



Multi-Stage Drying Temperature

นายประพันธ์ จิโน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์

ทุนอุดหนุนการวิจัย เงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2557

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บัตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

แบบแสดงหลักฐานการมีส่วนร่วมในผลงาน มีดังนี้

1. ☐ คู่มือปฏิบัติงานหลัก
2. ☐ ผลงานเชิงวิเคราะห์ หรือ
☐ ผลงานสังเคราะห์
3. ☒ ผลงานวิจัย หรือ
☐ ผลงานลักษณะอื่น รายงานวิจัย

เรื่อง การรักษาสีน้ำตาลอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้น (Color Retention of Dried *Stevia-rebaudiana* Bertoni by Multi-Stage Drying Temperature)

ผู้ร่วมงาน จำนวน 2 คน แต่ละคนมีส่วนร่วมดังนี้

ชื่อผู้ร่วมงาน	ปริมาณงานร้อยละ มีส่วนร่วม	หน้าที่ความรับผิดชอบในผลงาน
1. นายประพันธ์ จิโน	75	หัวหน้าโครงการวิจัย
2. ผศ.ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์	25	ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

ลงชื่อ.....

(นายประพันธ์ จิโน)

ลงชื่อ.....

(ผศ.ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์)

บทคัดย่อ

หญ้าหวาน หรือ สเตเวีย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Stevia rebaudiana* Bertoni เป็นสารให้รสหวานเหมือนน้ำตาล วัตถุประสงค์ในการศึกษาโครงการวิจัยนี้ สนใจศึกษาผลของวิธีและสภาวะการอบแห้ง (การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นและคุณภาพสีของใบหญ้าหวาน คุณลักษณะการอบแห้งและสภาวะในการอบแห้งมีอิทธิพลอย่างมากต่อการรักษาสีของใบชาหญ้าหวานในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว ที่อุณหภูมิ 50 ถึง 90 องศาเซลเซียส และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ 50 กับ 80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 กับ 90 องศาเซลเซียส อัตราการอบแห้งหญ้าหวานจากค่าความชื้นเริ่มต้น 523.44 ถึง 7.52 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) มีค่าเท่ากับ 18.91×10^{-4} ถึง 179.65×10^{-4} กรัม/นาฬิกา ต่อ กรัม น้ำหนักแห้ง นาฬิกา และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว และผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่อุณหภูมิ 50 กับ 80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 กับ 90 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งที่รวดเร็ว และสามารถรักษาสีของหญ้าหวานได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว โดยสภาวะการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาฬิกา กับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 670 นาฬิกา สามารถรักษาคุณภาพสีของใบชาหญ้าหวานได้ดีที่สุด โดยมีคุณภาพสีในระบบ CIE-L*-a*-b* ซึ่งประกอบด้วยค่าความสว่าง (L*-values), ค่าความเป็นสีแดง/เขียว (a*-values), ค่าความเป็นสีเหลือง/น้ำเงิน (b*-values) และค่าความแตกต่างสีรวม (TCD) มีค่าเท่ากับ 31.15 ± 1.83 , -10.41 ± 1.99 , 18.97 ± 1.47 และ 5.01 ± 0.84 . นอกจากนี้ค่าสีส้ม (Chroma values) และค่าความสด (Hue) มีค่าเท่ากับ 39.19 ± 2.36 และ 100.87 ± 4.25

Abstract

Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) is a sweetener and sugar substitute made from the leaves of the plant species *Stevia rebaudiana*. The objective of this study was to investigate an effect of various condition of drying (open sun drying, hot air using single-stage drying temperature and multi-stage drying temperature) on moisture content and color change of *Stevia*. The drying characteristics and drying conditions have an influence on the retention of color quality of *stevia* during single-stage drying between 50 to 90°C and multi-stage drying temperature for 50 °C, 80°C and 50 °C, 90°C. The drying rate required to reduce moisture content of *Stevia* from 523.44 to 7.52%(d.b.) was $18.91 \times 10^{-4} - 179.65 \times 10^{-4} \text{ g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$ of single-stage drying temperature and $32.91 \times 10^{-4} - 76.11 \times 10^{-4} \text{ g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$ of multi-stage drying temperature, respectively. The results of multi-stage drying temperature provide that higher drying rate and better retention than using hot air by single-stage drying temperature. It was found that the suitable conditions for multi-stage drying temperature were 50°C for 670 min and 80°C for 50 min. The color qualities of dried *Stevia* for multi-stage drying temperature in CIE-L*-a*-b* system namely L*-values, a*-values, b*-values and TCD were 31.15 ± 1.83 , -10.41 ± 1.99 , 18.97 ± 1.47 and 5.01 ± 0.84 , respectively. In addition, the Chroma values and Hue angle were 39.19 ± 2.36 and 100.87 ± 4.25 .

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการรักษาสีน้ำตาลอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้น (Color Retention of Dried *Stevia rebaudiana* Bertoni by Multi-Stage Drying Temperature) เป็นโครงการวิจัยที่ต้องการศึกษาเพื่อหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมกับการดำเนินการของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีความต้องการองค์ความรู้ในการแปรรูปเพื่อรักษาสีของใบชาหญ้าหวานอบแห้ง เพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ใบชาหญ้าหวานอบแห้ง ตามหนังสือเลขที่ ล 05.09/284 และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย เงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2557 ของคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัศวราชันย์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความรู้ คำปรึกษาในด้านต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงการอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงโครงการวิศวกรรม รวมถึงที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยเป็นพี่เลี้ยงสอนหลักการ วิธีการทำโครงการวิศวกรรม และให้ความช่วยเหลือเพื่อให้โครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบุญธรรม บุญเลา ผู้อำนวยการศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ และเจ้าหน้าที่ของสาขาวิศวกรรมเกษตรและวิศวกรรมอาหาร ที่คอยให้กำลังใจ และคำแนะนำดี ๆ เสมอมา และให้ความช่วยเหลือเพื่อให้โครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายประพันธ์ จิโน

15 กรกฎาคม พ.ศ. 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1	บทนำ
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา
	1.2 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
	1.4 ขอบเขตของการทำโครงการ
บทที่ 2	การตรวจเอกสาร
	2.1 ข้อมูลทั่วไปของเหี่ยวหวาน
	2.2 ทฤษฎีการทำแห้งผักและผลไม้
	2.3 วิธีการหาความชื้นตามมาตรฐาน
	2.4 การอบแห้งแบบอุณหภูมิต่ำหลายชั้น
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการ
	3.1 คุณลักษณะการอบแห้งของเหี่ยวหวานเบื้องต้น
	3.2 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่าง การอบแห้งแบบดั้งเดิมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
	3.3 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วย การใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature)

สารบัญ (ต่อ)

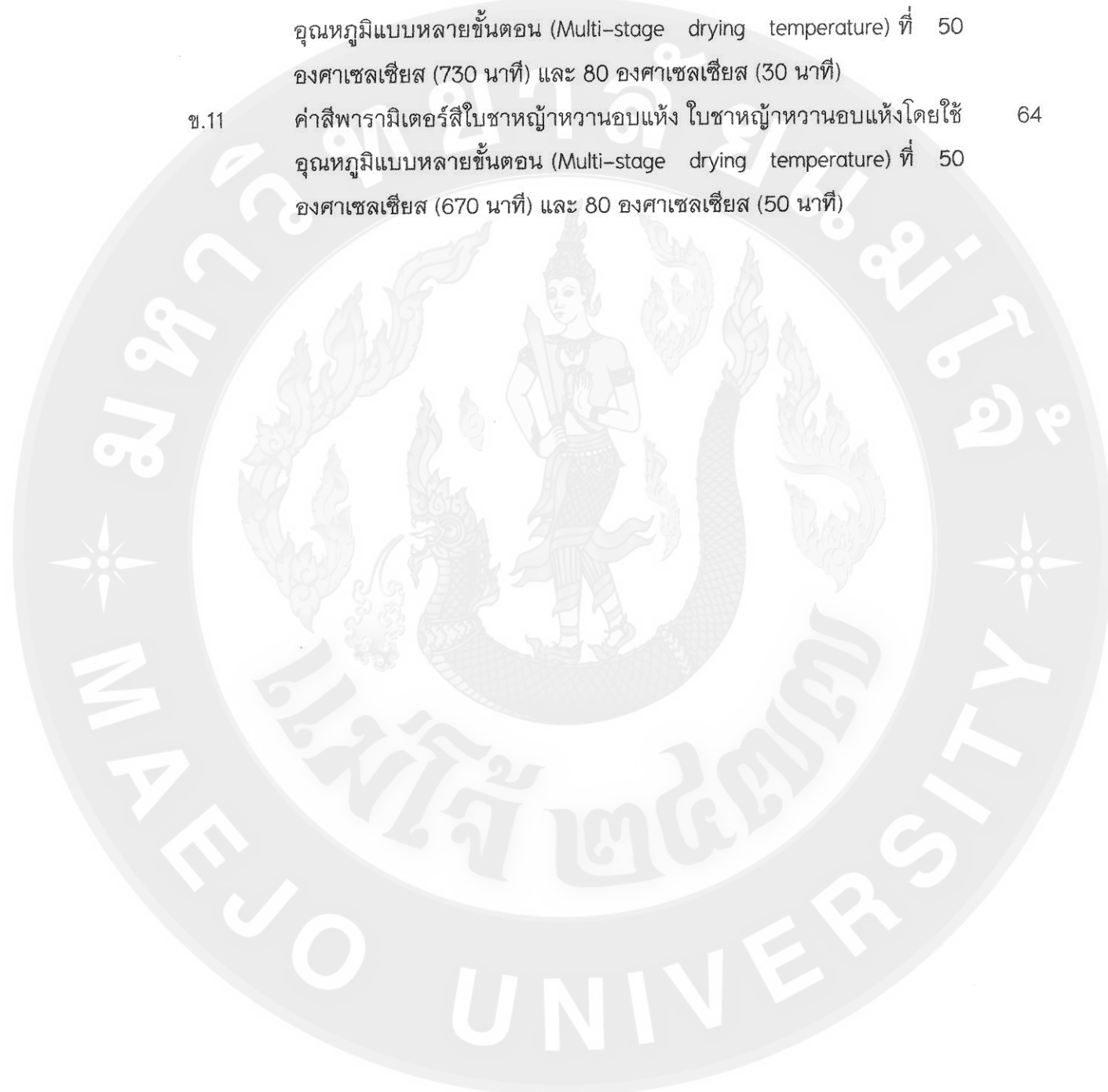
	หน้า
3.4 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature)	18
3.5 เปรียบเทียบคุณภาพสีในการอบแห้งของเห็ดหาวานอบแห้ง ที่สภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ	18
3.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	22
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	23
4.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น และค่าความชื้นสมดุลของเห็ดหาวาน	23
4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิ แบบชั้นเดียว และการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์	26
4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้ อุณหภูมิแบบสองชั้น	29
4.4 การเปรียบเทียบคุณภาพสีเห็ดหาวานอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งการ ใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว และการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น	33
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	44
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	48
ประวัติผู้เขียน	69

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	22
ก.1	การวิเคราะห์หาความชื้นเริ่มต้นของใบชาหญาหวานสด	49
ก.2	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (ทดลองระหว่างวันที่ 5 พ.ค. พ.ศ. 2557 ถึง 10 มิถุนายน พ.ศ.2557)	50
ก.3	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งหญาหวานด้วยเครื่อง อบแห้งลมร้อน ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส	51
ข.1	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานสด ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system	54
ข.2	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้งด้วยการตากแดด แสงอาทิตย์ใน ระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system	55
ข.3	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system	56
ข.4	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system	57
ข.5	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system	58
ข.6	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system	59
ข.7	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system	60
ข.8	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้ง ใบชาหญาหวานอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (550 นาที) และ 90 องศาเซลเซียส (30 นาที)	61
ข.9	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานอบแห้ง ใบชาหญาหวานอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (310 นาที) และ 90 องศาเซลเซียส (50 นาที)	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.10	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวนอบแห้ง ใบชาห่อหุ้มหวนอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (730 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (30 นาที)	63
ข.11	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวนอบแห้ง ใบชาห่อหุ้มหวนอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (670 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (50 นาที)	64



สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ต้นหญ้าหวาน	5
2.2	เส้นโค้งความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง	7
2.3	แผนผังแสดงการคำนวณความชื้นเริ่มต้น	9
2.4	การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี	14
2.5	การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ	15
3.1	เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ขนาดห้องปฏิบัติการ	17
3.2	เครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan XE PLUS)	19
3.3	การเตรียมตัวอย่างหญ้าหวานด้วยเครื่องอบลมร้อน	20
3.4	การเตรียมตัวอย่างหญ้าหวานด้วยเครื่องอบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิแบบ สองชั้น (Multi-stage drying temperature	21
4.1	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างหญ้าหวาน สำหรับการทดลอง	24
4.2	ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ ตัวอย่าง เพื่อหาค่าความชื้นเริ่มต้น ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)	25
4.3	หญ้าหวานอบแห้ง เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสมดุล ตาม มาตรฐาน AOAC (2010)	25
4.4	การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์	27
4.5	เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด	27
4.6	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (ทดลองระหว่างวันที่ 5 พ.ค. พ.ศ. 2557 ถึง 10 มิถุนายน พ.ศ.2557)	28
4.7	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งหญ้าหวานด้วยเครื่อง อบแห้งลมร้อน ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว ที่ 50, 60,70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส	28
4.8	การเปลี่ยนแปลงความชื้นหญ้าหวานในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้ อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ ที่ 90 องศาเซลเซียส (30 นาที) และที่ 50 องศาเซลเซียส (550 นาที)	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหี่ยวหวนในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้ อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ ที่ 90 องศาเซลเซียส (50 นาที) และที่ 50 องศาเซลเซียส (310 นาที)	31
4.10	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหี่ยวหวนในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้ อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (310 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (30 นาที)	32
4.11	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหี่ยวหวนในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้ อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (670 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (50 นาที)	32
4.12	เหี่ยวหวนที่อบแห้งด้วยแสงอาทิตย์	35
4.13	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาเหี่ยวหวนสดและใบชาเหี่ยวหวนอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$)	36
4.14	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาเหี่ยวหวนสดและใบชาเหี่ยวหวนอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ในระบบ Munsell color system	36
4.15	ลักษณะสีปรากฏของเหี่ยวหวนสดและเหี่ยวหวนที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่ อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส	39
4.16	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาเหี่ยวหวนสดและใบชาเหี่ยวหวนอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50, 80 และ 50, 90 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$)	41
4.17	ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาเหี่ยวหวนสดและใบชาเหี่ยวหวนอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50, 80 และ 50, 90 องศาเซลเซียส ในระบบ Munsell color system	41
4.18	ลักษณะสีปรากฏของเหี่ยวหวนสดและเหี่ยวหวนที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่ อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.19	ลักษณะสีปรากฏของเหู้าหวานสดและเหู้าหวานที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส	42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

