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = \text{ขนาดกำลังไฟฟ้าของพัดลม (kW)} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน} \times \text{ราคาต่อหน่วย} \times \text{จำนวนพัดลม (ตัว)} \quad (3.1)$$

- เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดสามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้ดังนี้

วัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยวัดกระแสของเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด โดยใช้เครื่อง Digital Clamp Meter ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.6 ปริมาณอาร์ติโชคที่ใช้คือ 300 กรัม แสดงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าดังสมการที่ 3.2

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = \text{การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน} \times \text{ราคาต่อหน่วย (บาท)} \times \text{จำนวนเท่าของน้ำหนัก (เทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์)} \quad (3.2)$$

- เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนสามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้ดังนี้

วัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยวัดกระแสของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน โดยใช้เครื่อง Digital Clamp Meter ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3.6 ปริมาณอาร์ติโชคที่ใช้คือ 100 กรัม แสดงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าดังสมการที่ 3.3

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = \text{การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน} \times \text{ราคาต่อหน่วย (บาท)} \quad (3.3)$$

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 11.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มุลนิธิ

3.4 สถานที่ทำการวิจัย

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาหาอัตราการอบแห้ง เวลาการทำแห้ง ในการอบแห้งพืชสมุนไพรโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที

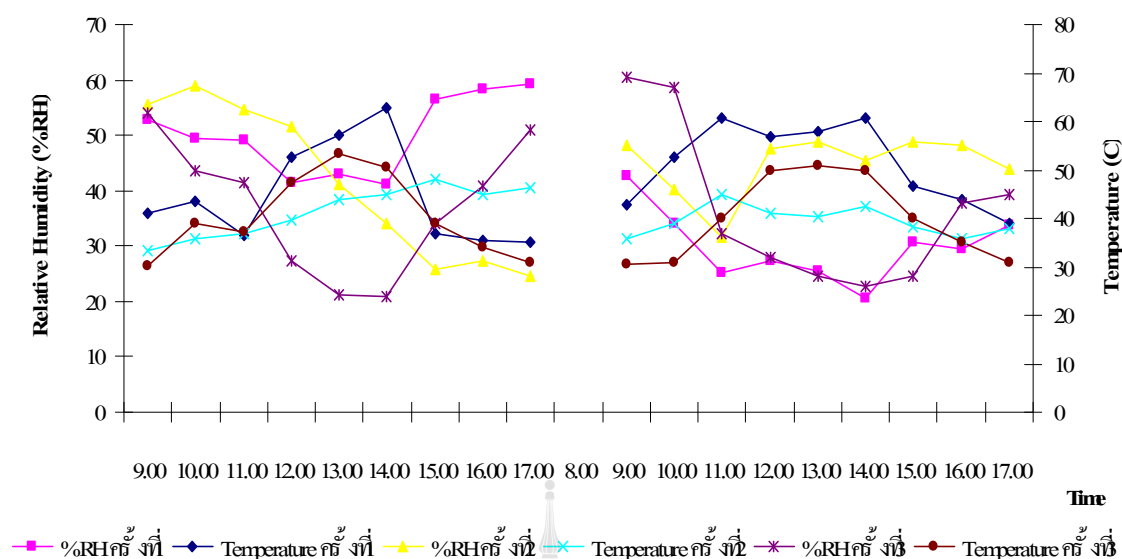
การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการอาศัยแหล่งความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง จึงขึ้นอยู่กับ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เช่นกัน ซึ่งทำให้อุณหภูมิในแต่ละช่วงของวันมีค่าไม่คงที่ จากการศึกษาการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ศึกษากราฟการอบแห้ง (drying curve) และกราฟอัตราการอบแห้ง (drying rate curve) โดยทำการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 8

4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในตู้อบอาร์ติโชค บันทึกโดยใช้ data logger วางไว้ 2 ตำแหน่ง พบว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของชั้นบน และชั้นล่าง ในช่วงแรกเท่ากับร้อยละ 56.7 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในตู้อบมีค่าสูงในช่วงแรก ทั้งนี้เนื่องมาจากการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมาก อากาศแห้งมีการรับไอน้ำเกิดขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเวลา 17.00 น. ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นน้อยมาก และเมื่อสิ้นสุดการทดลองความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งชั้นบน และชั้นล่างของอาร์ติโชคมีค่าเท่ากับร้อยละ 46 ดังภาพที่ 4.1

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

อุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบอาร์ติโชค บันทึกโดยใช้ data logger วางไว้ 2 ตำแหน่ง พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบน และชั้นล่าง ในช่วงแรกเป็น 33.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะมีค่าต่ำในช่วงแรก และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงขึ้น โดยอุณหภูมิจะมีค่าสูงในช่วง 12.00 – 14.00 น. เมื่อสิ้นสุดการทดลองอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบนและชั้นล่างคือ 34.3 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.1

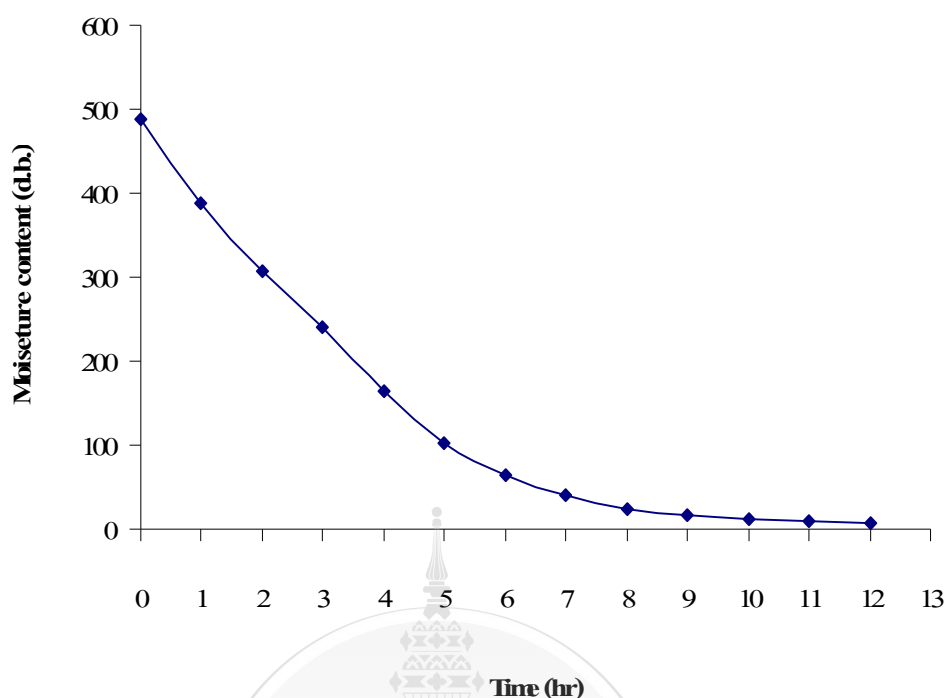


ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศภายใน และภายนอกตู้อบแห้ง ครั้งที่ 1 (28-29 เมษายน 2553 ครั้งที่ 2 (30 เมษายน – 1 พฤษภาคม 2553) ครั้งที่ 3 (2 – 3 พฤษภาคม 2553)

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่ามากขึ้นจะมีผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลดลง ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้ไม่สามารถที่จะควบคุมให้คงที่ และสม่ำเสมอได้ โดยจะแปรผันไปตามค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้งแตกต่างกันไปตามช่วงวัน

4.3 การลดความชื้นของอาร์ติโชคโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จากการศึกษาการลดความชื้นของอาร์ติโชค ความชื้นเริ่มต้นก่อนอบแห้งเท่ากับร้อยละ 82.97 (wb) ความชื้นมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการอบ 12 ชั่วโมง จากภาพที่ 4.2 จะพบว่าในชั่วโมงที่ 1-6 ตัวอย่างมีการลดความชื้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อพิจารณาช่วง 5 ชั่วโมงสุดท้ายของการอบพบว่าความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆ จนตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.435 (wb)



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการลดความชื้นของอาร์ติโชกระหว่างการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

อัตราการอบแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ โดยอัตราการอบแห้งในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูง เนื่องจากมีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์สูง ทำให้บริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำอิสระเพียงพอต่อการระเหยจึงเร่งให้อัตราการอบแห้งเกิดขึ้น หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) เนื่องจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์เกิดการเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอต่ออัตราการระเหย จึงทำให้อัตราการอบแห้งลดลง