หญ้าหวาน หรือ สเตเวีย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Stevia rebaudiana* Bertoni อยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นพืชพื้นเมืองทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปารากวัยในทวีปอเมริกาใต้ ความพิเศษของหญ้าหวาน คือ ส่วนของใบให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลถึง 10-15 เท่า แต่ความหวานนี้ไม่ก่อให้เกิดพลังงานแต่อย่างใด (0 แคลอรี/กรัม) นอกจากนี้ยังมีสารสกัดที่เกิดจากหญ้าหวานชื่อว่า สตีวิโอไซด์ (stevioside) เป็นสารที่ให้ความหวานมากกว่า 200-300 เท่าของน้ำตาล ด้วยความพิเศษของหญ้าหวานนี้ หญ้าหวานจึงเป็นพืชที่ได้รับความสนใจทั้งทางด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ ยาสมุนไพร เครื่องดื่ม เป็นต้น มนุษย์รู้จักนำสารสกัดที่มีรสหวานจากหญ้าหวานมาบริโภคหลายศตวรรษแล้วโดยชาวพื้นเมืองในประเทศปารากวัย นำหญ้าหวานมาผสมกับเครื่องดื่ม เช่น ชา นอกจากนี้ชาญี่ปุ่นยังนำสารให้ความหวานมาผสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผักดอง ซึอิ้ว เต้าเจี้ยว เนื้อปลาบด เป็นต้น หญ้าหวานเริ่มเข้าสู่ประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2550 และปลูกกันมากในภาคเหนือ โดยเฉพาะที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และเชียงราย สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาให้มีการใช้สารสตีวิโอไซด์เพื่อการบริโภค หญ้าหวานจึงจัดอยู่ในพืชสมุนไพรอีกชนิดหนึ่ง (<http://th.wikipedia.org/wiki>) การอบแห้งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการถนอมผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น โดยการลดความชื้นหรือปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมี และทางชีวเคมี นอกจากนั้นการอบแห้งยังช่วยลดน้ำหนักหรือปริมาตรของผลิตภัณฑ์ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (ฤทธิชัย, 2556)

สิ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งในด้านความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค บางครั้งสีอาจใช้เป็นตัวชี้วัดในการคัดเลือกวัตถุดิบควบคุมขั้นตอนการผลิต และจัดแบ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร สีของคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งจะเป็นดัชนีการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดย 40 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคจะเลือกผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งที่มีสีสดใส (พิชิต และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตาม รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นและการเปลี่ยนแปลงสีของการอบแห้งหญ้าหวานด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณลักษณะการอบแห้งของหญ้าหวานเบื้องต้น และศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งหญ้าหวาน ด้วยวิธีการอบแห้งแบบต่างๆ เช่น การอบแห้งด้วย

วิธีแบบดั้งเดิม ด้วยวิธีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง, การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (single-stage drying temperature) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น (Multi-stage drying temperature) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น พลังงานเฉพาะที่ใช้ในการอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสี CIE (L^* - a^* - b^*) และระบบสี Munsell color system

โดยเมื่อโครงการวิจัยดังกล่าวได้ดำเนินตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้จะทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น (Multi-stage drying temperature) และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของเห็ดหลินจือ และสามารถพัฒนาเพื่อปรับปรุงข้อเสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจากแหล่งทุนภายนอกต่อไป โดยเป็นการดำเนินโครงการวิจัยต่อเนื่องจากโครงการดังกล่าว และเพิ่มส่วนของการวิเคราะห์เชิงเคมี เช่น การศึกษาผลกระทบของสภาวะในการอบแห้งต่ออัตราการสลายตัวของสารให้ความหวาน หรือ สารสตีวีโอไซด์ รวมถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งการดำเนินโครงการวิจัยในส่วนต่อเนื่องนี้จำเป็นต้องใช้ทุนวิจัยสูง จึงจำเป็นต้องขอยอดเพื่อขอรับการพิจารณาจากแหล่งทุนภายนอก อันเป็นแนวทางการดำเนินโครงการวิจัยเชิงรุกของหน่วยเทคโนโลยีการอบแห้งและลดความชื้น คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งสามารถต่อยอดสู่โครงการวิจัยการเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ของชาสมุนไพร (ชาเห็ดหลินจือ) และการผลิตน้ำชาจากเห็ดหลินจือ อันจะเป็นแนวทางในการส่งเสริมการนำผลงานวิจัยไปพัฒนาหรือใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการ เชิงนโยบาย เชิงสาธารณะ หรือเชิงพาณิชย์ รวมถึงองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร รวมทั้งนวัตกรรมด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน และเป็นแนวทางที่สำคัญอย่างยิ่งในการบูรณาการพัฒนางานวิจัยด้านเกษตรอินทรีย์ของคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำแห้งเหี่ยวหวานเพื่อรักษาสีด้วยการใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้นด้วยเครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณลักษณะการอบแห้งของเหี่ยวหวานเบื้องต้น

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งเหี่ยวหวาน ด้วยวิธีการอบแห้งแบบต่างๆ เช่น การอบแห้งด้วยวิธีแบบดั้งเดิม ด้วยวิธีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง, การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว (Single-stage drying temperature) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น พลังงานเฉพาะที่ใช้ในการอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสี CIE ($L^*-a^*-b^*$) และระบบสี Munsell color system

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานของคุณลักษณะการอบแห้งของใบชาเหี่ยวหวานเบื้องต้น ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้น ค่าความชื้นสมดุล ผลกระทบของค่าความชื้นสุดท้ายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ได้ข้อมูลเชิงวิศวกรรมของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณลักษณะการอบแห้งและจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบชาเหี่ยวหวานในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน ทั้งรูปแบบการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส (ที่ระดับความเร็วลมคงที่ ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และ ที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

1.3.2 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งใบชาเหี่ยวหวาน เพื่อรักษาค่าสีของการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว (Single-stage drying temperature) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) เพื่อเป็นประโยชน์สามารถรักษาค่าสีของใบชาเหี่ยวหวานอบแห้งให้คงไว้ทางโภชนาการและข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและทางด้านการตลาด

1.4 ขอบเขตของการทำโครงการ

1.4.1 ทดลองหาความชื้นเริ่มต้นของใบหญ้าหวาน และความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในการคำนวณสมดุลมวลและสมดุลความร้อนในระหว่างการทดลองอบแห้ง

1.4.2 ทำการทดลองการอบแห้งใบหญ้าหวานโดยการอบแห้งด้วยลมร้อน เพื่อหาอัตราการอบแห้งที่ โดยใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส (ที่ระดับความเร็วลมคงที่ ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที) และการอบแห้งด้วยการใช้ อุณหภูมิแบบสองขั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และ ที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส

1.4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการอบแห้งในการรักษาคุณภาพสีใบหญ้าหวานที่อบแห้งโดย ใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส (ที่ระดับความเร็วลมคงที่ ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลทั่วไปของหญ้าหวาน

หญ้าหวาน หรือ สเตเวีย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Stevia rebaudiana* Bertoni อยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นพืชพื้นเมืองทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปารากวัยในทวีปอเมริกาใต้ ต้นหญ้าหวานเริ่มเข้าสู่ประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2550 และปลูกกันมากในภาคเหนือ โดยเฉพาะที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และเชียงราย สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาให้มีการใช้สารสตีวิโอไซด์เพื่อการบริโภค หญ้าหวานจึงจัดอยู่ในพืชสมุนไพรอีกชนิดหนึ่ง



รูปที่ 2.1 ต้นหญ้าหวาน

ปัจจุบันหญ้าหวานจึงเป็นพืชที่ได้รับความสนใจทั้งทางด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ ยาสมุนไพร เครื่องดื่ม เช่น ชา นอกจากนี้ชาวญี่ปุ่นยังนำสารให้ความหวานมาผสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร (<http://th.wikipedia.org/wiki>)

2.2 ทฤษฎีการทำแห้งผักและผลไม้

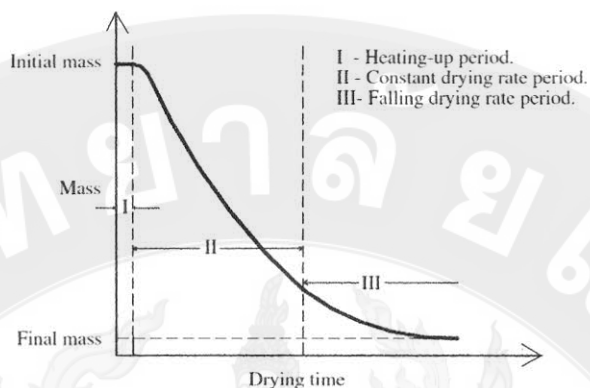
การอบแห้งเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการแปรรูปผลผลิตเกษตรเพื่อที่ยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตให้ยาวนานขึ้น ซึ่งจะช่วยรองรับปัญหาผลผลิตเกษตรล้นตลาดได้อีกทางหนึ่ง เทคโนโลยีการอบแห้งเป็นกระบวนการให้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมกับผลผลิตเกษตรที่มีความชื้นสูง เพื่อ

ลดปริมาณน้ำหรือความชื้นด้วยวิธีระเหยน้ำออกไป คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งจะขึ้นอยู่กับกลไกการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารในระหว่างกระบวนการอบแห้ง การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งจึงเป็นกุญแจสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด (อรรถิชัย, 2551) อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบการอบแห้งให้เหมาะสมกับเงื่อนไขที่ต้องการจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในด้านวิธีการอบแห้ง แหล่งพลังงานที่ใช้ และผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง

กลไกในการอบแห้งจะประกอบไปด้วยการให้ตัวกลางทางความร้อนเพื่อส่งถ่ายพลังงานความร้อนไปยังผลผลิตเกษตร จนปริมาณความชื้นในผลผลิตเกษตรระเหยและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวกลางทางความร้อนในรูปแบบของการแลกเปลี่ยนมวลสารและความร้อนในลักษณะต่างๆ ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านเทคนิคและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากการใช้เวลาในการอบแห้งนาน จะส่งผลเสียต่อคุณภาพของอาหารและผลิตภัณฑ์อบแห้ง ตลอดจนมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูง จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีความพยายามในการศึกษานวัตกรรมการให้ความร้อนด้วยวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้ง เพื่อลดข้อจำกัดต่างๆ ของการอบแห้งแบบดั้งเดิมด้วยลมร้อนและเพื่อพัฒนานวัตกรรมทางความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีอัตราการอบแห้งที่รวดเร็ว และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง จึงได้มีการศึกษาและวิจัยแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงในการถ่ายเทมวลและความร้อนในระหว่างกระบวนการอบแห้ง (อรรถิชัย, 2556)

Idris *et al.* (2001) อธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงมวลของผลผลิตเกษตรในระหว่างกระบวนการอบแห้งเป็น 3 คาบเวลา (รูปที่ 2.2) ได้แก่ คาบเวลาที่ 1 เกิดปรากฏการณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อนให้ผลผลิตเกษตรจนถึงอุณหภูมิของการระเหย หรือเรียกว่าการให้ความร้อนช่วงต้น (Heating up period) จากนั้นน้ำอิสระบริเวณผิวหน้าของผลผลิตเกษตรจะเกิดการระเหย โดยถ่ายเทมวลไปยังตัวกลางทางความร้อน เมื่อน้ำหรือความชื้นที่ผิวลดลง น้ำในโครงสร้างชั้นในเซลล์จะเคลื่อนที่มาแทนที่ผิวหน้าเพื่อทดแทนความชื้นที่เสียไป โดยที่อัตราการระเหยน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เรียกคาบเวลานี้ว่า คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ซึ่งจะดำเนินต่อเนื่องไปจนกระทั่งค่าความชื้นเข้าสู่ความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เกิดเป็นชั้นของความแห้ง (Drying front) กระบวนการอบแห้งจะเข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) กลไกการถ่ายเทมวลของการอบแห้งด้วยลมร้อนจะเริ่มจากการถ่ายเทพลังงานจากลมร้อนเพื่อทำให้ความชื้นที่ผิวหน้าเข้าสู่อุณหภูมิระเหย ส่วนความชื้นที่อยู่ภายในจะค่อยๆ แพร่กระจายมายังผิว โดยอัตราการแพร่กระจายความชื้นจะขึ้นอยู่กับศักยภาพของการ

ถ่ายเทความร้อนและความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อความชื้นลดลงจนเข้าสู่ค่าความชื้นวิกฤติ และชั้นความแห้งเกิดขึ้น ประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานจะลดต่ำลงอย่างมาก



รูปที่ 2.2 เส้นโค้งความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง
ที่มา: Idris *et al.* (2001)

การอบแห้งที่มีตัวกลางทางความร้อนเพื่อถ่ายเทพลังงานไปสู่ความชื้นภายในผลผลิต ส่งผลให้อัตราการแพร่ความชื้นลดต่ำลง จึงต้องใช้เวลายาวนานในการระเหยความชื้นจากชั้นในโครงสร้างเซลล์ จำเป็นต้องเพิ่มพลังงานมากขึ้น ซึ่งกลไกดังกล่าวเป็นข้อจำกัดของการอบแห้งด้วยลมร้อน ในขณะที่การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะเกิดการเหนี่ยวนำความร้อนของน้ำอิสระที่ชั้นผิวและภายในโครงสร้างเซลล์ เกิดเป็นไออย่างรวดเร็วโดยจะเกิดเป็นไวก่อนที่ความชื้นจะออกจากวัสดุ โดยเฉพาะหากผลผลิตเกษตรมีความชื้นเริ่มต้นสูงจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันเฉพาะส่วนของไอสุงมาก ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องทำให้ความชื้นเคลื่อนที่ออกจากวัสดุไปอย่างรวดเร็ว กรณีนี้เรียกว่าปรากฏการณ์ปั๊มของเหลว (Pumping effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันไอทำให้ของเหลวเคลื่อนที่สู่ผิวหน้าเซลล์โดยตรงโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงสถานะ (ผดุงศักดิ์, 2551)

2.3 วิธีการหาความชื้นตามมาตรฐาน

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลผลิตเมื่อเทียบกับมวลของผลผลิต ซึ่งโดยทั่วไปจะบอกได้ 2 แบบด้วยกัน คือ เมื่อเทียบกับมวลของผลผลิตขึ้นก็จะเรียกว่า ความชื้นในฐานเปียก เป็นความชื้นที่นิยมบอกในทางการค้าหรือการซื้อขายผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกร และเมื่อเทียบกับมวลของผลผลิตแห้งก็จะเรียกว่า ความชื้นในฐานแห้ง ซึ่งเป็นความชื้นที่นิยมใช้ในเอกสารวิชาการ เนื่องจากว่าน้ำหนักแห้งจะมีค่าคงที่เสมอไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการอบแห้ง ดังนั้นจึงง่ายในการอ้างอิง ซึ่งความชื้นทั้งสองมาตรฐานนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ความชื้นฐานเปียก (Wet basis)

$$MC_{wb} = \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of sample}} \dots\dots\dots(2.2)$$

ความชื้นฐานแห้ง (Dry basis)

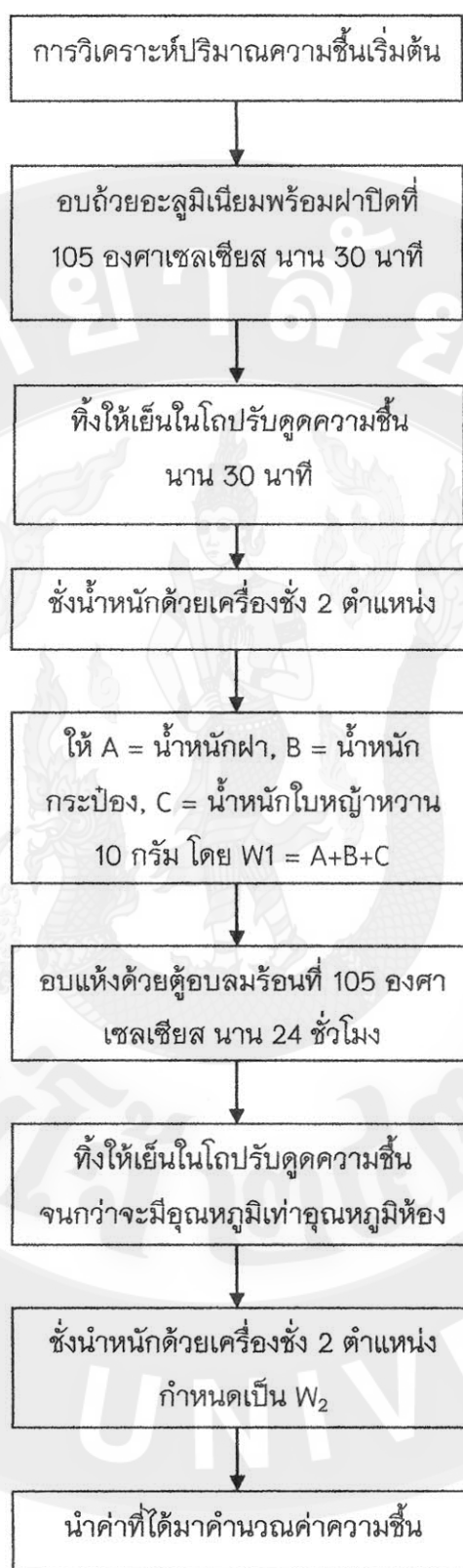
$$MC_{db} = \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry solids}} \dots\dots\dots(2.3)$$

เมื่อ MC_{wb} คือ ความชื้นฐานเปียก
 MC_{db} คือ ความชื้นฐานแห้ง

สำหรับหน่วยของความชื้นนั้นโดยทั่วไปทางการค้านิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนได้โดยการคูณด้วย 100 และตัวย่อด้านท้าย เปอร์เซ็นต์ d.b. หมายถึงฐานแห้ง และ เปอร์เซ็นต์ w.b. หมายถึงฐานเปียก บางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนความชื้นจากฐานหนึ่งสู่อีกมาตรฐานหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการซึ่งได้จากการแก้สมการสองสมการข้างต้น

$$MC_{wb} = \frac{MC_{db}}{MC_{db} + 1} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$MC_{db} = \frac{MC_{wb}}{1 - MC_{db}} \dots\dots\dots(2.5)$$



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงการคำนวณความชื้นเริ่มต้น

รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการหาค่าความชื้นเริ่มต้น ในการหาน้ำหนักของผลผลิตสุดท้ายเมื่อทราบความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย ในกรณีที่ทราบน้ำหนักเริ่มต้นของผลผลิตที่ต้องการอบแห้งสามารถหาน้ำหนักผลผลิตสุดท้ายได้จากสมการที่ 2.6

$$W_w = \frac{(M_i - M_f)W_i}{(100 - M_f)} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ M_f คือ ความชื้นสุดท้าย

M_i คือ น้ำหนักผลผลิตเริ่มต้นก่อนอบ

W_w คือ น้ำหนักน้ำที่ต้องการเอาออกจากผลผลิต

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น

W_f คือ น้ำหนักผลผลิตสุดท้ายหลังอบ

กรณีใช้น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้งที่ต้องการเป็นฐาน สมการที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่

$$W_w = \frac{(M_i - M_f)W_f}{(100 - M_i)} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

2.4 การอบแห้งแบบอุณหภูมิต่ำหลายชั้น

การทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำหลายชั้นเป็นแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการอบแห้งซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรที่มีราคาแพงหรือเทคโนโลยีทันสมัยมากนัก คือ การทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำหลายชั้น วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับเครื่องอบแห้งที่มีอยู่แล้วโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มเงินลงทุนใดๆ

วีรียา (2553) ได้สรุปบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำหลายชั้น โดยการทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำหลายชั้นเป็นการใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิในระดับแตกต่างกัน ช่วงแรกเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงต่อด้วยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำในชั้นที่สอง หรือเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำในชั้นแรกก่อนแล้วค่อยเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งในชั้นที่สอง กลไกการทำแห้งโดยทั่วไปเกิดจากการที่น้ำถูกระเหยออกจากอาหารโดยน้ำในอาหารได้รับความร้อน ทำให้น้ำหรือไอน้ำในอาหารเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าอาหารและระเหยไปกับกระแสอากาศร้อน อีกกลไกหนึ่ง คือ เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำในอาหารกับบริเวณผิวหน้าอาหารจึงทำให้อิอน้ำที่อยู่ในอาหารเคลื่อนที่มาสู่ผิวหน้าได้ ซึ่งสภาวะนี้ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารมาที่ผิวหน้าอาหารเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้า

อาหาร เรียกลักษณะนี้ว่า ช่วงของอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant drying rate period) โดยปัจจัยที่ควบคุมการดึงน้ำออกจากอาหาร คือ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และความเร็วของอากาศที่ใช้ในการทำแห้ง เป็นต้น เมื่อทำแห้งต่อไปจนกระทั่งถึงความชื้นในระดับหนึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารที่แพร่มาที่ผิวหน้าช้ากว่าอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าอาหาร ทำให้อัตราการทำแห้งลดลง ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงของอัตราการทำแห้งลดลง (Falling drying rate period) ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมอัตราการทำแห้งในช่วงนี้คือ การแพร่ของน้ำภายในอาหาร ดังนั้น จากหลักการของการทำแห้งนี้สามารถนำอธิบายการทำแห้งแบบอุณหภูมิหลายชั้นได้โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้อุณหภูมิสูงในชั้นตอนแรกและตามด้วยการใช้อุณหภูมิต่ำในชั้นสุดท้าย กล่าวคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงในชั้นแรกเป็นการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในอาหารให้สูงขึ้น ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และระเหยออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงความชื้นของอาหารลดลงจนถึงจุดวิกฤต อัตราการระเหยน้ำออกจากอาหารจะถูกควบคุมโดยการแพร่ของน้ำภายในอาหาร นอกจากนี้การที่อาหารได้สัมผัสกับอุณหภูมิสูงในชั้นแรกยังทำให้อาหารนั้นมีการสะสมความร้อนภายในอาหารซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ภายในอาหารเกิดการแพร่ออกมาด้านนอกอาหารได้มากกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิต่ำเพียงชั้นตอนเดียว

Ergünes and Trahan (2006) ศึกษาอัตราการทำแห้งพริกพันธุ์เรียวน์โดยการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน จะเห็นว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิหลายชั้น (70 องศาเซลเซียส ตามด้วย 50 องศาเซลเซียส) พบว่าในช่วงแรกอัตราการทำแห้งจะสูงมาก ซึ่งเหมือนกับการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงแบบขั้นเดียว (70 องศาเซลเซียส) และเมื่อเวลาผ่านไป อัตราการทำแห้งจะเริ่มลดลงเหมือนกับอัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แบบขั้นเดียว โดยจะเห็นว่าการใช้อุณหภูมิสูงแบบขั้นเดียว (70 องศาเซลเซียส) การใช้อุณหภูมิต่ำแบบขั้นเดียว หรือการใช้อุณหภูมิหลายชั้นนั้น อัตราการทำแห้งแตกต่างกันไม่มากนัก ณ ระดับปริมาณความชื้นต่ำกว่า 2.5 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมอาหารแห้ง สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Chua *et al.* (2001) ศึกษาการทำแห้งกล้วยโดยเปรียบเทียบการทำแห้งแบบอุณหภูมิหลายชั้นทั้งแบบอุณหภูมิลดลง (Step-down temperature) และแบบอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Step-up temperature) พบว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิลดลงมีอัตราการทำแห้งที่สูงกว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิขั้นเดียวในช่วงเวลาในช่วงแรกจนถึง 60 นาที และเมื่อเวลาในการทำแห้งผ่านไปอัตราการทำแห้งไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งแบบลดลงใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบอุณหภูมิขั้นเดียว และการทดลองการทำแห้งพริกและกล้วยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าสอดคล้องกับผลการทดลองของ Devahastin and Mujumdar (1999) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายอัตราการทำแห้งผลิตภัณฑ์กลุ่มเมล็ดพันธุ์ (Grain drying) แบบอุณหภูมิหลายชั้นพบว่าอัตราการทำแห้งสูงกว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิขั้นเดียว ซึ่งโดยทั่วไปในการทำแห้งกลุ่มเมล็ดพันธุ์นี้มีขั้นตอน Tempering เป็นผลให้น้ำที่อยู่ภายในเมล็ดพันธุ์เกิดการเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าของเมล็ดพันธุ์มากขึ้น และเมื่อนำเมล็ดพันธุ์มาทำแห้งอีกครั้งจะทำให้

น้ำที่บริเวณผิวหน้าเมล็ดพันธุ์เกิดการระเหยได้ ซึ่งส่งผลทำให้มีอัตราการทำแห้งที่สูง แต่สำหรับในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นไม่มีกระบวนการเทมเปอร์ริง (tempering) แต่ก็ยังพบว่าอัตราการทำแห้งไม่แตกต่างจากการใช้อุณหภูมิชั้นเดียวที่ระดับสูง อาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ไม่มีเปลือกแข็งเหมือนกลุ่มเมล็ดพันธุ์ จึงไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำมาที่ผิวหน้าอาหารเพื่อระเหยกลายเป็นไอสู่อากาศทำแห้งภายนอก ดังนั้นอัตราการดึงน้ำออกจากผักผลไม้ที่ไม่มีการเทมเปอร์ริงจึงน่าจะเกิดขึ้นได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มเมล็ดพันธุ์

การทำแห้งแบบอุณหภูมิหลายชั้นนั้นนอกจากเป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานแล้ว ยังพบว่าอาหารที่ผ่านการทำแห้งนั้นมีคุณภาพที่ดีกว่าการทำแห้งแบบอื่นๆ โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงตลอดทั้งช่วงการทำแห้ง มักพบว่าอาหารเกิดสีคล้ำขึ้นที่ผิวหน้าอาหาร และกรณีที่อาหารที่มีองค์ประกอบหรือสารสำคัญที่ไวต่ออุณหภูมิสูงเกิดการสูญเสียไป (วิริยา, 2553) หรือในบางกรณีที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะพบว่าอาหารมีลักษณะเป็นเปลือกแข็งเกิดขึ้นที่ผิวหน้าซึ่งส่งผลให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร โดยทั่วไปการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะเป็นการทำแห้งในช่วงของอัตราการทำแห้งลดลง ดังนั้น การใช้อุณหภูมิสูงในช่วงแรกและลดอุณหภูมิลงในช่วงสุดท้าย จึงถือว่าเพียงพอต่อการแพร่ของน้ำในอาหารได้ ทำให้เป็นผลดีต่ออาหารโดยยังคงคุณภาพดีทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิสูงหรือการใช้อุณหภูมิต่ำตลอดช่วงการทำแห้ง ดังตัวอย่างในการทำแห้งพริกพันธุ์หัวเรียว (Wiriya *et al.*, 2009) ที่พบว่าพริกมีสีคล้ำน้อยกว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิชั้นเดียว ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Chua *et al.* (2001) ที่พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยกึ่งการทำให้แห้งแบบอุณหภูมิหลายชั้นมีค่าน้อยกว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิชั้นเดียว

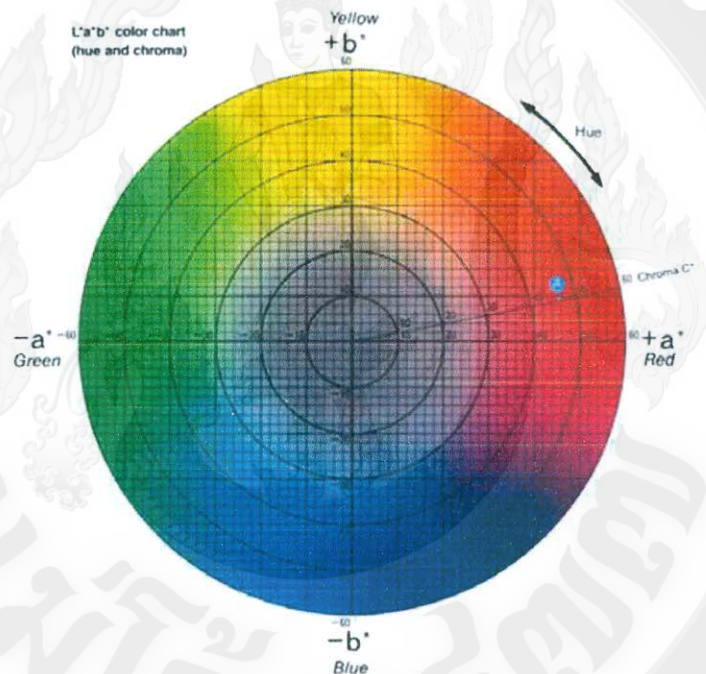
นอกจากนี้ยังมีการนำวิธีการทำแห้งอุณหภูมิหลายชั้นแบบอุณหภูมิลดลงไปใช้ในการทำแห้งลำไย พบว่า ลำไยที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีนี้มีสีเหลืองทองที่ดีกว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิชั้นเดียว โดยดูจากค่าความสว่าง (L^*) และค่า Hue angle (สุนิรัตน์, 2544) นั่นเป็นเพราะว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Non-enzymatic browning) นอกจากนี้ Davison *et al.* (2004) ได้นำเทคนิคการทำแห้งแบบนี้ไปใช้กับการทำแห้งโสม พบว่า สีของโสมที่ผ่านการทำให้แห้งแบบอุณหภูมิหลายชั้นมีค่าความสว่างที่ไม่แตกต่างจากการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว แต่พบว่าเวลาในการทำแห้งลดลง 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการทำแห้งอุณหภูมิต่ำแบบชั้นเดียว ข้อดีอีกอย่างของการทำแห้งแบบอุณหภูมิหลายชั้น คือ ยังคงปริมาณสารสำคัญหรือองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญไม่แตกต่างจากการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งแบบชั้นเดียวที่ระดับอุณหภูมิต่ำได้ การศึกษาของ Wiriya *et al.* (2009) พบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) ไม่แตกต่างกับการทำแห้งแบบอุณหภูมิชั้นเดียว เช่นเดียวกับปริมาณจินซีโนไซด์ทั้งหมดในโสม (Total ginsenoside) ที่มีปริมาณที่ไม่แตกต่างจาก

การใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้งโสม (Davison *et al.*, 2004) ซึ่งอาจเป็นเพราะการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งแบบหลายชั้นใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิสูงชั้นเดียว ทำให้สารสำคัญ โดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิกซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิและแสงกระตุ้นให้กรดแอสคอร์บิกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและมีปริมาณลดลง ถึงแม้ว่าจะมีการใช้อุณหภูมิที่ต่ำลงแล้วก็ตาม แต่ผลการทดลองนี้ไม่ตรงกับ Chua *et al.* (2000) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในมันฝรั่งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนอุณหภูมิแบบหลายชั้น พบว่า สามารถลดการสูญเสียวิตามินซีได้มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปได้ว่าวิธีการทำแห้งของ Chua *et al.* (2000) ซึ่งเป็นการใช้อุณหภูมิต่ำ (25–35 องศาเซลเซียส) โดยใช้บีบความร้อน ซึ่งแตกต่างจาก Wiriya *et al.* (2009) และ Chua *et al.* (2000) ที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและอุณหภูมิในการทำแห้ง 50–70 องศาเซลเซียส และ 38–50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

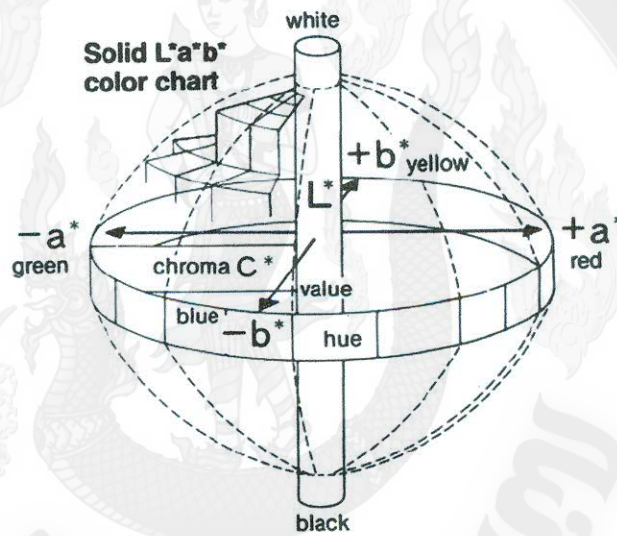
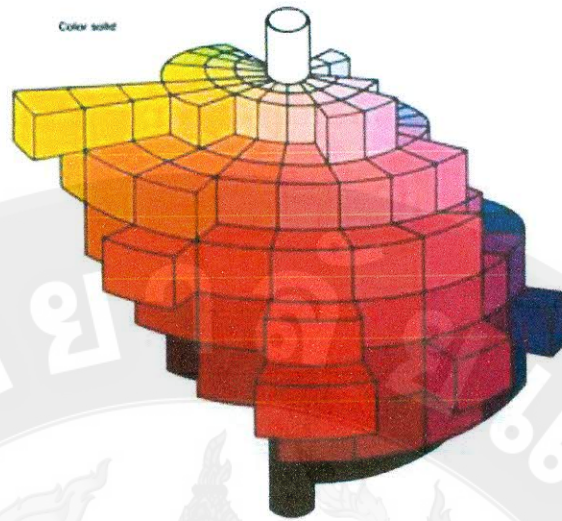
Pan *et al.* (1999) พบว่าการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งแบบหลายชั้น ทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนในแครอทมีปริมาณสูงกว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิชั้นเดียว เนื่องจากเบต้าแคโรทีนเป็นสารให้สีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ค่อนข้างคงตัวที่อุณหภูมิสูงและสารกลุ่มนี้อยู่ในเซลล์เนื้อเยื่อทำให้เซลล์เนื้อเยื่อห่อหุ้มและป้องกันสารเม็ดสีเหล่านี้ (Compartmentalized) ไม่ให้สัมผัสกับลมร้อนได้โดยตรง และอีกทั้งสารกลุ่มแคโรทีนอยด์เป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ ซึ่งการทำแห้งเป็นการระเหยน้ำออกจากอาหาร ดังนั้น สารกลุ่มนี้จึงไม่สูญเสียไปพร้อมกับน้ำที่ระเหยออกไป แต่อย่างไรก็ตาม การทำแห้งเป็นเวลานานมากเกินไปก็อาจทำให้สารกลุ่มแคโรทีนอยด์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เนื่องจากออกซิเจน แสง เอนไซม์ และจากการฉีกขาดของเซลล์

สีมีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งในด้านความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค บางครั้งสีอาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดในการคัดเลือกวัตถุดิบควบคุมขั้นตอนการผลิต และจัดแบ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ปัจจุบันนิยมใช้ระบบสีในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งด้วยมาตรฐานด้านสี คือ Commission International de l'Eclairage (CIE) ซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการ หรือระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* -value แสดงถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $(+L^*)$ คือ สีขาว ถึง $(-L^*)$ คือ สีดำ, a^* -value แสดงถึงแกนสีที่ไล่สีจากเขียว $(-a^*)$ ไปถึงสีแดง $(+a^*)$, b^* -value แสดงถึงแกนสีที่ไล่สีจากน้ำเงิน $(-b^*)$ ไปถึงสีเหลือง $(+b^*)$ และมาตรฐานระบบมุนเซล (Munsell color system) ระบบสีของมุนเซลเป็นระบบที่มีชื่อเสียงและได้รับนิยมสูงในการวัดค่าสีของผักและผลไม้ ซึ่งประกอบด้วย Hue-value เป็นสีที่สะท้อนมาจากสีของวัตถุ ซึ่งแตกต่างกันตามความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบวัตถุและสะท้อนกลับไปที่ตา ค่า Hue ในมุนเซล, ค่า value เป็นค่าที่ใช้บอกความมืดหรือความสว่าง และ Chroma เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มหรือความจางของสี (Saturation) ในสัดส่วนของสี (Hue) ที่มีอยู่ในสีเทา วัดค่าเปอร์เซ็นต์จาก 0 เปอร์เซ็นต์ (สีเทา) จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (ฉัตร, 2556) สีเป็นคุณสมบัติเชิงแสงที่สามารถใช้

บรรยายคุณลักษณะของวัตถุเกษตรได้ง่ายที่สุดวิธีหนึ่งในการอธิบายสีของวัตถุด้วยค่าพิกัดมาตรฐาน การบรรยายลักษณะสีอาจจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ลักษณะทางกายภาพของตา ผู้บรรยาย ลักษณะแสงที่ตกกระทบ เป็นต้น ดังนั้นการวัดและการบรรยายสีในเชิงวิชาการจึงต้องมีการ จัดมาตรฐานเพื่อเป็นการลดความไม่เป็นกลาง (Bias) ของผู้บรรยายสีของวัตถุนั้นในโครงการวิจัยนี้ใช้ การวัดค่าสีในระบบ $L^*a^*b^*$ ซึ่งเป็นระบบบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความ สว่าง (Lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสี จากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงสีแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE (รูปที่ 2.4 และ 2.5)



รูปที่ 2.4 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue และ Chroma
บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี



รูปที่ 2.5 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

เพื่อให้การดำเนินงานโครงการวิจัยของโครงการวิจัยการทำแห้งเหี่ยวหวานเพื่อรักษาสีด้วยการใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้น บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ จึงมีแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 คุณลักษณะการอบแห้งของเหี่ยวหวานเบื้องต้น

นำตัวอย่างเหี่ยวหวาน แยกใบและกิ่งออกจากกัน นำใบเหี่ยวหวานมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นเอาไปเข้าเครื่องเหวี่ยงจนแห้ง นำใบเหี่ยวหวานจำนวน 2.5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 ออนซ์ ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น นำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งด้วยลมร้อน (Memmert Model 500/108I) ที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (AOAC, 2010) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล (Sartorius Model CP2245) นำข้อมูลผลต่างของน้ำหนักใบเหี่ยวหวานก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้นของใบเหี่ยวหวานโดยมีสมการดังแสดงในสมการที่ (3.1)

$$MC = \frac{W_i - W_f}{W_f} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นของใบเหี่ยวหวาน (กรัมน้ำ ต่อ กรัมแห้ง) และ W_i , W_f คือ น้ำหนักเริ่มต้นของใบเหี่ยวหวานสด (กรัม) และน้ำหนักสุดท้ายของใบเหี่ยวหวาน (กรัม) ตามลำดับ

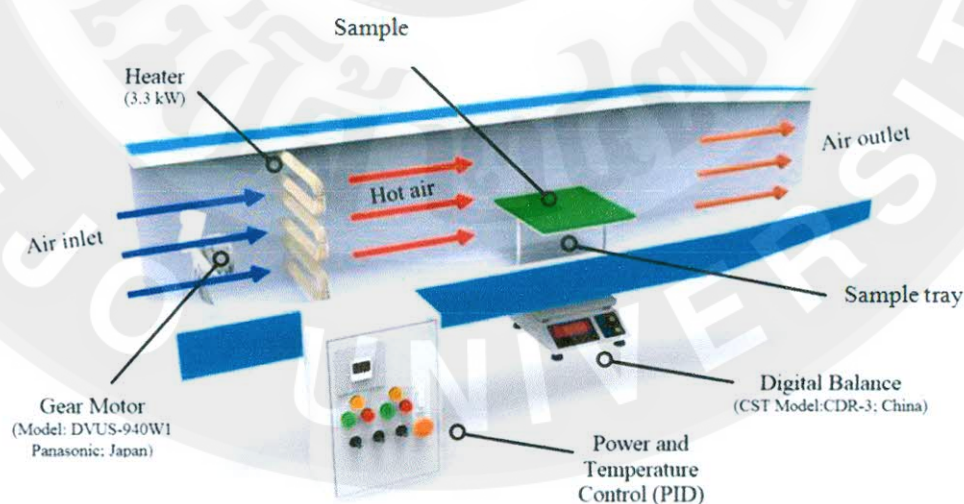
3.2 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งแบบดั้งเดิมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

นำตัวอย่างเหี่ยวหวาน แยกใบและกิ่งออกจากกัน นำใบเหี่ยวหวานมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นเอาไปเข้าเครื่องเหวี่ยงจนแห้ง นำใบเหี่ยวหวานจำนวน 1 กิโลกรัม ใส่ในตะแกรงสแตนเลส ขนาด 1×1 ตารางเมตร นำไปตากแห้งที่ลานตาก (ตั้งแต่เวลา 8.00 น.-18.00 น.) โดยในระหว่างวันนำตัวอย่างไปเก็บในโถดูดความชื้นระบบสุญญากาศก่อนนำไปอบแห้งในวันต่อไป ในระหว่างการอบแห้งนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาค่าความชื้นของใบเหี่ยวหวานโดยมีสมการดังแสดงในสมการที่ (3.1) โดยศึกษาการอบแห้งเหี่ยวด้วยการอบแห้งแบบดั้งเดิมด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์ จากความชื้นเริ่มต้นจนเหลือความชื้นสุดท้าย จากนั้นนำตัวอย่างหญ้าหวานแห้งบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์และปิดผนึก จากนั้นตัวอย่างไปตรวจวัดสีต่อไป

3.3 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature)

นำตัวอย่างหญ้าหวาน แยกใบและกิ่งออกจากกัน นำใบหญ้าหวานมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นเอาไปเข้าเครื่องเหวี่ยงจนแห้ง นำมาศึกษาอัตราการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดซึ่งถูกออกแบบและสร้างโดย สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ระบบสร้างลมร้อนซึ่งประกอบด้วยขดลวดไฟฟ้าขนาด 1.1 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด และพัดลมระบายอากาศ (ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น DVUS-940W1 ผลิตโดยประเทศญี่ปุ่น) ควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิระบบ PID (ยี่ห้อ TOHO รุ่น TTM J4/J5 ประเทศญี่ปุ่น) ถาดสำหรับวางตัวอย่างติดตั้งตาข่าย (ยี่ห้อ CST รุ่น CDR-3 ผลิตโดยประเทศจีน) สำหรับวัดและบันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของหญ้าหวานและบันทึกค่าผ่านจากช่องสัญญาณ RS-485 ซึ่งเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณและเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล จากนั้นนำหญ้าหวานที่มีน้ำหนักเริ่มต้นจำนวน 50 กรัม อบแห้งด้วยชุดทดสอบการอบแห้งแบบถาด (รูปที่ 3.1) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมคงที่ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที จากนั้นนำหญ้าหวานอบแห้งไปตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสี CIE ($L^* - a^* - b^*$) และระบบสี Munsell color system และเปรียบเทียบพลังงานเฉพาะในการอบแห้ง



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ขนาดห้องปฏิบัติการ

3.4 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature)

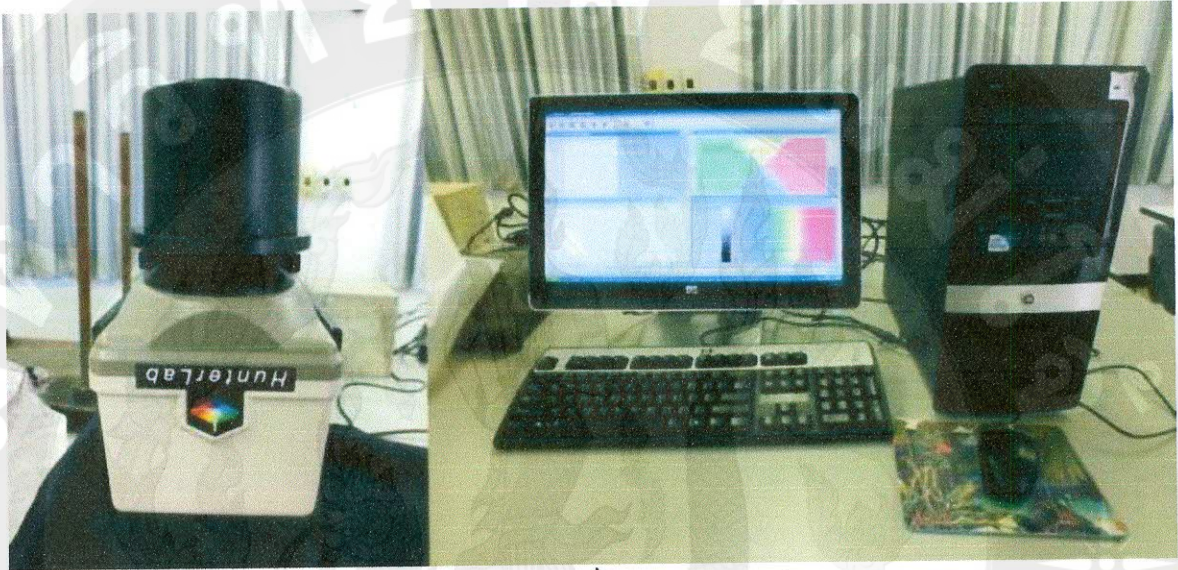
จากผลการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมคงที่ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที จะทำให้ทราบถึงเส้นโค้งความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและอัตราการอบแห้ง ซึ่งจะทำให้ทราบถึงช่วงของอัตราการแห้งคงที่ (Constant drying rate period) และช่วงของอัตราการแห้งลดลง (Falling drying rate period) จากนั้นศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำหญาหวานอบแห้งไปตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสี CIE (L^* - a^* - b^*) และระบบสี Munsell color system และเปรียบเทียบพลังงานเฉพาะในการอบแห้ง