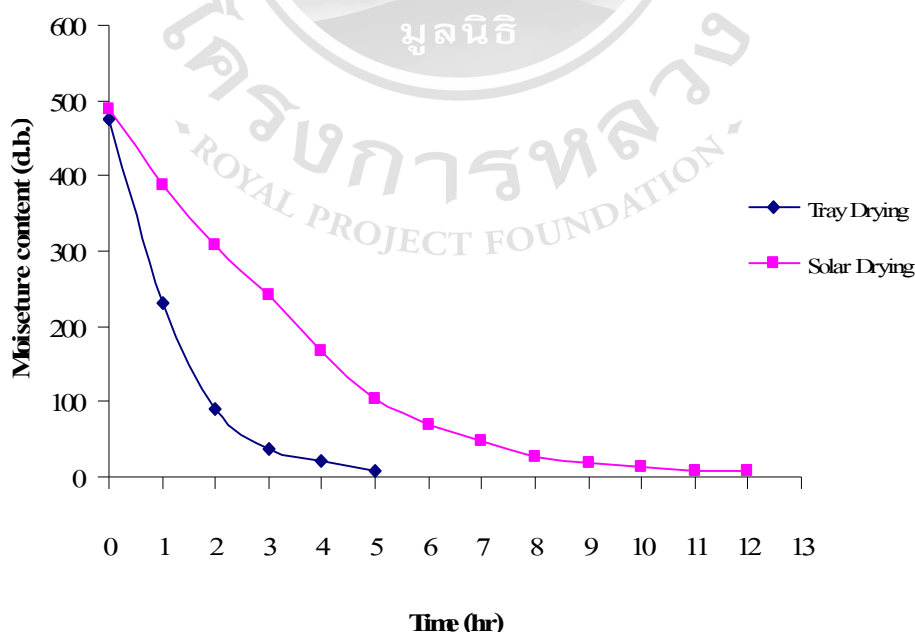
ตอนที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพหลังการอบ โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้ง 2 ชนิด

4.4 การเปรียบเทียบการลดความชื้นอาร์ติโชระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด

จากการทดลองอบตัวอย่างด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทำการอบครั้งที่ 1 ในวันที่ 28-29 เมษายน 2553 มีค่าความชื้นเริ่มต้นก่อนอบแห้งเท่ากับร้อยละ 82.97 (wb) ส่วนการทดลองที่ 2 ในวันที่ 30 เมษายน – 1 พฤษภาคม 2553 ความชื้นเริ่มต้นก่อนอบแห้งเท่ากับร้อยละ 82.97

(wb) และการทดลองครั้งที่ 3 ในวันที่ 2 – 3 พฤษภาคม 2553 ความชื้นเริ่มต้นก่อนอบแห้งเท่ากับร้อยละ 82.96 (wb) ทำการอบแห้งจนความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างเหลือประมาณร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเป็นร้อยละ 6.435 (wb) การอบทั้ง 3 ครั้งใช้เวลาในการอบประมาณ 12 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดซึ่งได้ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเป็นร้อยละ 82.60 (wb) ทำการอบแห้งจนอาร์ติโชคมีความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างเหลือประมาณร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า โดยการอบแห้งทั้ง 3 ครั้งใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเป็น 7.687 (wb) ทั้งนี้เครื่องอบแห้งแบบถาดมีการลดความชื้นได้เร็วกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.3

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดมีความชันมากกว่า เนื่องจากเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดสามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบเป็น 50 องศาเซลเซียสได้ตั้งแต่เริ่มต้นการอบ และคงที่อยู่ตลอดเวลาทำให้การถ่ายเทความร้อน ความชื้นระหว่างตัวอย่างและอากาศร้อนเกิดได้อย่างสม่ำเสมอมากกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการที่อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นได้นั้น จำเป็นจะต้องอาศัยค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากในช่วงเช้าพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีค่าต่ำ มีผลให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิภายในเครื่องอบต่ำ ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อน และความชื้นระหว่างตัวอย่างกับอากาศร้อนเกิดได้ช้ากว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดความชื้นของอาร์ติโชคระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องอบพลังงานไฟฟ้าแบบถาด

จากข้อมูลเบื้องต้นจะเห็นว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดใช้เวลาสั้นกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะมีอัตราการลดความชื้นที่สูงกว่าซึ่งลักษณะของกราฟจะชันกว่าอัตราการอบแห้งของการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่าอัตราการอบแห้งจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยที่เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดจะสามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ได้สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการอบแห้ง สามารถอบได้ทุกฤดูกาล และทุกช่วงเวลา ทำการอบได้อย่างต่อเนื่อง แต่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศสำหรับการอบแห้งอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่า เพราะอัตราการลดความชื้นต่ำกว่า และเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง เพราะถูกจำกัดด้วยปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการอบด้วยวิธีนี้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ได้สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการอบแห้งได้

4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพหลังการอบอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

นำอาร์ติโชคมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิดคือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน เพื่อนำคุณภาพหลังการอบมาเปรียบเทียบกันแบ่งการเปรียบเทียบเป็น 3 วิธีดังนี้

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที น้ำหนักของตัวอย่างประมาณ 2800 กรัม
2. เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด โดยใช้ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที น้ำหนักของตัวอย่างประมาณ 250 กรัม
3. เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน น้ำหนักของตัวอย่างประมาณ 100 กรัม

4.5.1 การเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

(1) ค่าความชื้นของอาร์ติโชคหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

จากการตรวจวัดความชื้นของอาร์ติโชคโดยการใช้เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด พบว่าค่าความชื้นของอาร์ติโชคที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.435, 7.687 และ 7.311 (wb)

ตามลำดับ และความชื้นของอาร์ติโชกที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้ง 3 กระบวนการพบว่ามีความชื้นอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้คือน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 8

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความชื้นของอาร์ติโชกหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ค่าความชื้นเฉลี่ย (wb)
Solar Dryer	6.435 ± 1.577^a
Tray Dryer	7.311 ± 0.591^a
Vacuum Microwave Dryer	7.687 ± 0.904^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$ (Duncan's multiple range test)

(2) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ของอาร์ติโชกหลังการอบแห้ง

จากการตรวจวัดค่า a_w ของอาร์ติโชกพบว่าค่า a_w ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.507 ค่า a_w ที่ได้จากเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.523 และค่า a_w ของอาร์ติโชกที่ได้จากเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.503 โดยค่า a_w ที่ได้ในแต่ละวิธีการอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่า a_w ที่ได้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า a_w ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ค่า a_w เฉลี่ย
Solar Dryer	0.507 ± 0.007^a
Tray Dryer	0.523 ± 0.012^a
Vacuum Microwave Dryer	0.503 ± 0.009^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ (Duncan's multiple range test)

(3) ค่าสีของอาร์ติโชคหลังการอบแห้ง

ค่าสีของอาร์ติโชคหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน มีการเปลี่ยนแปลงค่า Lightness (L^*), Chroma (C^*) และ Hue Angle (h°) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความสว่าง Lightness (L^*) ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ค่าความสว่าง Lightness (L^*)
Solar Dryer	73.263 ± 0.301^a
Tray Dryer	73.283 ± 0.207^a
Vacuum Microwave Dryer	73.410 ± 0.220^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ (Duncan's multiple range test)

ค่าความสว่าง (L^*) หรือความสว่างของอาร์ติโชค จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า L^* ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า Chroma ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ค่า Chroma (C* Value)
Solar Dryer	16.280 ± 0.032 ^a
Tray Dryer	16.250 ± 0.035 ^a
Vacuum Microwave Dryer	16.200 ± 0.010 ^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$ (Duncan's multiple range test)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า Chroma (C*) จากการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า Hue Angle (h°) ของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ค่า Hue Angle (h°)
Solar Dryer	92.420 ± 0.049 ^a
Tray Dryer	92.407 ± 0.055 ^a
Vacuum Microwave Dryer	92.440 ± 0.060 ^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$ (Duncan's multiple range test)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า Hue Angle (h°) จากการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า สีเป็นปัจจัยสำคัญแห่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่ผู้ซื้อให้ความสำคัญอย่างยิ่ง เมื่อพิจารณาคุณภาพโดยรวมของพืชสมุนไพรที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 ชนิด พบว่าคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีคุณภาพไม่แตกต่างจากการอบด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดและไมโครเวฟสุญญากาศ

4.5.2 การเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านเคมีหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณภาพทางด้านเคมีหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณภาพทางด้านเคมี		
	เถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)	เถ้าที่ละลายน้ำ (ร้อยละ)	เถ้าที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ)
Solar Dryer	5.135 ± 0.005 ^a	48.083 ± 4.667 ^b	51.917 ± 4.667 ^a
Tray Dryer	4.030 ± 0.138 ^c	53.844 ± 2.858 ^{ab}	46.156 ± 2.858 ^{ab}
Vacuum Microwave Dryer	4.743 ± 0.005 ^b	59.805 ± 3.149 ^a	40.195 ± 3.149 ^b

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ (Duncan's multiple range test)

(1) ปริมาณเถ้าทั้งหมด (Total Ash)

อาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 วิธีมีปริมาณเถ้าทั้งหมดของอาร์ติโชคอยู่ในช่วงร้อยละ 4-5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ที่กำหนดไว้จะต้องมีเถ้าทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 และไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนักขาแห้ง และพบว่าปริมาณเถ้าทั้งหมดของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.6

(2) ปริมาณเถ้าที่ละลายน้ำ (Water Soluble Ash)

อาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ มีปริมาณเถ้าที่ละลายน้ำของอาร์ติโชคมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.6 โดยจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 48 - 59 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ โดยกำหนดไว้ว่าจะต้องมีปริมาณเถ้าที่ละลายน้ำไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 ของเถ้าทั้งหมด และปริมาณเถ้าที่ละลายน้ำของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

(3) ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายน้ำ (Water Non-Soluble Ash)

จากการตรวจวัดปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายน้ำของอาร์ติโชค พบว่าปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายน้ำของอาร์ติโชคมีค่าดังแสดงตารางที่ 4.6 โดยจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40-51 โดยปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายน้ำของอาร์ติโชคที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 วิธีให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณภาพทางด้านเคมี
	ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ
Solar Dryer	7.377 ± 0.486^a
Tray Dryer	7.223 ± 2.120^a
Vacuum Microwave Dryer	5.980 ± 1.753^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$ (Duncan's multiple range test)

(4) ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (ร้อยละ)

จากการตรวจวัดปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำของอาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้ง พบว่า ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำของอาร์ติโชคมีค่าดังตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาพบว่าปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำของอาร์ติโชคอยู่ในช่วงร้อยละ 5-7 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้คือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 32 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

(5) ปริมาณแทนนิน (ร้อยละ)

จากการตรวจวัดปริมาณแทนนินของอาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้งพบว่า ปริมาณแทนนินของอาร์ติโชคมีค่าดังตารางที่ 4.8 มีค่าอยู่ในช่วง 0.2 ปริมาณแทนนินของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณแทนนินหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณภาพทางด้านเคมี
	ปริมาณแทนนิน
Solar Dryer	0.264 ± 0.005^a
Tray Dryer	0.234 ± 0.001^b
Vacuum Microwave Dryer	0.266 ± 0.003^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ (Duncan's multiple range test)

(6) ปริมาณคลอโรฟิลล์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีของอาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนมีค่าดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์หลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)		
	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
Solar Dryer	0.039 ± 0.004^a	0.019 ± 0.003^a	0.059 ± 0.007^a
Tray Dryer	0.021 ± 0.002^b	0.009 ± 0.002^b	0.030 ± 0.003^b
Vacuum Microwave Dryer	0.014 ± 0.003^c	0.007 ± 0.001^b	0.022 ± 0.004^b

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ (Duncan's multiple range test)

จากตารางที่ 4.9 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.039, 0.021 และ 0.014 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุด

ปริมาณคลอโรฟิลล์บีของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.019, 0.009 และ 0.007 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์บีของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุด

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.059, 0.030 และ 0.022 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุด

การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาวเวอร์ฮีตเข้าสู่อ่างอบ มีศักยภาพสำหรับการผลิตอาร์ติโชคอบแห้งโดยมีต้นทุนต่ำ ทั้งนี้อาร์ติโชคแห้งที่ได้สามารถคงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีได้มากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

(7) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound)

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด หลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้ง

พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	Mg GAE/g (wet basis)
Solar Dryer	72.495 $\pm$ 0.490 ^b
Tray Dryer	76.985 $\pm$ 0.149 ^a
Vacuum Microwave Dryer	72.149 $\pm$ 0.467 ^b

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ (Duncan's multiple range test)

จากการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของอาร์ติโชคที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน โดยคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยของมิลลิกรัมกรด

เกล็ดลิคต่อ 1 กรัมตัวอย่าง มีค่าดังตารางที่ 4.10 โดยมีค่าเท่ากับ 72.495, 76.985 และ 72.149 mgGAE/g พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของอาร์ติโชคที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุนมีค่าสูงที่สุด และพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด

(8) เปรียบเทียบปริมาณอาร์ติโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง (IC_{50}) ในอาร์ติโชคที่เป็นผลิตภัณฑ์สด และหลังการอบอาร์ติโชค

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณอาร์ติโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง g/1 (IC_{50}) ในอาร์ติโชคที่เป็นผลิตภัณฑ์สด และหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน

วิธีการอบ	ปริมาณอาร์ติโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง g/1 (IC_{50})
ตัวอย่างสด	1.158 ± 0.027^a
Solar Dryer	0.764 ± 0.111^c
Tray Dryer	1.078 ± 0.207^{ab}
Vacuum Microwave Dryer	0.936 ± 0.061^b

จากการเปรียบเทียบปริมาณอาร์ติโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง (IC_{50}) ของอาร์ติโชคที่เป็นผลิตภัณฑ์สด และหลังอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน มีค่าดังตารางที่ 4.11 และพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของอาร์ติโชค

(1) ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการตรวจวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของอาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถึงหมุน มีปริมาณเชื้อทั้งหมดอยู่ในช่วง 40-48 (log cfu / 1 g sample) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ทั้งนี้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดยังมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) กำหนดโดยจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(2) ปริมาณยีสต์ และรา

จากการตรวจวัดปริมาณยีสต์ และราของอาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่ามีปริมาณเชื้อยีสต์ และราเท่ากับ 1.667 (log cfu / 1 g sample) และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4.12

(3) ปริมาณโคลิฟอร์มและอี.โคไล

ผลการทดลองพบว่าไม่พบปริมาณโคลิฟอร์มและอี.โคไลของอาร์ติโชคที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมได้ระบุไว้ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของอาร์ติโชคหลังจากอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา			
	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/1 g sample)	ปริมาณยีสต์ และรา (log cfu/1 g sample)	ปริมาณโคลิฟอร์ม (MPN/1 g sample)	ปริมาณอี.โคไล (MPN/1 g sample)
Solar Dryer	48.333 ± 4.082	1.667 ± 4.082	<2	-
Tray Dryer	40.000 ± 0.000	1.667 ± 4.082	<2	-
Vacuum Microwave Dryer	43.333 ± 5.164	1.667 ± 4.082	<2	-

หมายเหตุ : -; Negative *E.coli* + ; Possitive *E.coli*

ตอนที่ 3 ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาอาร์ทิโชคที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิดและเปรียบเทียบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ทิโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ

4.6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะ แสดงผลดังตารางที่ 4.13 - ตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านสีของชาอาร์ทิโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส
	สี
Solar Dryer	6.680 ± 1.362 ^a
Tray Dryer	6.660 ± 1.272 ^a
Vacuum Microwave Dryer	6.260 ± 1.454 ^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ (Duncan's multiple range test)

จากการทดสอบคุณลักษณะด้านสีของชาอาร์ทิโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านกลิ่นของชาอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส
	กลิ่นชา
Solar Dryer	6.160 ± 1.283 ^a
Tray Dryer	5.700 ± 1.581 ^a
Vacuum Microwave Dryer	6.120 ± 1.438 ^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ (Duncan's multiple range test)

จากการทดสอบคุณลักษณะด้านกลิ่นของชาอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านรสชาติของชาอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส
	รสชาติโดยรวม
Solar Dryer	6.060 ± 1.463 ^a
Tray Dryer	5.660 ± 1.201 ^a
Vacuum Microwave Dryer	6.020 ± 1.362 ^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ (Duncan's multiple range test)

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพสัมพัทธ์ทางด้านรสชาติโดยรวมของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสตกค้างของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส
	กลิ่นรสตกค้าง
Solar Dryer	6.100 ± 1.502^a
Tray Dryer	5.700 ± 1.266^a
Vacuum Microwave Dryer	5.960 ± 1.369^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ (Duncan's multiple range test)

สำหรับผลการทดสอบคุณลักษณะด้านกลิ่นรสตกค้างของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของอาร์ติโชคหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส
	ความชอบโดยรวม
Solar Dryer	6.220 ± 1.345^a
Tray Dryer	5.940 ± 1.252^a
Vacuum Microwave Dryer	6.260 ± 1.209^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$ (Duncan's multiple range test)

คุณลักษณะด้านความชอบโดยรวมของชาอาร์ทิโชคหลังจากการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.7 เปรียบเทียบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ทิโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณอาร์ทิโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง g/l (IC_{50}) ในชา อาร์ทิโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ

วิธีการอบ	ปริมาณอาร์ทิโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง g/l (IC_{50})
ชาอาร์ทิโชคจากต่างประเทศ	83.633 ± 2.347^a
Solar Dryer	0.764 ± 0.111^b
Tray Dryer	1.078 ± 0.207^b
Vacuum Microwave Dryer	0.936 ± 0.061^b

จากการเปรียบเทียบปริมาณสารที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง (IC_{50}) ของชาอาร์ทิโชคที่นำเข้าจากต่างประเทศและที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน มีค่าดังตารางที่ 4.18 โดยมีค่าเท่ากับ 83.633, 0.764, 1.078 และ 0.936 g/l พบว่าชาอาร์ทิโชคที่นำเข้าจะต้องใช้ปริมาณอาร์ทิโชคที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง (IC_{50}) ในปริมาณที่มากกว่าอาร์ทิโชคที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ตอนที่ 4 ศึกษา และคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิด

การวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าของการอบแห้งอาร์ติโชค โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังตารางที่ 4.19 โดยมีรายละเอียดและเงื่อนไขในการวิเคราะห์ดังนี้