3.5 เปรียบเทียบคุณภาพสีและพลังงานในการอบแห้งของหญาหวานอบแห้ง ทั้งในกลุ่มตัวอย่างหญาหวานอบแห้งด้วยวิธีและสภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ

นำตัวอย่างหญาหวานอบแห้ง ทั้งในกลุ่มตัวอย่างหญาหวานอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวอย่างหญาหวานที่อบด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และตัวอย่างหญาหวานอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และ ที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส ที่มีค่าความชื้นสุดท้าย 7.0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักเปียก) หรือประมาณ 0.075 กรัม/น้ำ ต่อ กรัมแห้ง มาวัดอัตราการใช้พลังงานเฉพาะในระหว่างการอบแห้ง (SEC: Specific energy consumption) ด้วยเครื่องวัดพลังงานรุ่น KM-07-A-2 (ZPrimus Company Limited, Thailand) และวัดค่าสีของหญาหวานด้วยเครื่องวัดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan XE PLUS) ครั้งละ 10 กรัม โดยวัดค่าสีในระบบ CIE-Lab scale ในรูปแบบของค่าความสว่าง/ความมืด (L^*) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^*) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) ของหญาหวานอบแห้งที่สภาวะต่างๆ โดยมีสมการความสัมพันธ์ตามที่แสดงในสมการที่ (3.2)

$$TCD = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2} \quad \text{.....(3.2)}$$

เมื่อ L_t^* , a_t^* และ b_t^* คือ ค่าพารามิเตอร์สีของหญ้าหวานอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่เวลาใด ๆ และ L_0^* , a_0^* และ b_0^* คือ ค่าพารามิเตอร์สีของหญ้าหวานสด



รูปที่ 3.2 เครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan XE PLUS)

อย่างไรก็ตามในระบบ CIE Lab นั้นไม่มีค่าในส่วนที่แสดงค่าของ Tristimulus value หรือ Chromaticity coordinate ตามที่ CIE ได้ตั้งไว้ในปี 1931 ดังนั้นทาง CIE จึงได้แปลงระบบ CIE Lab ให้เป็นระบบ Cylindrical coordinate อันจะทำให้การอธิบายสีเหมือนกับระบบดั้งเดิมโดย L^* จะแสดงค่า Lightness, C^* แสดงค่า Chroma, และ h แสดงค่า Hue angle โดยค่า L^* นั้นเหมือนกับ L^* ในระบบ $L^*a^*b^*$ color space สำหรับค่า C^* เริ่มจาก 0 ซึ่งเป็นค่าที่ศูนย์กลางและเพิ่มมากขึ้นตามระยะที่ห่างจากศูนย์กลางมากขึ้น สำหรับ h เป็นค่ามุมที่ทำกับแกน $+a^*$ โดยค่า 0 เท่ากับ $+a^*$ (red), ค่า 90 เท่ากับ $+b^*$ (Yellow), ค่า 180 เท่ากับ $-a^*$ (Green) และค่า 270 เท่ากับ $-b^*$ (Blue) ซึ่งค่า Chroma และ Hue angle สามารถคำนวณได้จากสมการ

สมการแสดงค่าที่แสดงความบริสุทธิ์ของสี คือ

$$Chroma = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{..... (3.3)}$$

Chroma เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มหรือความจางของสี (Saturation) ในสัดส่วนของสี (Hue) ที่มีอยู่ในสีเทา วัดค่าเปอร์เซ็นต์จาก 0 (สีเทา) จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเราเติมสีเทาลงไปสีใด ๆ สีนั้นจะอึมทึวน้อยลงจนในที่สุดกลายเป็นสีเทา

สมการแสดงค่ามุมของสีหลัก คือ

$$\text{Hue angle} = \tan^{-1}(b/a) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

Hue เป็นสีที่สะท้อนมาจากสีของวัตถุ ซึ่งแตกต่างกันตามความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบวัตถุและสะท้อนกลับมามีค่า Hue ในมุมเซล จึงเป็นชื่อเรียกชนิดของสี เช่น สีแดง, เขียว เป็นต้น



รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างหญ้าหวานด้วยเครื่องอบลมร้อน



รูปที่ 3.4 การเตรียมตัวอย่างหน้าหวานด้วยเครื่องอบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น
(Multi-stage drying temperature)

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งเหี่ยวหวานซึ่งเป็นพืชสมุนไพรที่นิยมบริโภคในประเทศไทย ที่สามารถนำไปต่อยอดในการอบแห้งเพื่อนำไปสกัดในอุตสาหกรรมอาหารเสริมและยาได้ ดังนั้นการศึกษาคูณลักษณะการอบแห้ง เพื่อหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อรักษาสีของเหี่ยวหวานอบแห้ง ตลอดจนสภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ การศึกษาคูณลักษณะการอบแห้งเบื้องต้นของใบเหี่ยวหวาน เช่น ค่าความชื้นเริ่มต้น ค่าความชื้นสมดุลที่สภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2010) จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ของคูณลักษณะการอบแห้งใบเหี่ยวหวานหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นหรืออัตราการถ่ายเทมวลสารออกจากกระบวนการอบแห้ง เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และ ที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเหี่ยวหวานอบแห้งที่สภาวะต่างๆ วัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของเหี่ยวหวาน และการศึกษาพลังงานในการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น และค่าความชื้นสมดุลของเหี่ยวหวาน

การวิเคราะห์คูณลักษณะการอบแห้งทางกายภาพเบื้องต้นของใบเหี่ยวหวาน จะทำการศึกษาค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2010) โดยการนำใบเหี่ยวหวานสด จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะเมาะ จังหวัดเชียงราย มาเด็ดใบเพื่อแยกใบและคัดขนาด นำไปล้างด้วยน้ำสะอาดจำนวน 3 ครั้ง และแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 2000 พีพีเอ็ม (ppm) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อฆ่าพยาธิที่ปนเปื้อนมากับใบเหี่ยวหวาน จากนั้นนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงไล่เจ้าออกจนแห้ง ผึ่งลมให้แห้ง บรรจุในถุงซิปล็อกแล้วนำไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ใบเหี่ยวหวานสดเกิดการปรับสภาพความชื้นให้เข้าสู่สภาวะสมดุล เป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างของผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพก่อนนำไปศึกษาค่าความชื้นเริ่มต้น ค่าความชื้นสมดุลที่สภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเหี่ยวหวาน สำหรับการทดลอง แสดงตามรูปที่ 4.1

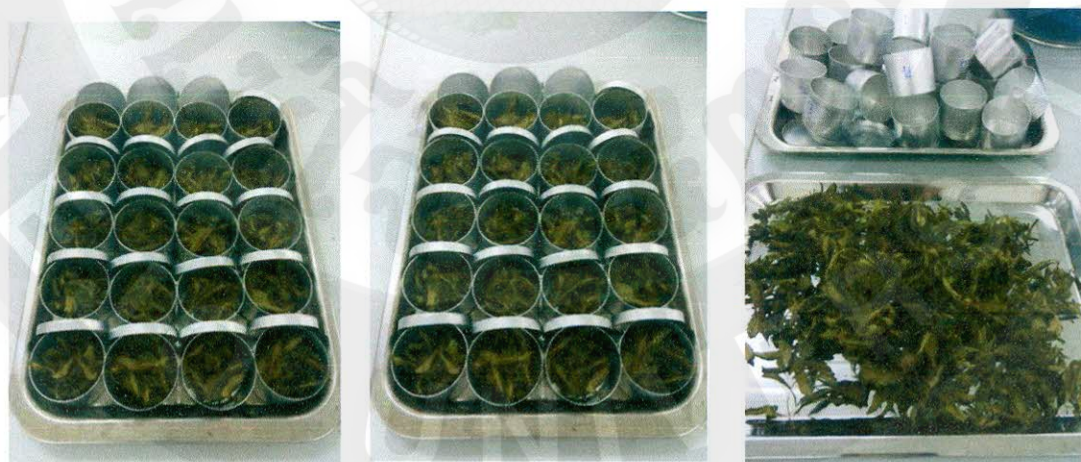


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างหญ้าหวาน สำหรับการทดลอง

นำใบหญ้าหวาน ไปหาค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีปรับสภาพสมดุลความชื้นของวัสดุทางการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dadali *et al.* (2007), Demirhan and Özbek (2009) และ Therdthai and Zhou (2009) และการหาความชื้นสมดุลจะใช้วิธีเชิงพลวัต (Dynamic methods) ซึ่งเป็นวิธีการปล่อยให้ใบหญ้าหวานสด สัมผัสกับอากาศแวดล้อม (50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเร็วลมคงที่ ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที) วิธีนี้จะเป็นการปรับสภาพของใบหญ้าหวาน ให้เกิดการถ่ายเทมวลความชื้นจนเข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อมจึงเหมาะกับวัสดุที่มีความชื้นสูงอย่างใบหญ้าหวาน การหาค่าความชื้นเริ่มต้น จากดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2010) และมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองตาม รูปที่ 4.2 และ 4.3 โดยใช้ตัวอย่างใบหญ้าหวาน จำนวน 2 กรัม และใช้ถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 ออนซ์ ทำการทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้นจำนวน 60 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ ตัวอย่าง เพื่อหาค่าความชื้นเริ่มต้น
ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)



รูปที่ 4.3 หยัาหวานอบแห้ง เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสมดุล ตามมาตรฐาน AOAC (2010)

จากผลการทดลองพบว่าความชื้นเริ่มต้นของใบหญ้าหวานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) และความชื้นสมดุลของใบหญ้าหวานอบแห้งด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ระดับความเร็วลมคงที่ 0.32 เมตรต่อวินาที มีค่าความชื้นสมดุลเท่ากับ 6.34 ± 0.17 , 5.54 ± 0.09 , 5.39 ± 0.02 และ 5.18 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 6.76 ± 0.21 , 5.86 ± 0.08 , 5.69 ± 0.12 และ 5.46 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว และการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์

การคำนวณหาความชื้นสุดท้ายของใบหญ้าหวานอบแห้ง การเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายสามารถคำนวณได้จากการทำสมดุลมวลสารโดยมีรายละเอียดดังนี้ มวลตัวอย่าง 50 กรัม, ความชื้นเริ่มต้น 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) จนเหลือความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) โดย M_f แทนมวลสุดท้าย

$$50 \times 73.96\% = (50 - M_f) + 7.00\% M_f$$

$$M_f = 4.75 \text{ กรัม}$$

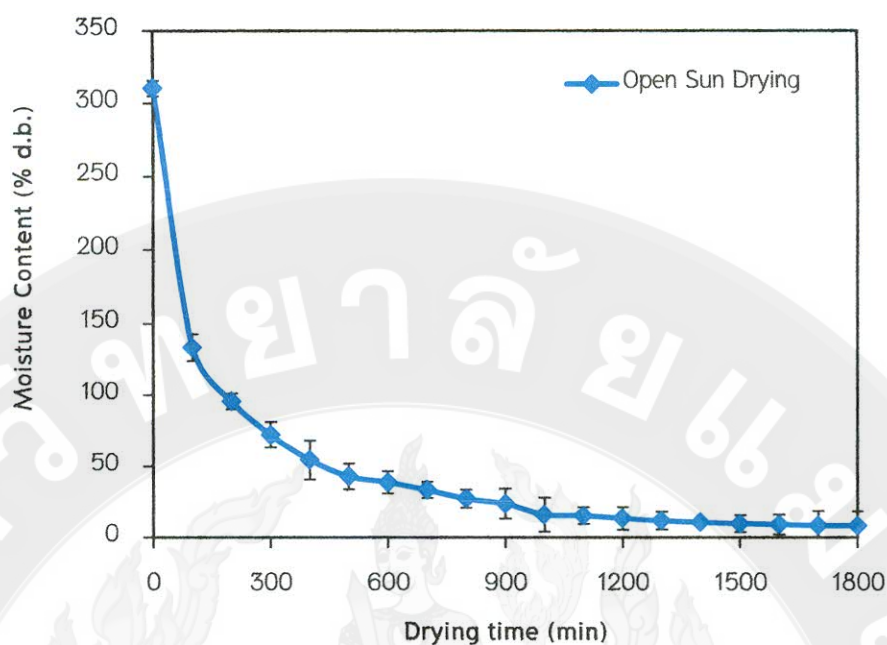
ความชื้นสุดท้ายของใบหญ้าหวานอบแห้งที่ความชื้น 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) มีน้ำหนักประมาณ 4.75 กรัม ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งแบบต่าง ๆ ของใบหญ้าหวานสามารถอธิบายจากค่าอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งเทียบกับเวลา โดยอบแห้งใบหญ้าหวานจากความชื้นเริ่มต้น 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) จนเหลือความชื้น 7.00 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักเปียก) หรือจากน้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม อบแห้งจนเหลือ น้ำหนักสุดท้าย 4.75 กรัม ใช้วิธีการอบแห้งด้วยการตากแสงอาทิตย์ในระบบเปิด (รูปที่ 4.4) และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด (รูปที่ 4.5) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเร็วลมคงที่ 0.32 เมตรต่อวินาที วัดค่าน้ำหนักหญ้าหวานที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 30 นาที และนำไปคำนวณเป็นค่าความชื้นที่เวลาใดๆ ในระหว่างการอบแห้ง นำค่าความสัมพันธ์ของความชื้นของหญ้าหวานที่เวลาใดๆ มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งจะแสดงตามรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



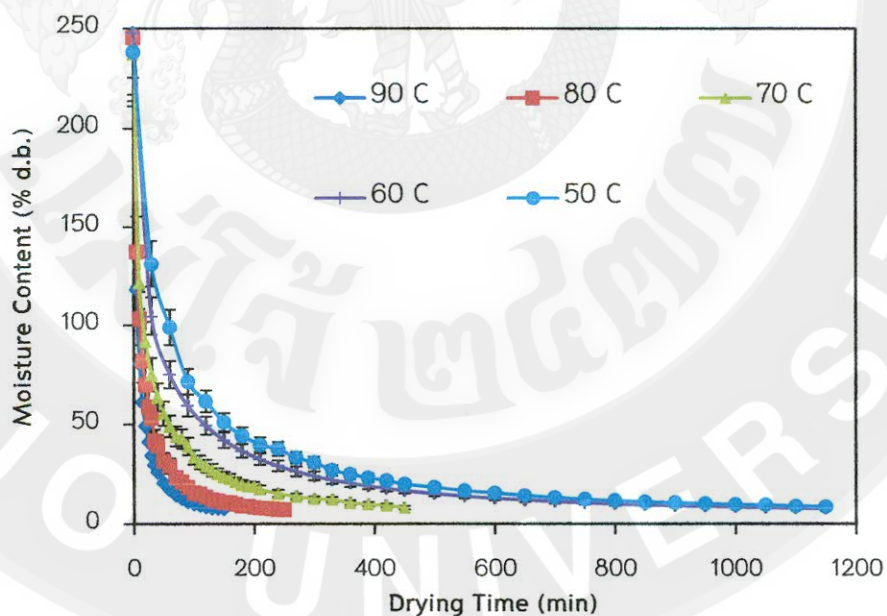
รูปที่ 4.4 การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.5 เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
(ทดลองระหว่างวันที่ 5 พ.ค. พ.ศ. 2557 ถึง 10 มิถุนายน พ.ศ.2557)