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์		
1.1 ใช้เวลาในการอบ	12	ชั่วโมง
1.2 ขนาดกำลังไฟฟ้าของพัดลม ตัวละ	0.05	kW
1.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย	3.6	บาท
1.4 น้ำหนักที่ใช้ในการอบประมาณ	2800	กรัม
2. เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด		
2.1 ใช้เวลาในการอบ	5	ชั่วโมง
2.2 ใช้พลังงานในการอบเฉลี่ยชั่วโมงละ	1.98	kW
2.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย	3.6	บาท
2.4 น้ำหนักที่ใช้ในการอบประมาณ	300	กรัม
3. เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน		
3.1 ใช้เวลาในการอบ	0.46	ชั่วโมง
3.2 ใช้พลังงานในการอบเฉลี่ยชั่วโมงละ	5.0292	kW
3.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย	3.6	บาท
3.4 น้ำหนักที่ใช้ในการอบประมาณ	100	กรัม
การแสดงผลการคำนวณ แสดงดังภาคผนวก ข		

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ชั่วโมงการทำงาน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	คิดเป็นเงิน (บาท)
Solar Dryer	12	0.1	0.15
Tray Dryer	5	1.98	11.88
Vacuum Microwave Dryer	0.42	5.0292	7.6

จากตารางที่ 4.19 พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อ 100 กรัม) ของการอบอาร์ติโชคนั้น การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด สามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงได้ แต่จะเห็นได้ว่าการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการอบนานกว่าเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนหลายเท่า นอกเหนือจากการลดต้นทุนแล้ว ข้อดีของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรในประเทศที่กำลังพัฒนา เป็นการใช้พลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด เครื่องอบแห้งที่ออกแบบมานั้น จะป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรก นก แมลงและจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสี เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติดี ลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ปลอดภัย ใช้แรงงานน้อย คุ่มค่าแก่การลงทุน และค่าใช้จ่ายเพื่อการดำเนินการ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่จะนำเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ในการอบแห้ง



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

การอบแห้งอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน และเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดจะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วกว่าการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพบว่าคุณภาพของอาร์ติโชคที่อบโดยใช้เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน และเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดมีคุณภาพใกล้เคียงกัน และมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.)

2. ผลการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านกายภาพหลังการอบอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

2.1 ค่า a_w การอบแห้งของทั้ง 3 วิธีจะได้ค่า a_w อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ คืออยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

2.2 ค่าสี $L^* C^* h^\circ$ หลังจากการอบแห้งโดยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบสุญญากาศแบบถังหมุน เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่าทั้ง 3 วิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

3. ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านเคมีหลังการอบแห้งอาร์ติโชคโดยใช้เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด

3.1 ปริมาณเถ้าทั้งหมด และปริมาณเถ้าที่ละลายน้ำได้ของอาร์ติโชคที่ผ่านการอบทั้ง 3 กรรมวิธีนั้นมีปริมาณอยู่ในช่วงที่เกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้

3.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแทนนินของอาร์ติโชคที่ได้จากการอบด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าอาร์ติโชคที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

4. ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์หลังการอบแห้งของอาร์ติโชค โดยใช้เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของการอบแห้งของเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนมีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

5. เปรียบเทียบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ติโชคที่ผลิตได้กับที่นำเข้าจากต่างประเทศ

จากการเปรียบเทียบปริมาณสารที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง (IC_{50}) ของชาอาร์ติโชคที่นำเข้าจากต่างประเทศ และที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถัง พบว่าชาอาร์ติโชคที่นำเข้าจะต้องใช้ปริมาณสารที่สามารถทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง (IC_{50}) ในปริมาณที่มากกว่าอาร์ติโชคที่ผลิตได้

6. ผลการศึกษาเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งอาร์ติโชค โดยใช้เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิด

เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ดีที่สุด รองลงมาคือ เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน และเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด ตามลำดับ

ชาที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ประเภทมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) การอบแห้งอาร์ติโชคด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เหลืออยู่ในชาสูงกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ สำหรับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในชาอาร์ติโชคไม่สัมพันธ์โดยตรงกับสารประกอบฟีนอลิก ชาที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งชนิดอื่นๆ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. คุณภาพหลังการอบแห้งอาร์ติโชคที่ได้จากการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ด้อยไปกว่าเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ และเครื่องอบแห้งแบบถาด ดังนั้นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกร เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิต

2. ผลผลิตสดที่จะนำมาอบเป็นพืชผลตามฤดูกาลแต่ผลผลิตดังกล่าวจะไม่ได้ตรงตามเวลาที่
ต้องการ อาจเนื่องมาจากปัญหาเรื่องของสภาพอากาศ จึงทำให้การอบแห้งมีความล่าช้าไม่เป็นไป
ตามที่วางแผนไว้

3. เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมทาง
ธรรมชาติ ซึ่งเราไม่สามารถกำหนดได้ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ บางปีมีเมฆหมอกมาก รวมทั้งมีวัน
ไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ปกคลุมอยู่มากจึงทำให้การอบด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ผลไม่ดี
เท่าที่ควร ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน



เอกสารอ้างอิง

- ชมภู ยิ้มโต. 2550. การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 216 หน้า.
- ครุณี เอ็ดเวิร์ดส์. 2532. เทคโนโลยีการผลิตอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมบริการ
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ธนาคารไทยพาณิชย์. 2547. ชาสมุนไพร : ตลาดเติบโต กระแสรักสุขภาพหนุน . มอง
เศรษฐกิจ . ปีที่ 10 ฉบับที่ 1489 วันที่ 6 กรกฎาคม 2547.
- ธีระศักดิ์ ปิ่นวิชัย. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 97 หน้า.
- นภาพรณีย์ เขียวคำ. 2547. การอบแห้งเปปเปอร์มินท์ ยูเอสเอ็มอินท์ และ เลมอนไทม์ด้วยเครื่อง
อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.
สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2529. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะ
ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.
- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 302
หน้า.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ. หน้า 237-255.
- วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เท็กซ์ แอนด์
เจอร์นัลพับลิเคชัน จำกัด.
- ศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2553. อาร์ติโชค พืชอาหารและเภสัช. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<http://www.agric-prod.mju.ac.th/web-veg/plantlist/artichoke.htm> (22 กุมภาพันธ์
2553).
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม และวรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร. 2543. คุณภาพและการควบคุมคุณภาพ
อาหารโดยการตรวจสอบ. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

- AOAC. 2000. Official methods of the A.O.A.C. 17th ed. Analysis Association of Official Analytical Chemists. Maryland. U.S.A.
- Arslan, D. and Ozcan, M. 2008. Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. *Energy Conversion and Management*. 49(5): 1258-1264.
- Cabezas-Serrano, A.B., Amodio, M.L., Cornacchia, R., Rinaldi, R. and Colelli, G. 2009. Screening quality and browning susceptibility of five artichoke cultivars for fresh-cut processing. 89(15): 2588-2594.
- Gil-Izquierdo, A., Gil, M.I., Conesa, M.A. and Ferreres, F. 2001. The effect of storage temperatures on the vitamin C and phenolic content of artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2:199 -202.
- Jung, S.T., Park, Y.S., Zofia, Z., Maria, F., Heneyk, B., Jadwiga, P., Elena, K., Simon, T. and shela, G. 2005. Some essential phytochemicals and the antioxidant potential in fresh and dried persimmon. *Journal of Food Science and Nutrition*. 56: 105-113.
- Katsube, T., Tsurunaga, Y., Sugiyama, M., Furuno, T., and Yamasaki, Y. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chemistry*. 113: 964–969.
- Manthey, J.A. 2004. Fractionation of orange peel phenols in ultrafiltered molasses and mass balance studies of their antioxidant levels. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 52(25): 7586-7592.
- Negi, P.S. and Roy, S.K. 2001. Effect of drying conditions on quality of green leaves during long term storage. *Food Research International*. 34: 283-287.
- Park, S.P., Jung, S.T., Kang, S.G., Licon, E.F., Ayala, A.L.M., Tapia, M.A. Belloso, O.M., Trakhtonberk, S. and Gorinstein, S. 2006. Drying of persimmon (*Diospyros kala* L.) and the following change in the studied bioactive compounds and the radical . scavenging activities. *Journal of Food Technology*. 39 : 784-755.
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16(3): 144-158.
- Toor, R.K. and Savage, G.P. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry* 94: 90-97.

- Vega-Galvez, A., Scala, K.D., Rodriguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lopez, J. and Perez-Won, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). Food Chemistry 117: 647–653.
- Vinson, J.A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N. And Procs, J. 2005. Dried food : Excellent in vitro and in vivo antioxidant. Journal of the American College of Nutrition. 24 : 44-50.
- Witham, F.H., Blaydes, D.H., Devin, R.M. and Van, D. 1971. Experiment in plant physiology. Nostrand Company. New York. 524 p.







1. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1.1 ตรวจวัดสี ของสมุนไพรโดยใช้เครื่องวัดสี

เป็นการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta chroma meter : Model CR-300 ซึ่งวัดค่าสีในระบบ CIE LAB Color Space CIE กำหนดขึ้น คือ L^* , a^* , b^* color space โดยที่แกน L^* จะบ่งบอกถึงค่าความสว่าง (lightness) ของสี โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) แกน a^* จะบ่งบอกถึงสีแดงและสีเขียว (Redness/Greeness) โดยค่าที่เป็นบวกก็จะเป็นสีแดงมากขึ้น และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีเขียวมากขึ้น ส่วนแกน b^* จะบ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) โดยค่าเป็นบวกก็จะเป็นสีเหลือง และถ้าค่าเป็นลบก็จะเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น

เมื่อ L คือ ค่าความสว่าง	มีค่าเป็น 0 จะแสดงถึงสีดำและ มีค่า 100 จะแสดงถึงสีขาว (สีขาว)
เมื่อ a^* คือ ค่าสีแดง/เขียว	เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีเขียว ค่า a^* มีค่าอยู่ในช่วง -60 ถึง +60
เมื่อ b^* คือ สีเหลือง/สีน้ำเงิน	เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีน้ำเงิน ค่า b^* มีค่าอยู่ในช่วง -60 ถึง +60

นำค่า a^* และ b^* ที่ได้มาคำนวณหาค่า chroma (C^*) จากสมการดังนี้ (McGuire, 1992)

$$\text{Chroma } (C^*) = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

ค่า C^* มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง วัตถุไม่มีสี หากมีค่าเพิ่มมากขึ้น สีของวัตถุมีความเข้มมากขึ้น และทำการคำนวณหาค่า hue angle (h°) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-60 องศา

ค่า h°	มีค่าเท่ากับ 0 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีแดง มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง มีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว มีค่าเข้าใกล้ 270 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีน้ำเงิน
---------------	---

ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank : $L = 97.67$, $a = (-0.18)$, $b = 1.84$) แล้วจึงทำการวัดสีของอาร์ติโชคโดยนำอาร์ติโชคที่ผ่านการบดละเอียดแล้วใส่ลงในภาชนะใส (petri dish) แล้วรองด้วยกระดาษสีขาว ทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง ในแต่ละการทดลอง

2. ทางด้านเคมี

2.1 ตรวจวัดค่า Water Activity (a_w)

นำอาร์ติโชคมาบดละเอียด สุ่มตัวอย่างอาร์ติโชคแห้งบดละเอียดลงในกล่องพลาสติก สำหรับใช้วัดค่า a_w สุ่มประมาณสามส่วนสี่ของกล่องพลาสติก และทำการวัดค่า a_w ด้วยเครื่อง Aqualab : Model CX3TE, USA บันทึกค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่คงที่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการตรวจวัด 3 ครั้ง ในแต่ละการทดลอง

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นก่อนอบและหลังอบ ตามวิธีของ AOAC (2000)

1. บันทึกน้ำหนักของกระป๋องอูมิเนียม (moisture can) ที่สะอาดผ่านการอบเป็นเวลา 30 นาที และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้ว
2. สุ่มตัวอย่างอาร์ติโชคที่บดแล้ว 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 5 กรัมใส่ลงในกระป๋องอูมิเนียม แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่
3. นำกระป๋องอูมิเนียมออกจากตู้อบ และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นไม่น้อยกว่า 20 นาที
4. บันทึกน้ำหนักของกระป๋องอูมิเนียมและของแข็งที่เหลืออยู่ และคำนวณหาปริมาณความชื้น จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น(\%wb)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น(\%db)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}} \times 100$$

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้ารวม ตามวิธีของ AOAC (2000)

เถ้าในอาหาร คือ ส่วนของสารอินทรีย์ที่เหลือจากการเผาอาหารที่อุณหภูมิสูง จนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้หมด เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุไม่เหมือนเดิมทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่างอาจจะหายไปในช่วงเวลาเผา ค่าของเถ้าที่ได้สามารถบอกถึงคุณภาพของสารตัวอย่างได้ ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติ ก็หมายความว่าอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหารนั้น เช่น ทราย กรวด หิน เป็นต้น

หลักการ

ปริมาณเถ้า (total ash) หาได้จากน้ำหนักที่หายไปขณะที่เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้สารอินทรีย์ถูกเผาไหม้ไป โดยการเผาไหม้ทำให้เกิดการแตกสลายหรือการสูญเสียอันเกิดจากการระเหยของส่วนประกอบของเถ้า ความร้อนที่ใช้ในการเผาคงต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งเถ้าที่ได้มีสีเสมอกันเป็นสีขาวหรือสีเทา บางทีอาจจะมีสีแดงหรือสีเขียว และปราศจากจุดดำของคาร์บอนที่เผาไหม้ และปราศจากก้อนหลอมเหลวของเถ้า

วิธีการทดลอง

1. เผาด้วยกระบือเพลิงเคลือบ (crucible) ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาเถ้าในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น หนักในโถดูดความชื้น เพื่อให้น้ำหนักคงที่ ชั่งหาน้ำหนักของด้วยกระบือเพลิงเคลือบ
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (จดน้ำหนักละเอียด) ใส่ลงในด้วยกระบือเพลิงเคลือบที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวจนหมด
3. นำด้วยกระบือเพลิงเคลือบออกจากเตา ปล่อยให้เย็นลงในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักเถ้า พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณเถ้าทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย (ทำหลายๆซ้ำเพื่อใช้เถ้าในการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้าทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}} \times 100$$

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าที่ละลายในน้ำ

นำเถ้าที่ได้จากข้อ 2.3 มาต้มกับน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง (ใช้กระดาษกรองชนิดที่ปราศจากเถ้า) ล้างตะกอนที่กรองได้ด้วยน้ำร้อน นำกระดาษกรองไปเผาในเตาเผา ชั่งหาน้ำหนักของเถ้าที่ไม่ละลายในน้ำ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าที่ไม่ละลายในน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้าที่ละลายในน้ำ} = \text{เปอร์เซ็นต์เถ้าทั้งหมด} - \text{เปอร์เซ็นต์เถ้าที่ไม่ละลายในน้ำ}$$

2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยน้ำ

ชั่งอาร์ติโชคที่บดละเอียดตัวอย่างละ 2 กรัม (อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาใช้) ใส่ลงในน้ำ 100 มิลลิลิตร นำไป reflux นาน 1 ชั่วโมง กรองเก็บสารละลายที่กรองใส่ใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร นำกากไป reflux ซ้ำอีกแล้วกรอง เก็บสารละลายที่กรองได้รวมกัน ทำซ้ำจนสารละลายที่กรองได้รวมกัน ทำซ้ำจนสารละลายที่สกัดได้ไม่มีสี เก็บสารละลายที่ได้

ทั้งหมดรวมกันปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้ผสมกัน นำกากที่เหลือไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กากที่เหลือ

ปิเปตของเหลวที่สกัดได้ใน volumetric flask มา 50 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะโลหะที่ผ่านการอบและทราบน้ำหนักและนำไประเหยเอาน้ำออกจนแห้งบน water-bath นำไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งหาปริมาณสารที่สกัดด้วยน้ำ และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้งของชาตัวอย่าง

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน โดยวิธี Lowenthal's permanganate oxidation process (ลักษณะและนิยาม, 2536)

สารเคมีที่ใช้

1. สารละลาย Indigo carmine 1.5 กรัมในน้ำ 1 ลิตร ที่มีกรดกำมะถันเข้มข้นอยู่ 50 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 25 มิลลิลิตร จะทำปฏิกิริยาโดยการไตเตรชันพอดีได้สีชมพูอ่อน กับสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.008 โมลาร์จำนวน 4 มิลลิลิตร

2. สารละลายเจลาติน ซึ่งเจลาตินมา 25 กรัม แชไว้ในสารละลายเกลือแกงที่ต้มตัวนาน 1 ชั่วโมง อุณหภูมิเจลาตินละลาย ทำให้เย็น แล้วปรับปริมาตรสารละลายเจลาตินให้ครบ 1 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายเกลือแกงที่ต้มตัว

3. สารละลาย acid sodium chloride เดิมกรดกำมะถันเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ลงในสารละลายเกลือแกงที่ต้มตัว 975 มิลลิลิตร

วิธีทำ

ชั่งตัวอย่างชาที่บดละเอียดมา 5 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ต้มนาน 1 ชั่วโมง กรองผ่านสำลีใน volumetric flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันดี (เรียกสารละลาย A) ปิเปตสารละลาย A มา 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในพลาสติกขนาด 250 เติมสารละลายเจลาตินลงไป 50 มิลลิลิตรปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย acid sodium chloride เทใส่ในพลาสติกขนาด 400 มิลลิลิตร เติมเกลือลงไป 20 กรัม เขย่านาน 15 นาที แล้วกรองสารละลายที่ได้เรียกว่า สารละลาย B

25 มิลลิลิตร สารละลาย B = 10 มิลลิลิตร สารละลาย A = 0.1 กรัมชาตัวอย่าง

ปิเปตสารละลาย A มา 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในพลาสติกขนาด 1 ลิตรเติมสารละลาย indigo carmine ลงไป 25 มิลลิลิตรปรับปริมาตรทั้งหมดเป็น 750 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.08 โมลาร์ ใส่ในบิวเรต ค่อยๆหยดใส่ลงในพลาสติกครึ่ง

ละ 1 มิลลิลิตร เขย่าขณะทำการไตเตรชัน สีจะค่อยๆเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองและสีชมพูอ่อน หยุดไตเตรตเมื่อได้สีชมพูอ่อน จดปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ = A มิลลิลิตร

ปิเปตสารละลาย B มา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในพลาสติกขนาด 1 ลิตรเติมสารละลาย indigo carmine ลงไป 25 มิลลิลิตรปรับปริมาตรทั้งหมดเป็น 750 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นได้เตรตเช่นเดียวกับสารละลาย A จนได้สีชมพูอ่อน จดปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ = B มิลลิลิตร

ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ได้เตรตกับแทนนิน = $(A-4)-(B-4.5)$ 4 และ 4.5 เป็นค่า blank ของสารละลาย A และ B ตามลำดับคำนวณหาปริมาณแทนนินต่อน้ำหนักแห้งได้ดังนี้

1 มิลลิลิตรสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.008 โมลาร์ ทำปฏิกิริยา สมมูลย์พอดีกับ แทนนิน 0.001664 กรัม

2.7 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) โดยวิธี

Folin-Ciocalteu (Singleton and Rossi, 1965)

1. วิธีการเตรียมตัวอย่างสารสกัด

- นำอาร์ติโชคมานำไปให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น เติมน้ำกลั่นร้อยละ 80 ในอัตราส่วน 1:10 (w/v) จากนั้นนำไปแช่เย็นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

- นำอาร์ติโชคมารองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 (นำสารละลายที่ได้ไปวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วย)

2. วิธีการตรวจวิเคราะห์

- ปิเปตน้ำกลั่น 2.50 มิลลิลิตร โซเดียมคาร์บอเนต 2.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา

- ปิเปตสารสกัดตัวอย่างที่เตรียมไว้มา 250 ไมโครลิตรด้วยไมโครปิเปต ทิ้งไว้ 2 นาที จากนั้นจึงเติม Folin-Ciocalteu 250 ไมโครลิตร ลงไป

- นำไปวางไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

- นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 675 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid)

หมายเหตุ : ในการเตรียมโซเดียมคาร์บอเนต โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7.5000 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid)

- เตรียมสารละลายกรดแกลลิก ในรูป Stock solution 5.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.0250 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร

- ปิเปต Stock solution เจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0.25-2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

- ปิเปตน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร โซเดียมคาร์บอเนต 2.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชา

- ปิเปตสารละลายเข้มข้นที่เตรียมไว้มา 250 ไมโครลิตรด้วยไมโครปิเปต ทิ้งไว้ 2 นาที จากนั้นจึงเติม Folin-Ciocalteu 250 ไมโครลิตร ลงไป

- นำไปวางไว้ในที่มีด ฌ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 675 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank (โดยใช้น้ำกลั่นแทน)
- นำข้อมูลที่ได้ สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของกรดแกลลิกกับค่าการดูดกลืนแสง

4. วิธีการคำนวณ

- นำค่าดูดกลืนแสงที่ 675 นาโนเมตร ไปคำนวณดังสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกเทียบเป็นน้ำหนักแห้งของอาร์ติโชค

2.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging activity)

โดย DPPH assay (Williams, 1994)

1. วิธีการเตรียมตัวอย่าง

- นำตัวอย่างสารสกัดมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 10^{-2} , 5.5×10^{-3} , 10^{-3} , 5.5×10^{-4} และ 10^{-4} ปีเปต

2. วิธีการเตรียมสารละลาย DPPH

- เตรียมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลต่อลิตร โดยชั่งสาร DPPH 0.0047 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลในขวดปรับปริมาตร 200 มิลลิลิตร

3. วิธีการตรวจวิเคราะห์

- ปีเปตสารละลาย DPPH ที่เตรียมไว้ 4.90 มิลลิลิตร ใส่ในขวดสีชา
- ปีเปตสารสกัดตัวอย่างที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงในสารละลาย DPPH
- เก็บไว้ ฌ อุณหภูมิห้อง ในที่มีด เป็นเวลา 30 นาที
- นำไปเหวี่ยงให้ตกตะกอนที่ความเร็ว 6000 รอบ เป็นเวลา 9 นาที เพื่อตกตะกอน
- นำส่วนใสไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

4. วิธีการคำนวณ

- นำค่าดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ไปคำนวณดังสมการ เพื่อนำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟ หาค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในรูป IC_{50} (Inhibition concentration) หมายถึงความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันที่ร้อยละ 50

3. ทางด้านจุลชีววิทยา

3.1 การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (2000)

- อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
2. ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
4. ตู้บ่มเชื้อ
5. หม้อนึ่งความดัน
6. เครื่องเจือจาง (stomacher)

- อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar
2. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1

- การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มจนเดือด
2. นำอาหารเลี้ยงเชื้อไปทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 – 124 องศาเซลเซียส นาน 15

นาที ในหม้อนึ่งความดัน

- การวิเคราะห์

1. ใช้ปากกิบที่ปราศจากเชื้อ โดยการฉีกและเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ กีบตัวอย่างมาผสมกัน ชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กรัม ใส่ในถุงตีบด (stomacher bag) ที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 90 มิลลิลิตร ผสมอยู่ นำไปตีบดด้วยเครื่องตีบดอาหาร (stomacher) เป็นเวลา 2 นาที จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1:10 หรือ (10^{-1})

2. เขย่าให้อาหารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารที่เจือจาง 1:10 หรือ (10^{-1}) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารแบบหมุนวน (vortex) จะได้อาหารที่เจือจาง 1:100 (10^{-2})

3. ทำให้อาหารตัวอย่างมีความเจือจาง 1:1000 (10^{-3})

- การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ดูดสารละลายตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจางต่าง ๆ ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับความเจือจางละ 2 จาน โดยเริ่มดูจากระดับความเข้มข้นที่เจือจางสุด

2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่กำลังหลอมเหลวลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างโดยใส่ลงในจานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายใน 1-2 นาที หลังจากใส่ตัวอย่างลงไปแล้ว

3. ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัวจึงคว่ำจานเพาะเชื้อลง

4. ทำตัวอย่างควบคุม โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 1 มิลลิลิตร แทนสารละลายตัวอย่างอาหาร

- การบ่มเชื้อ

บ่มจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้เสร็จเรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง โดยคว่ำจานเลี้ยงเชื้อลง และควรวางซ้อนกันประมาณ 5 ชั้น บรรจุในถุงพลาสติก

- การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีจากทั้งสองจานเพาะเชื้อ รายงานผลการตรวจนับในรูปโคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (cfu/g)

3.2 การหาปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ AOAC (2000)

- อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
2. ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
4. ตู้บ่มเชื้อ
5. หม้อนึ่งความดัน
6. เครื่องเจือจาง (stomacher)

- อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar
2. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
3. สารละลายกรดทาร์ทาริก ความเข้มข้นร้อยละ 10

- การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ 39 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มจนเดือด
2. นำอาหารเลี้ยงเชื้อไปทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 – 124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในหม้อนึ่งความดัน
3. ปรับอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าวให้มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 3.5 ด้วยสารละลายกรดทาร์ทาริก ความเข้มข้น 10 โดยมีอัตราส่วน อาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิลิตร ต่อสารละลายกรดทาร์ทาริก 1.8 มิลลิลิตร

- การวิเคราะห์

1. ใช้ปากกิบที่ปราศจากเชื้อ โดยการฉีกและเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ กิบตัวอย่างสมุนไพรมาสวมกัน ชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กรัม ใส่ในถุงติบด (stomacher bag) ที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 90 มิลลิลิตร ผสมอยู่นำไปติบดด้วยเครื่องติบดอาหาร (stomacher) เป็นเวลา 2 นาที จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1:10 หรือ (10^{-1})

2. เขย่าให้อาหารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารที่เจือจาง 1:10 หรือ (10^{-1}) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารแบบหมุนวน (vortex) จะได้อาหารที่เจือจาง 1:100 (10^{-2})

3. ทำให้อาหารตัวอย่างมีความเจือจาง 1:1000 (10^{-3})

- การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว คูดสารละลายตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจางต่างๆลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับความเจือจางละ 2 จาน โดยเริ่มคูดจากระดับความเข้มข้นที่เจือจางสุด

2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar ที่กำลังหลอมเหลวลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างโดยใส่ลงในจานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายใน 1-2 นาที หลังจากที่ได้ตัวอย่างลงไปแล้ว

3. ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว (ไม่ต้องคว่ำจานเพาะเชื้อ)

4. ทำตัวอย่างควบคุม โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 1 มิลลิลิตร แทนสารละลายตัวอย่างอาหาร

- การบ่มเชื้อ

บ่มจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้แล้วในที่มืด ที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ± 2 องศาเซลเซียส (ไม่ควรซ้อนทับเกิน 3 ชั้นและไม่ควรคว่ำจานเพาะเชื้อ)

- การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีจากทั้งสองจานเพาะเชื้อ รายงานผลการตรวจนับในรูปโคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (cfu/g)

3.3 การหาปริมาณโคลิฟอร์มและอี.โคไล (Coliform and *Escherichia coli*) โดยวิธี MPN (Most Probable Number Method) ตามวิธีของ AOAC (2000)

- อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
2. หลอดทดลอง (test tube) ชนิดที่มีฝาปิด พร้อมหลอดดักก๊าซ (durham tube)
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
4. ตู้บ่มเชื้อ
5. หม้อนึ่งความดัน

- อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Sulphate Tryptose Broth (LST)
2. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
3. อาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth (BGLB)

- การวิเคราะห์

1. ใช้ปากกิบที่ปราศจากเชื้อ โดยการลนไฟและเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ กีบตัวอย่างสมุนไพรมาผสมกัน ชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กรัม ใส่ในถุงติบด (stomacher bag) ที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 90 มิลลิลิตร ผสมอยู่นำไปติบดด้วยเครื่องติบดอาหาร (stomacher) เป็นเวลา 2 นาที จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1:10 หรือ (10^{-1})

2. เขย่าให้อาหารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารที่เจือจาง 1:10 หรือ (10^{-1}) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ด้วยเครื่องผสมอาหารแบบหมุนวน (vortex) จะได้อาหารที่เจือจาง 1:100 (10^{-2})

3. ทำให้อาหารตัวอย่างมีความเจือจาง 1:1000 (10^{-3})

- การวิเคราะห์แบคทีเรียที่คาดว่าจะ เป็น โคลิฟอร์ม (presumptive coliforms)

1. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างที่ระดับเจือจางต่างๆ ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ LST ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ชุด ชุดละ 3 หลอด

ชุดที่ 1 ปิเปตตัวอย่างจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

ชุดที่ 2 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง 10^{-1} จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

ชุดที่ 3 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง 10^{-2} จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

ชุดที่ 4 ปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง 10^{-3} จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

2. บ่มหลอดเลี้ยงเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หากหลอดทดลองใดมีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดดักก๊าซ แสดงว่าให้ผลเป็นบวก (positive) ซึ่งคาดว่าจะมีเชื้อจุลินทรีย์ชนิดโคลิฟอร์มเจริญอยู่ในตัวอย่างนั้น ถ้าไม่พบก๊าซในหลอดทดลองใดเลย แสดงว่าให้ผลลบ (negative) และไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ชนิดโคลิฟอร์มเจริญอยู่ในตัวอย่าง

3. การรายงานจำนวนโคลิฟอร์มในตัวอย่างที่เกิดก๊าซขึ้น ให้เปิดตารางแมกคราดี (MPN) แล้วรายงานเป็นจำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียต่อตัวอย่าง 1 กรัม

- การยืนยันโคลิฟอร์ม

1. ใช้ห่วง (loop) เขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวก (positive) จากการทดสอบแบคทีเรียที่คาดว่าจะโคลิฟอร์ม ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methylene Blue Agar ในจานเพาะเชื้อ

2. บ่มจานเพาะเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

3. ตรวจหาโคลิฟอร์มที่เป็นลักษณะเฉพาะของโคลิฟอร์ม โดยโคโลนีของโคลิฟอร์มจะมีสีดำหรือมีสีดำตรงกลางล้อมรอบด้วยบริเวณที่โปร่งใสไม่มีสี โคลิฟอร์มบางโคโลนีมีลักษณะหนูนเปือกเค็ม (mucoid)

4. บันทึกจำนวนหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชุดที่มีเชื้อจุลินทรีย์โคลิฟอร์มที่ได้รับการยืนยันแล้ว

- การวิเคราะห์แบคทีเรียที่คาดว่าจะ *E. coli*

1. ใช้เข็มเขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวก (positive) จากการทดสอบแบคทีเรียที่คาดว่าจะโคลิฟอร์ม ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อต้องปรับให้มียูนิทเท่ากับ 44.5 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้

2. เขี่ยเชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อมาตรฐานลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile Broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร อีก 2 หลอด เพื่อใช้เป็นหลอดควบคุม (control)

3. บ่มหลอดเลี้ยงเชื้อลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 44.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

4. หลอดทดลองที่มีก๊าซเกิดขึ้นหรือให้ผลบวก (positive) แสดงว่ามีแบคทีเรียที่คาดว่าจะ *E. coli* ให้ทำการวิเคราะห์เพื่อยืนยัน *E. coli*

- การวิเคราะห์เพื่อยืนยัน *E. coli*

1. เขี่ยเชื้อจากหลอดเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวก (positive) จากการทดสอบแบคทีเรียที่คาดว่าจะ *E. coli* ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methylene Blue Agar ในจานเพาะเชื้อ

2. บ่มจานเพาะเชื้อในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

3. เลือกโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะของ *E. coli* ซึ่งมีสีน้ำตาลอมดำตรงกลาง และมีสีเลื่อมมันอมเขียวสะท้อนแสงโดยบางครั้งสีเลื่อมมันอาจไม่ปรากฏ เขี่ยเชื้อครั้งละ 1 โคโลนี เวลา 24 ชั่วโมง ลงในน้ำทริปโตน (Tryptone Water) แล้วบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 44.5 องศาเซลเซียส

4. เขี่ยเชื้อ *E. coli* มาตรฐานในหลอดน้ำทริปโตนเพื่อเป็นตัวอย่างควบคุม

5. ทดสอบสารอินโดล หลอดทดลองที่มีสารอินโดลเกิดขึ้น แสดงว่าเป็นเชื้อ *E. coli* จากนั้นบันทึกจำนวนหลอดทดลองที่ให้ผลบวก (positive)

6. คำนวณและรายงานค่า MPN ของ Coliform และ *E.coli* ในตัวอย่างอาร์ติโชค





การแสดงผลการคำนวณ การหาค่าพลังงานไฟฟ้า

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

- ขนาดกำลังไฟฟ้าของพัดลม เท่ากับ 0.050 กิโลวัตต์

- จำนวนพัดลม เท่ากับ 2 ตัว

ค่าไฟฟ้าของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ = ขนาดกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) * ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง) * ราคาต่อหน่วย (3.6 บาทต่อหน่วย) * จำนวนพัดลม (ตัว)

- ชั่วโมงการทำงานในการอบแห้ง เท่ากับ 12 ชั่วโมง

- จำนวนเตาของน้ำหนัก (เทียบกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อบ 1 ครั้ง ใช้ผลผลิต 2,800 กรัม

ค่าไฟฟ้าของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ = $0.5 * 12 * 3.6 * 2 * (100 / 2,800)$
= 0.15 บาทต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด

2. เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด

ค่าไฟฟ้าของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ = การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง (กิโลวัตต์) * ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง) * ราคาต่อหน่วย (3.6 บาทต่อหน่วย) * จำนวนเตาของน้ำหนัก (เทียบกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน)

- ชั่วโมงการทำงานในการอบแห้ง เท่ากับ 6 ชั่วโมง

- การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง 1.98 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ = $1.98 * 6 * 3.6 * (100 / 300)$
= 11.88 บาทต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด

3. เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน

ค่าไฟฟ้าของเตาอบไมโครเวฟ = การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง (กิโลวัตต์) * ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง) * ราคาต่อหน่วย (3.6 บาทต่อหน่วย)

- ชั่วโมงการทำงานในการอบแห้ง เท่ากับ 0.42 ชั่วโมง (25 นาที)

- การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง 5.029 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าของเตาอบไมโครเวฟ = $5.029 * 0.42 * 3.6$
= 7.6 บาทต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด





1. การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

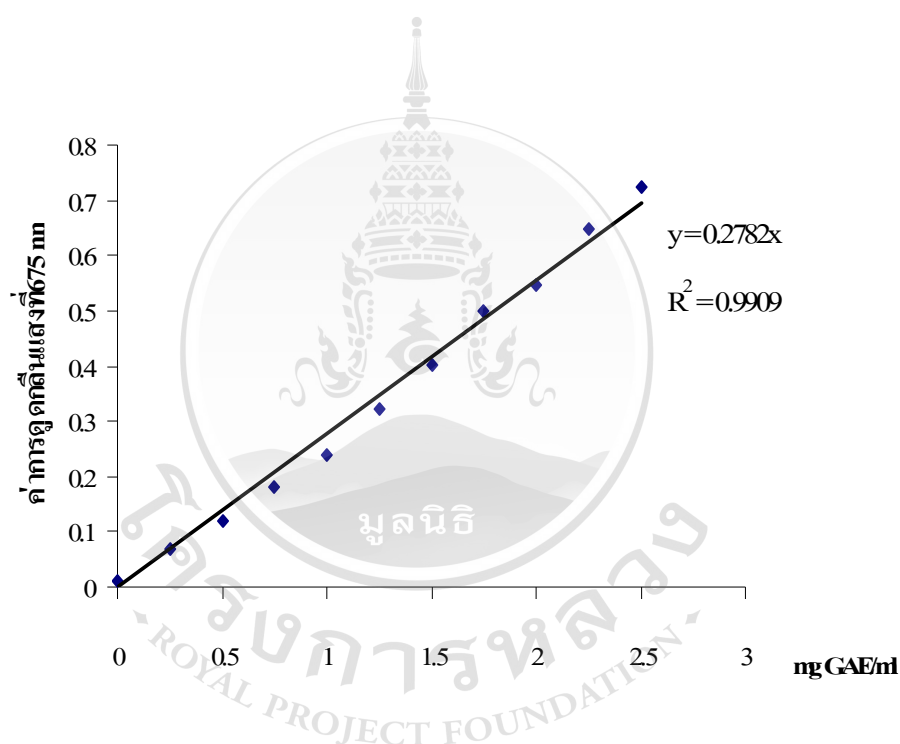
จะนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการทดลองมาคำนวณสมการดังนี้

$$\text{ค่าการดูดกลืนแสง (Y)} = [A_1 - A_0]$$

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของ Folin-Ciocalteu และสารสกัดตัวอย่าง