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งเหี่ยวหวานด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

การอบแห้งใช้วิธีการอบแห้งด้วยการตากแสงอาทิตย์ในระบบเปิด ในการอบแห้งใบชาหญาหวาน จาก ความชื้นเริ่มต้น 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) จนเหลือความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ใช้เวลาประมาณ 1,800 นาที โดยตากแสงอาทิตย์ในระบบเปิด ตั้งแต่เวลา 9.00 ถึง 18.00 น. จากนั้นนำตัวอย่างใบชาหญาหวานเก็บไว้ในโถดูดความชื้นในช่วง 18.00–8.00 น. ก่อนจะนำมาอบแห้งด้วยการตากแสงอาทิตย์ในระบบเปิดอีกครั้งในวันถัดไป บันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 100 นาที จากการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งของใบชาหญาหวาน มีค่า $(1.68 \pm 0.0047) \times 10^{-4}$ กรัม/น้ำ ต่อ กรัม_{แห้ง} นาที ในขณะการศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเร็วลมคงที่ ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที วัดค่าน้ำหนักหญาหวานที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 30 นาที พบว่าผลของอุณหภูมิในการอบแห้งจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ต่ออัตราการอบแห้งของใบชาหญาหวาน โดยมีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 18.91×10^{-4} , 20.85×10^{-4} , 47.74×10^{-4} , 103.19×10^{-4} และ 179.65×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม_{แห้ง} นาที ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ผลกระทบของอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น 10.25, 128.96, 116.14 และ 74.09 เปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิ 50 เป็น 60 องศาเซลเซียส, 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส, 70 เป็น 80 องศาเซลเซียส และ 80 เป็น 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มของอุณหภูมิในการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการอบแห้งมากที่สุด ในการอบแห้งใบชาหญาหวานด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด

4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ พบว่ามีอัตราการอบแห้งในช่วง 18.91×10^{-4} ถึง 179.65×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม_{แห้ง} นาที ของการอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว และใช้เวลาในการอบแห้งในช่วง 150–1,200 นาที ดังนั้นในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น ในการอบแห้งใบชาหญาหวานจาก ความชื้นเริ่มต้น 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) จนเหลือความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 สภาวะการทดลอง ได้แก่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น โดยได้แก่

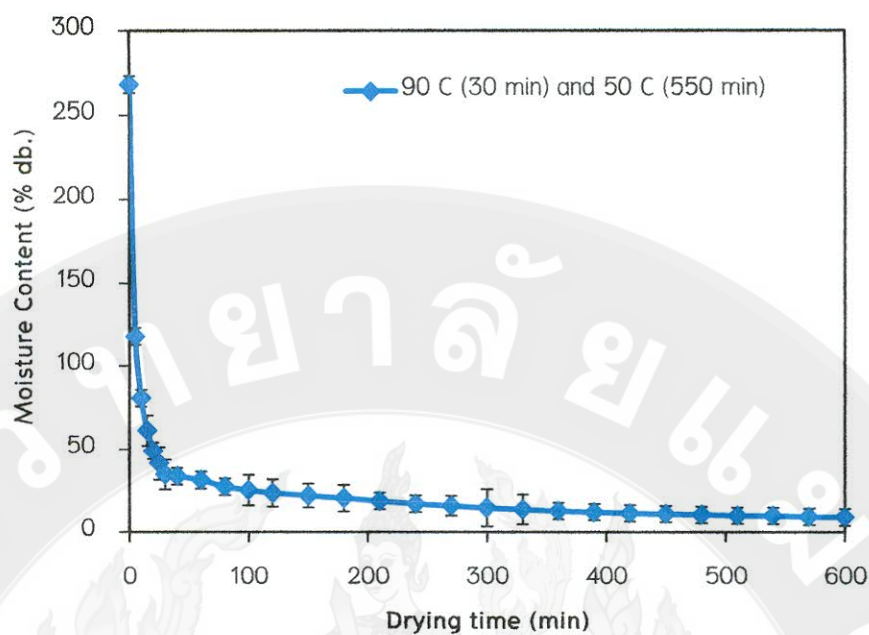
สภาวะการอบแห้งที่ 1: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที

สภาวะการอบแห้งที่ 2: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 310 นาที

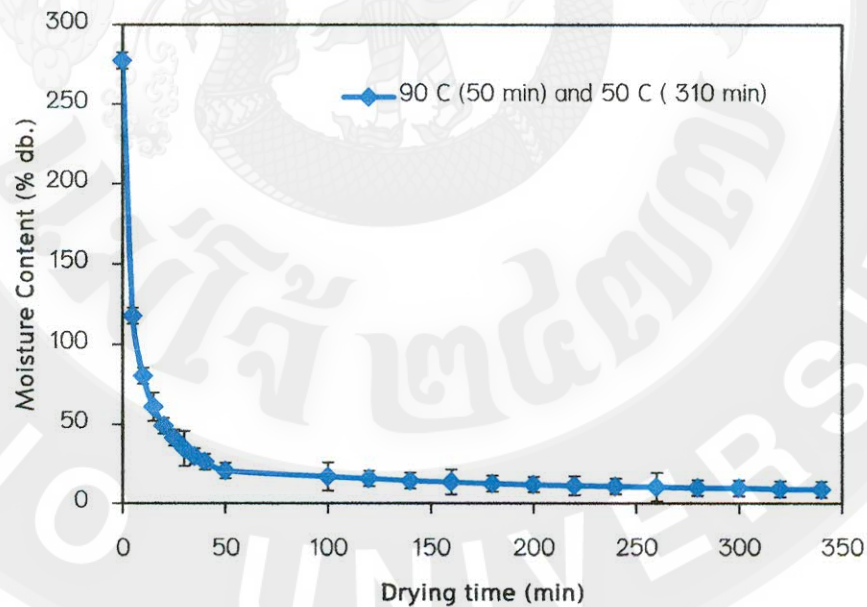
สภาวะการอบแห้งที่ 3: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 730 นาที

สภาวะการอบแห้งที่ 4: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 670 นาที

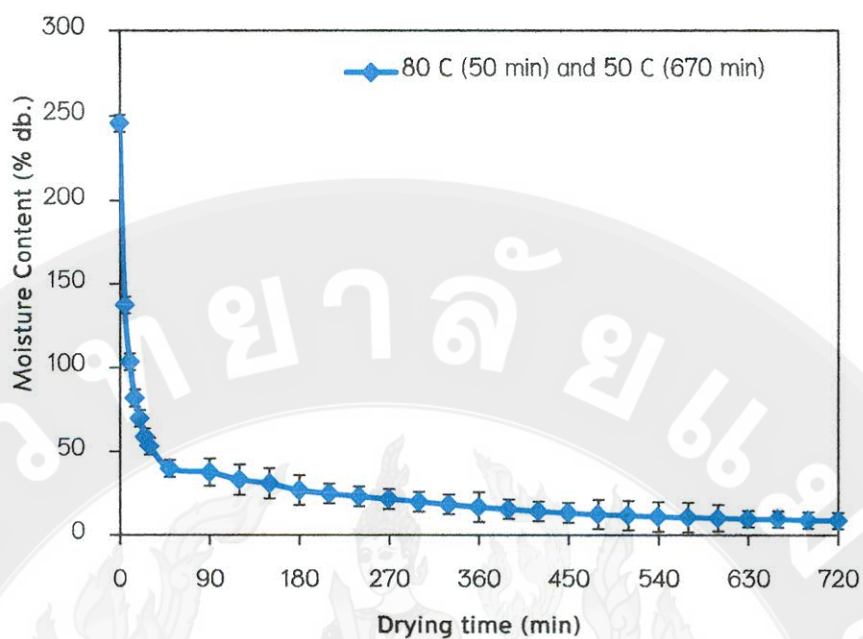
จากผลการศึกษาการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งที่ 1 ได้แก่ การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที พบว่าจะมีอัตราการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใบชาหญาหวานจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็ว ความชื้นเริ่มต้น 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) จนเหลือค่าความชื้นสุดท้ายที่ 34.71 ± 1.62 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) และนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที จนเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 600 นาที และอัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 43.135×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม/น้ำแห้ง นาที ในขณะที่การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งที่ 2 ได้แก่ การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 310 นาที พบว่าจะมีอัตราการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใบชาหญาหวานจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็ว จนเหลือค่าความชื้นสุดท้ายที่ 20.92 ± 0.85 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) และนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 310 นาที จนเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด ประมาณ 360 นาที และอัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 76.11×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม/น้ำแห้ง นาที



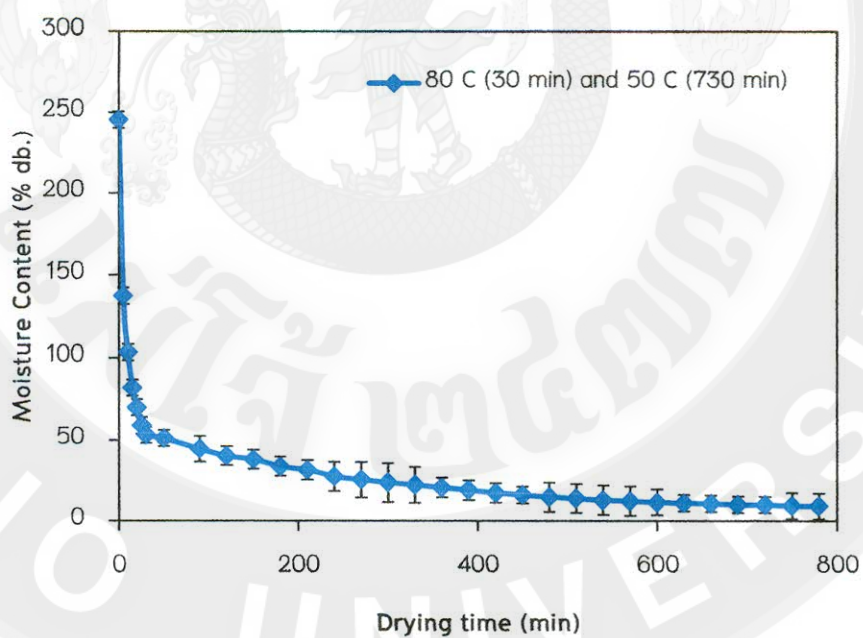
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหี่ยวหวนในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ ที่ 90 องศาเซลเซียส (30 นาที) และที่ 50 องศาเซลเซียส (550 นาที)



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหี่ยวหวนในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ ที่ 90 องศาเซลเซียส (50 นาที) และที่ 50 องศาเซลเซียส (310 นาที)



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหี่ยวหวนในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (310 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (30 นาที)



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหี่ยวหวนในระหว่างการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (670 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (50 นาที)

จากผลการศึกษาการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งที่ 3 ได้แก่ การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 730 นาที พบว่าจะมีอัตราการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใบชาหญาหวานจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) จนเหลือค่าความชื้นสุดท้ายที่ 53.28 ± 2.34 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) และนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 730 นาที จนเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 750 นาที และอัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 31.62×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม นน.แห้ง นาที ในขณะที่ การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งที่ 4 ได้แก่ การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 670 นาที พบว่าจะมีอัตราการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใบชาหญาหวานจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็ว จนเหลือค่าความชื้นสุดท้ายที่ 40.09 ± 1.58 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) และนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 670 นาที จนเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด ประมาณ 360 นาที และอัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 32.919×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม นน.แห้ง นาที

ดังนั้นสภาวะการอบแห้งด้วยการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 310 นาที มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามอัตราการอบแห้งไม่ใช่ปัจจัยหลักในการปรับปรุงการอบแห้ง ใบชาหญาหวาน ซึ่งต้องพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง และคุณภาพสีของใบชาหญาหวานอบแห้งต่อไป

4.4 การเปรียบเทียบคุณภาพสีหญาหวานอบแห้ง ด้วยวิธีการอบแห้งการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว และการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น

การอบแห้งเป็นหน่วยปฏิบัติการในการแปรรูปอาหาร (Unit operation in food processing) ที่นับได้ว่าเก่าแก่และมีความหลากหลายมาก (สั๊กมน, 2555) และเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน เนื่องจากมีค่าความชื้นต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหารได้เป็นอย่างดี (ฤทธิชัย และคณะ, 2554) วิธีการ

อบแห้งแบบดั้งเดิมนั้นมักใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนเพื่อให้แห้งซึ่งเป็นวิธีควบคุมการทำงานได้ง่ายและไม่ซับซ้อน สีของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งจะมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคอย่างมาก โดย 40 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคจะใช้สีของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งในการตัดสินใจซื้อ โดยการวิจัยในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของสภาวะการอบแห้งเหี่ยวหวาน ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส การศึกษาคุณภาพสีของใบเหี่ยวหวานอบแห้งด้วยการวัดค่าสีด้วยวิธีระบบสี CIE-Hunter และระบบสี CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell Color System โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ จากผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งใบเหี่ยวหวาน จากค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) จนเหลือความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) การศึกษาค่าสีของใบเหี่ยวหวานอบแห้งโดยวัดค่า L^* , a^* และ b^* หลังผ่านการอบแห้งแบบวิธีต่างๆ ได้แก่ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส (ที่ระดับความเร็วลมคงที่ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80°C และที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส วัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan XE PLUS)

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของเหี่ยวหวานอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

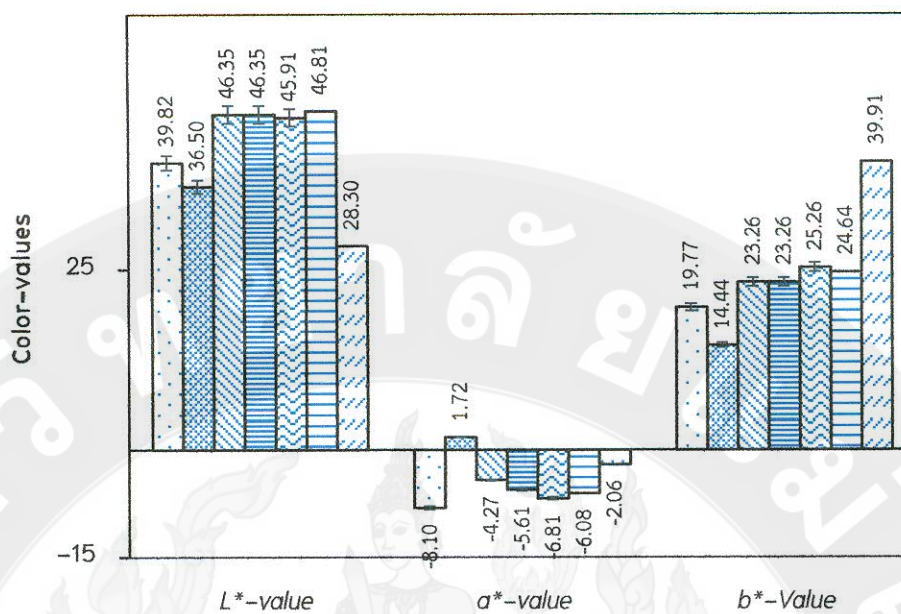
เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิม ได้แก่ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการตากแดด (Open sun drying system) โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเหี่ยวหวานที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการตากแดด จากความชื้นเริ่มต้น 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) จนเหลือความชื้นสุดท้าย 7.00 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีอัตราการอบแห้ง $(1.68 \pm 0.0047) \times 10^{-4}$ กรัม/น้ำ ต่อ กรัม น้ำหนักแห้ง นาที ในรูปแบบค่าสีในระบบ CIE- $L^*-a^*-b^*$ และระบบ Musell System มีค่าสีปรากฏ ตามที่แสดงในรูปที่ 4.12 มีค่าพารามิเตอร์สีรูปแบบของค่าความสว่าง/ความมืด (L^* -values) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^* - values) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^* - values) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) เท่ากับ 36.50 ± 3.41 , 1.72 ± 2.89 , 14.44 ± 0.87 และ 12.43 ± 2.67 ตามลำดับ



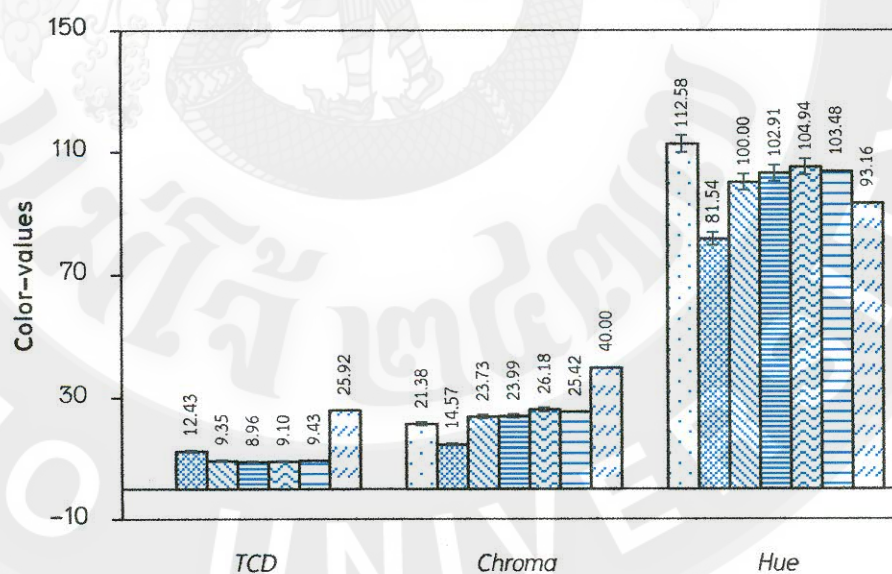
รูปที่ 4.12 หญาหวานที่อบแห้งด้วยแสงอาทิตย์

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของหญาหวานอบแห้งด้วยการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว

การเปลี่ยนแปลงสีของหญาหวานอบแห้งด้วยการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียวที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความสว่าง (L^* -values) ของใบหญาหวานสด และใบหญาหวานอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่า 39.82 ± 2.64 , 46.35 ± 2.56 , 46.35 ± 1.14 , 45.91 ± 2.38 , 46.81 ± 3.59 และ 28.30 ± 7.32 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานสดและใบชาหญาหวานอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$)



รูปที่ 4.14 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาหญาหวานสดและใบชาหญาหวานอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ในระบบ Munsell color system

ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^* - values) ของใบหญ้าหวานสด มีค่าเท่ากับ -8.10 ± 3.85 และใบหญ้าหวานอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่า -4.27 ± 2.12 , -5.61 ± 1.82 , -6.81 ± 0.94 , -6.08 ± 1.34 และ -2.06 ± 5.45 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าค่า a^* - values ของใบหญ้าหวานอบแห้งจะมีค่าลดลง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า a^* - values ของใบหญ้าหวานอบแห้งจะมีค่าใกล้เคียงกับสีของหญ้าหวานสดมากที่สุด ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^* - values) ของใบหญ้าหวานสด มีค่าเท่ากับ 19.77 ± 6.35 และใบหญ้าหวานอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่า -23.26 ± 2.12 , 20.26 ± 2.54 , 25.26 ± 1.12 , 24.64 ± 3.84 และ 39.91 ± 4.23 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าค่า a^* - values ของใบหญ้าหวานอบแห้งจะมีค่าลดลง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่า a^* - values ของใบหญ้าหวานอบแห้งจะมีค่าใกล้เคียงกับสีของหญ้าหวานสดมากที่สุด ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) ของใบหญ้าหวานอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่า 8.35 ± 2.12 , 8.96 ± 2.72 , 9.10 ± 2.38 , 9.43 ± 1.83 และ 25.32 ± 3.21 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าค่า TCD ของใบหญ้าหวานอบแห้งจะมีค่าลดลง และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่า TCD ของใบหญ้าหวานอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมที่น้อยที่สุด

ระบบ Musell System ซึ่งประกอบด้วยค่าสีล้วน (Hue-values) และค่าความสด (Chroma-values) ของใบหญ้าหวานสด มีค่าเท่ากับ 19.77 ± 6.35 และใบหญ้าหวานอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่า 100 ± 2.34 , 102.91 ± 4.31 , 104.94 ± 3.16 , 103.48 ± 0.95 และ 93.16 ± 2.54 ตามลำดับ และค่า Chroma-values ของใบหญ้าหวานอบแห้งจะมีค่า เท่ากับ 23.73 ± 1.92 , 23.99 ± 2.62 , 26.18 ± 2.48 , 25.42 ± 2.98 และ 40.00 ± 3.62 ตามลำดับ จากผลการวัดค่าสีในระบบ Musell System พบว่าค่าสีใบชาหญ้าหวานที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าสีล้วน และค่าความสดที่ดีกว่าค่าสีใบชาหญ้าหวานที่อุณหภูมิอื่นๆ และค่าสีในระบบ Musell System ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะมีค่าที่น้อยที่สุด

ผลกระทบของอุณหภูมิจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีหลังการอบแห้งอย่างชัดเจน จะพบว่าค่าความสว่าง (L^* - values) ของใบหญ้าหวานอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างมากกว่าใบหญ้าหวานอบแห้งที่ 50, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากใบชาหญ้าหวานอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสจะสัมผัสอากาศร้อนเป็นเวลานานส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (o-diphenol) ถึงแม้ว่าใบหญ้าหวานอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส จะใช้ตัวกลางอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าสภาวะอื่น ๆ แต่ทำให้ใบหญ้าหวานสัมผัสกับออกซิเจนเป็นเวลานาน ส่งผลทำให้เร่งปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์ PPO กับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล สอดคล้องกับงานวิจัยของ Therdthai and Zhou (2009) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของใบชาหญ้าหวานอบแห้ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลานานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเช่นเดียวกัน รวมทั้งผลงานวิจัยของ ฤทธิชัย และคณะ (2554) ซึ่งศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกทับทิมอบแห้งด้วยลมร้อน ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 -90 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างต่ำเนื่องจากใบหญ้าหวานได้รับความร้อนมากเกินไปส่งผลทำให้มีการสูญเสีย น้ำ มีการสลายตัว (Degradation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) ของหมู่อะมิโนกับสารประกอบรีดิวซิง พัฒนาการเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนเป็นสีน้ำตาลแดง ดังนั้นสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการรักษาค่าความสว่างของใบหญ้าหวานอบแห้งที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^* -values) จะเป็นค่าสีที่สามารถบ่งบอกถึงอัตราการสลายตัวของรงควัตถุ หรือปริมาณคลอโรฟิลล์ที่หลงเหลือของใบหญ้าหวานอบแห้งในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งค่าความเป็นสีแดงทั้งหมดและอาจบ่งบอกอัตราการสูญเสียรงควัตถุหรือคลอโรฟิลล์ในการอบแห้งใบหญ้าหวานด้วยลมร้อนอย่างมาก รวมทั้งผลกระทบการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งที่เร่งด้วยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ ในขณะที่ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) ของใบชาหญ้าหวานที่อุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติผ่านโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 19.0 โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแปรปรวนแบบทางเดียว



ใบหญ้าหวานสด



ใบหญ้าหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ
50 องศาเซลเซียส



ใบหญ้าหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ
60 องศาเซลเซียส



ใบหญ้าหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ
70 องศาเซลเซียส



ใบหญ้าหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ
80 องศาเซลเซียส



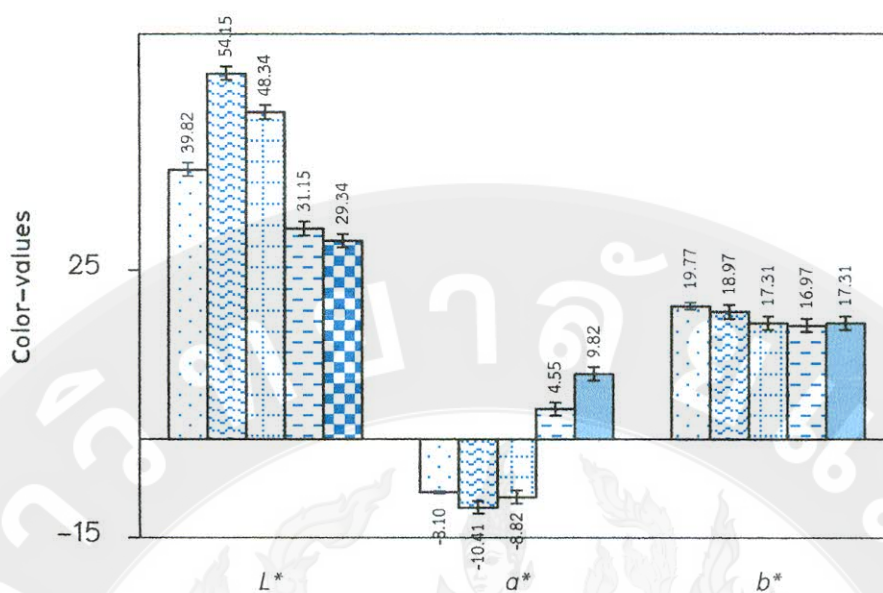
ใบหญ้าหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ
90 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.15 ลักษณะสีปรากฏของหญ้าหวานสดและหญ้าหวานที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ
50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

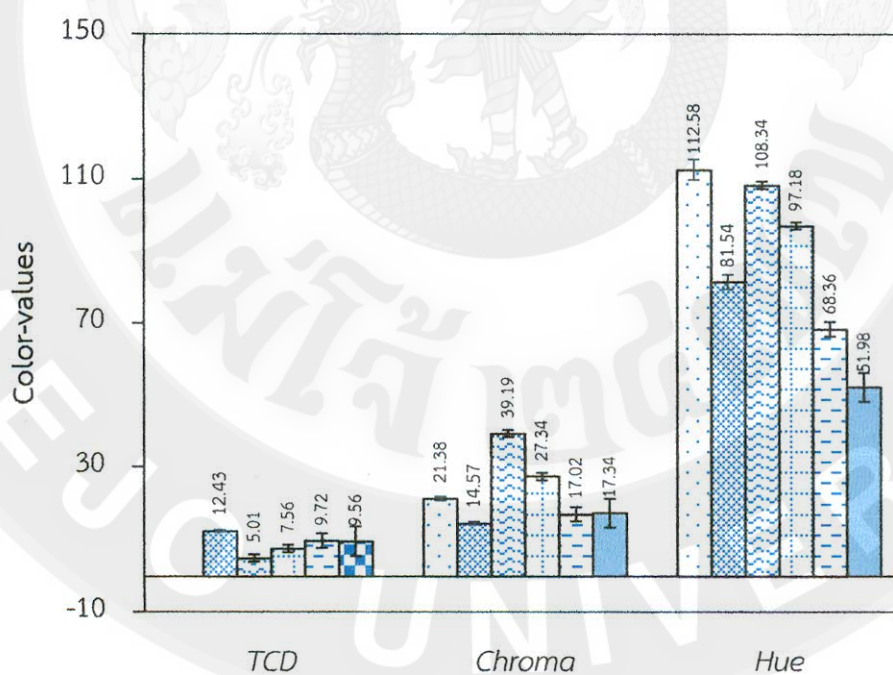
4.4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของหย้าหวานอบแห้งด้วยการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น

จากผลการศึกษาค่าสีปรากฏของการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่ช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 310 นาที ซึ่งมีอัตราการอบแห้ง เท่ากับ 43.135×10^{-4} กรัม_{น้ำ}/ต่อกรัม_{หน.แห้ง} นาที พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง หรือพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption: SEC) เป็นค่าที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและสำหรับการวิเคราะห์พลังงาน โดยใช้พลังงานในการอบแห้งเท่ากับ 161.5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม_{น้ำ}ที่ระเหยในระหว่างการอบแห้ง และ ค่าสีในระบบ CIE- $L^*-a^*-b^*$ ในรูปแบบของค่าความสว่าง/ความมืด (L^* -values) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^* -values) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^* - values) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) เท่ากับ 31.15 ± 1.18 , 4.55 ± 2.25 , 16.97 ± 2.37 และ 9.72 ± 2.65 ตามลำดับ และระบบ Musell System มีค่าสี Hue-value และ Chroma เท่ากับ 17.02 ± 4.32 และ 68.36 ± 1.54 ค่าสีปรากฏของการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่ช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที ซึ่งมีอัตราการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 76.11×10^{-4} กรัม_{น้ำ}/ต่อกรัม_{หน.แห้ง} นาที โดยใช้พลังงานในการอบแห้งเท่ากับ 142.35 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม_{น้ำ}ที่ระเหยในระหว่างการอบแห้ง และ ค่าสีในระบบ CIE- $L^*-a^*-b^*$ ในรูปแบบของค่าความสว่าง/ความมืด (L^* -values) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^* - values) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^* - values) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) เท่ากับ 29.34 ± 2.51 , 9.82 ± 1.15 , 17.31 ± 1.47 และ 9.56 ± 1.57 ตามลำดับ และระบบ Musell System มีค่าสี Hue-value และ chroma เท่ากับ 17.34 ± 2.35 และ 51.98 ± 2.05

ค่าสีปรากฏของการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่ช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที ซึ่งมีอัตราการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 31.62×10^{-4} กรัม_{น้ำ}/ต่อกรัม_{หน.แห้ง} นาที โดยใช้พลังงานในการอบแห้งเท่ากับ 89.64 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม_{น้ำ}ที่ระเหยในระหว่างการอบแห้ง และ ค่าสีในระบบ CIE- $L^*-a^*-b^*$ ในรูปแบบของค่าความสว่าง/ความมืด (L^* -values) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^* - values) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^* - values) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) เท่ากับ 31.15 ± 1.83 , -10.41 ± 1.99 , 18.97 ± 1.47 และ 5.01 ± 0.84 ตามลำดับ และระบบ Musell System มีค่าสี Hue-value และ Chroma เท่ากับ 39.19 ± 2.36 และ 100.87 ± 4.25