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของ Folin-Ciocalteu และน้ำกลั่น (blank)

จากนั้นนำไปแทนค่าในสมการมาตรฐานของกรดแกลลิก $Y = 0.2782x$ โดยค่า Y คือค่าการดูดกลืนแสงที่ลบ Blank และส่วนค่า X คือปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ml)



ภาพที่ ค.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก ที่ความเข้มข้น 0.00 – 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เมื่อได้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกแล้ว เราสามารถนำค่าวัดการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารสกัดมาแทนค่าลงในตัวแปร Y จะได้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของปริมาณสารสกัดที่นำมาวัด แล้วนำไปคิดเทียบกับน้ำหนักแห้งของอาร์ติโชค

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จะนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มข้นต่างๆ มาคำนวณสมการดังนี้

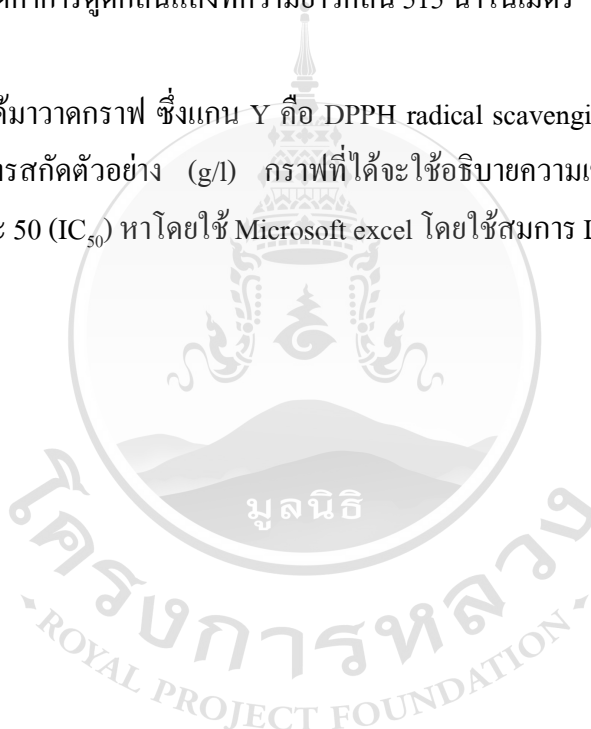
$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \frac{(A_0 - A_1) * 100}{A_0}$$

โดยที่ A₀ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH และเมทานอล

A₁ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH และสารสกัดตัวอย่าง

หมายเหตุ : วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

แล้วนำค่าที่ได้มาวาดกราฟ ซึ่งแกน Y คือ DPPH radical scavenging activity (%) และแกน X คือความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง (g/l) กราฟที่ได้จะใช้อธิบายความเข้มข้นของตัวอย่างที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 50 (IC₅₀) หาโดยใช้ Microsoft excel โดยใช้สมการ Linear Regress





ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 196) พ.ศ. 2543

เรื่อง ชา

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ชา อาศัยอำนาจตามความใน มาตรา 5 และมาตรา 6(3)(4)(5)(6)(7) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็น พระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้ กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออก ประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 58 (พ.ศ.2524) เรื่อง ชา ลงวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2524

ข้อ 2 ให้ชาเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน

ข้อ 3 ชาตามข้อ 2 แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

(1) ชา หมายความว่า ใบ ยอด และก้าน ที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาในสกุล Camellia ที่ทำ ให้แห้งแล้ว

(2) ชาผงสำเร็จรูป (instant tea) หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำของเหลว ซึ่ง สกัดมาจากชาและนำมาทำให้เป็นผงกระจายตัวได้ง่ายเพื่อใช้เป็นเครื่องดื่มได้ทันที

(3) ชาปรุงสำเร็จ หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชาตาม (1) หรือ (2) มาปรุงแต่งรส ในลักษณะพร้อมบริโภคและบรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ไม่ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะเป็น ชนิดเหลวหรือแห้งให้ถือว่าเป็นชา ซึ่งต้องปฏิบัติตามประกาศฉบับนี้ด้วย

ข้อ 4 ชาตามข้อ 3(1) ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก

(2) มีเถ้าทั้งหมด (total ash) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 และไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนักชา

แห้ง

(3) มีเถ้าที่ละลายน้ำได้ (water soluble ash) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 ของเถ้าทั้งหมด

(4) มีสารที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน (hot water extract) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 32 ของน้ำหนัก

ชาแห้ง

(5) มีคาเฟอีน (caffeine) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก

(6) ไม่มีสี

ในกรณีที่ชามีวัตถุอื่นผสมอยู่เพื่อแต่งกลิ่น วัตถุที่นำมาผสมต้องไม่เป็นอันตรายต่อ ร่างกาย และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 5 ซาตามข้อ 3(2) ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

- (1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก
- (2) มีเถ้าทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 20 ของน้ำหนักชาผงสำเร็จรูปแห้ง
- (3) มีคาเฟอีน (caffeine) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4.0 ของน้ำหนัก เว้นแต่ชาผงสำเร็จรูปที่สกัดเอาคาเฟอีนออกแล้ว ให้มีคาเฟอีนได้ในปริมาณที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
- (4) ไม่ใส่สี

ในกรณีชาผงสำเร็จรูปมีวัตถุอื่นผสมอยู่เพื่อแต่งกลิ่นหรือรส วัตถุที่นำมาผสมต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 ซาตามข้อ 3(3) ชนิดเหลว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

- (1) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของชา
- (2) ไม่มีตะกอน เว้นแต่ตะกอนอันมีตามธรรมชาติของส่วนประกอบ
- (3) น้ำที่ใช้ผลิตต้องเป็นน้ำที่มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท
- (4) ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 2.2 ต่อชาปรงสำเร็จ 100 มิลลิลิตร โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number)
- (5) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิดอี.โคไล (*Escherichia coli*)
- (6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
- (7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- (8) ไม่มียีสต์และเชื้อรา
- (9) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้

- (9.1) สารหนู ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม ต่อชาปรงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม
- (9.2) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่อชาปรงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม
- (9.3) ทองแดง ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อชาปรงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม
- (9.4) สังกะสี ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อชาปรงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม
- (9.5) เหล็ก ไม่เกิน 15 มิลลิกรัม ต่อชาปรงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม
- (9.6) ดีบุก ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม ต่อชาปรงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม
- (9.7) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อชาปรงสำเร็จชนิดเหลว 1

กิโลกรัม

(10) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาลนอกจากการใช้ น้ำตาลได้ โดยใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอชโอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติม

ในกรณีที่ไม่มีความมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

(11) ให้ใช้วัตถุกันเสียได้ดังต่อไปนี้

(11.1) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม ต่อชาปรุ่งสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(11.2) กรดเบนโซอิกหรือกรดซอร์บิก หรือเกลือของกรดทั้งสองนี้ โดยคำนวณเป็นตัวกรดได้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม ต่อชาปรุ่งสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

การใช้วัตถุกันเสียให้ใช้ได้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดตามปริมาณที่กำหนดใน (11.1) หรือ (11.2) ถ้าใช้เกินหนึ่งชนิดต้องมีปริมาณของชนิดที่ใช้รวมกันไม่เกินปริมาณของวัตถุกันเสียชนิดที่กำหนดให้ใช้น้อยที่สุด

เมื่อจำเป็นต้องใช้วัตถุกันเสียแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ดังกล่าวข้างต้นต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

(12) ในกรณีชาปรุ่งสำเร็จมีวัตถุอื่นผสมอยู่เพื่อแต่งกลิ่นหรือรส วัตถุที่นำมาผสมต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 ชาปรุ่งสำเร็จชนิดแห้ง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก

(2) เมื่อละลายหรือผสมน้ำตามที่กำหนดไว้ในฉลาก ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม

ข้อ 6

ข้อ 8 ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 9 การใช้ภาชนะบรรจุ ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 10 การแสดงฉลากของชา ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก

ข้อ 11 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตาม ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 58 (พ.ศ.2524) เรื่อง ชา ลงวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2524 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าชาที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยื่นคำขอรับเลข

สารบขอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 13 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2543

กร ทัพพะรังสี

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544)