รูปที่ 4.16 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มและใบชาห่อหุ้มอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50, 80 และ 50, 90 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$)



รูปที่ 4.17 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มและใบชาห่อหุ้มอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50, 80 และ 50, 90 องศาเซลเซียส ในระบบ Munsell color system



ใบหญ้าหวานสด



50 องศาเซลเซียส (730 นาที)

80 องศาเซลเซียส (30 นาที)



50 องศาเซลเซียส (670 นาที)

80 องศาเซลเซียส (50 นาที)

รูปที่ 4.18 ลักษณะสีปรากฏของหญ้าหวานสดและหญ้าหวานที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80°C



ใบหญ้าหวานสด



50 องศาเซลเซียส (310 นาที)

90 องศาเซลเซียส (30 นาที)



50 องศาเซลเซียส (550 นาที)

90 องศาเซลเซียส (50 นาที)

รูปที่ 4.19 ลักษณะสีปรากฏของหญ้าหวานสดและหญ้าหวานที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส

ค่าสีปรากฏของการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ที่สภาวะการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่ช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที ซึ่งมีอัตราการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 32.92×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัมแห้ง นาที โดยใช้พลังงานในการอบแห้งเท่ากับ 111.4 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหยในระหว่างการอบแห้ง และ ค่าสีในระบบ CIE-L*-a*-b* ในรูปแบบของค่าความสว่าง/ความมืด (L*-values) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a*-values) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b*-values) และค่า

ความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) เท่ากับ 48.34 ± 2.67 , -8.82 ± 1.77 , 17.31 ± 2.34 และ 7.56 ± 2.34 ตามลำดับ และระบบ Musell System มีค่าสี Hue-value และ Chroma เท่ากับ 27.34 ± 1.48 และ 97.18 ± 1.64 สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ในการรักษาสีของการอบแห้งใบชาห่อหุ้มที่ช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที แม้ว่าจะมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 31.62×10^{-4} กรัม/นาฬิกา ต่อกรัม_{แห้ง} นาที โดยใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ และให้ค่าสีที่ดีกว่าทั้งในระบบ CIE-L* $-a^*-b^*$ และระบบ Musell System



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการทดลองการศึกษารักษาสีเหี่ยวแห้งของใบชาเหี่ยวแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้น และผลของอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการรักษาสีของใบชาเหี่ยวแห้ง โดยการอบแห้งแบบชั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส (ที่ระดับความเร็วลมคงที่ ที่ 0.32 เมตรต่อวินาที) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 50 และ 90 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งดั้งเดิม โดยวิธีการตากแดดด้วยแสงอาทิตย์ จากผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและคุณลักษณะการอบแห้งของใบชาเหี่ยวแห้ง พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของใบชาเหี่ยวแห้งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 73.96 ± 2.41 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 523.44 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) และความชื้นสมดุลของใบชาเหี่ยวแห้งด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ระดับความเร็วลมคงที่ 0.32 เมตรต่อวินาที มีค่าความชื้นสมดุลเท่ากับ 6.34 ± 0.17 , 5.54 ± 0.09 , 5.39 ± 0.02 และ 5.18 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักเปียก) หรือ 6.76 ± 0.21 , 5.86 ± 0.08 , 5.69 ± 0.12 และ 5.46 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

การทดลองการอบแห้งใบชาเหี่ยวแห้งโดยการอบแห้งด้วยลมร้อน เพื่อหาอัตราการอบแห้งที่ โดยใช้อุณหภูมิแบบชั้นเดียว (Single-stage drying temperature) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส (ที่ระดับความเร็วลมคงที่ 0.32 เมตรต่อวินาที) มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 18.91×10^{-4} , 20.85×10^{-4} , 47.74×10^{-4} , 103.19×10^{-4} และ 179.65×10^{-4} กรัม น้ำ ต่อ กรัม น้ำหนักแห้ง นาที ตามลำดับ ในขณะที่ผลกระทบของอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น 10.25, 128.96, 116.14 และ 74.09 เปอร์เซ็นต์ ของการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิ 50 เป็น 60 องศาเซลเซียส, 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส, 70 เป็น 80 องศาเซลเซียส และ 80 เป็น 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มของอุณหภูมิในการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการอบแห้งมากที่สุด

การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ต่้อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น

สภาวะการอบแห้งที่ 1: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นในช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 43.14×10^{-4} กรัม น้ำ ต่อ กรัม น้ำหนักแห้ง นาที

สภาวะการอบแห้งที่ 2: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่ช่วงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 310 นาที มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 76.11×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม_{แห้ง} นาที

สภาวะการอบแห้งที่ 3: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่ช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 730 นาที มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 31.62×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม_{แห้ง} นาที

สภาวะการอบแห้งที่ 4: การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้นที่ช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 670 นาที มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 32.91×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม_{แห้ง} นาที

ผลการศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งหญ้าหวาน ด้วยวิธีการอบแห้งแบบต่างๆ เช่น การอบแห้งด้วยวิธีแบบดั้งเดิม ด้วยวิธีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง การอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว (Single-stage drying temperature) และการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น (Multi-stage drying temperature) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น พลังงานเฉพาะที่ใช้ในการอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสี CIE ($L^*-a^*-b^*$) และระบบสี Munsell color system พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบสองชั้น ในการรักษาสีของการอบแห้งใบชาหญ้าหวาน ที่ช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 550 นาที ซึ่งมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 31.62×10^{-4} กรัม/น้ำ ต่อ กรัม_{แห้ง} นาที โดยใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ และให้ค่าสีที่ดีกว่าทั้งในระบบ CIE- $L^*-a^*-b^*$ และ Musell System มีค่าความสว่าง/ความมืด (L^* -values) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^* - values) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^* - values) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (TCD) เท่ากับ 31.15 ± 1.83 , -10.41 ± 1.99 , 18.97 ± 1.47 และ 5.01 ± 0.84 ตามลำดับ และระบบ Musell System มีค่าสี Hue-value และ Chroma เท่ากับ 39.19 ± 2.36 และ 100.87 ± 4.25 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

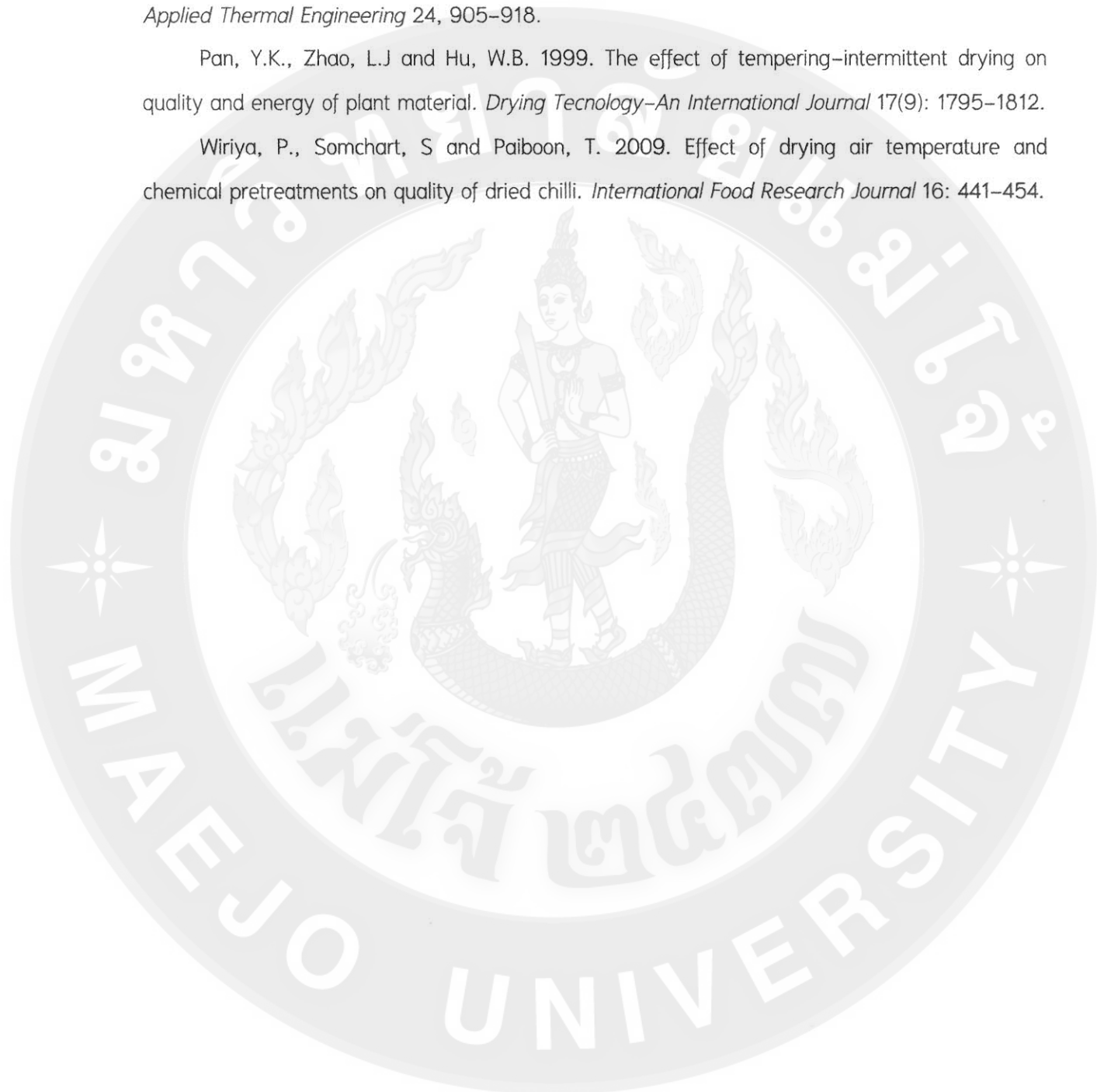
- ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2551. พื้นฐานการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
- พิชิต สอนทย, วิโรจน์ ไข่มุขเลิศฤทธิ์ และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2556. ผลกระทบของระดับคลื่นไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงสีของการอบแห้งขมิ้นชัน. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2 ณ โรงแรมวินเซอร์ สวีทส์ สุขุมวิท กรุงเทพฯ. ในวันที่ 30 สิงหาคม 2556
- วิริยา พรหมกอง. 2553. การทำแห้งผักผลไม้ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้น. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย* 16(1): 53-58.
- ลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพฯ: ท้อป.
- ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2556. จลนพลศาสตร์การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. *วารสารวิชาการ Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences* 14(2): 13-22.
- สุนิย์รัตน์ ดุ้ยดา. 2544. การอบแห้งลำไยแบบแกะเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อัจฉรา ถลวิทยาคูณ. 2556. การทดลองอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- อรรถพล นุ่มหอม และ ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2551. กระบวนการอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร. *Food Focus Thailand Magazine* 3(25): 21- 25.
- AOAC. 2010. Official Methods of Analysis. 18th Edn., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC., USA.
- Chua, K.J., Chou, S.K., Ho, J.C., Mujumdar, A.S and Hawlader, M.N.A. 2000. Cyclic air temperature drying of guava piece: Effects on moisture and ascorbic acid contents. *Trans IChenE* 78(C): 72-78.
- Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Hawlader, M.N.A and Ho, J.C. 2001. Convective drying of agricultural product. Effect of continuous and stepwise change in drying temperature. *Drying Technology* 19(8): 1949-1960.
- Davidson, V.J., Li, X and Brown, R.B. 2004. Forced-air drying of ginseng roots: 2. Control strategy for three-stage drying process. *Journal of Food Engineering* 63: 369-373
- Devahastin, S and Mujumdar, A.S. 1999. Batch drying of grains in a well-mixed dryer-effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. *Transactions of the ASAE*. 42: 421-425.

Ergünes, G and Trahan, S. 2006. Color retention of red peppers by chemical pretreatment during greenhouse and open sun drying. *Journal of Food Engineering* 52: 135–141.

Idris A., Khalid K. and Omar W. 2001. Drying of silica sludge using microwave heating. *Applied Thermal Engineering* 24, 905–918.

Pan, Y.K., Zhao, L.J and Hu, W.B. 1999. The effect of tempering–intermittent drying on quality and energy of plant material. *Drying Technology–An International Journal* 17(9): 1795–1812.

Wiriya, P., Somchart, S and Paiboon, T. 2009. Effect of drying air temperature and chemical pretreatments on quality of dried chilli. *International Food Research Journal* 16: 441–454.



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาความชื้นเริ่มต้นของใบชาหญาหวานสด การเปลี่ยนแปลงความชื้นใน
ระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และการเปลี่ยนแปลงความชื้น
ในระหว่างการอบแห้งหญาหวานด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน
ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์หาความชื้นเริ่มต้นของใบชาห่อหุ้มพลาสติก

ลำดับการ ทดลอง	นน.ของแข็ง	นน.น้ำ	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (น้ำหนักเปียก)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (น้ำหนักแห้ง)
1	2.80	6.75	70.68	241.07
2	2.60	6.15	70.29	236.54
3	2.60	4.20	61.76	161.54
4	2.50	5.50	68.75	220.00
5	2.70	6.40	70.33	237.04
6	2.60	8.20	75.93	315.38
7	2.70	5.30	66.25	196.30
8	2.50	6.70	72.83	268.00
9	2.50	9.20	78.63	368.00
10	2.70	6.40	70.33	237.04
11	5.60	11.20	66.67	200.00
12	2.70	6.00	68.97	222.22
13	2.60	6.40	71.11	246.15
14	2.80	4.10	59.42	146.43
15	2.40	9.65	80.08	402.08
16	2.50	5.10	67.11	204.00
17	2.80	8.30	74.77	296.43
18	2.40	6.40	72.73	266.67
19	2.80	7.20	72.00	257.14
20	3.70	6.80	64.76	183.78
		ค่าเฉลี่ย	70.17	245.29
		แปรปรวน	5.12	63.42

ตารางที่ ก.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
(ทดลองระหว่างวันที่ 5 พ.ค. พ.ศ. 2557 ถึง 10 มิถุนายน พ.ศ.2557)

เวลา (นาทีก)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (น้ำหนักแห้ง)		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
0	310.17	307.66	307.66
100	133.35	130.13	128.55
200	95.64	86.33	85.81
300	72.57	65.91	65.49
400	54.73	53.48	52.95
500	43.09	46.88	45.59
600	38.91	35.38	36.07
700	33.61	30.98	30.98
800	27.47	28.21	27.96
900	23.91	25.08	23.91
1000	16.13	20.11	19.47
1100	15.43	15.53	15.53
1200	13.46	13.56	13.62
1300	11.84	11.84	11.84
1400	10.73	10.73	10.73
1500	9.81	9.81	9.81
1600	9.09	9.27	9.27
1700	8.47	8.74	8.74
1800	8.29	8.38	8.29

ตารางที่ ก.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งเหี่ยวหวานด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียว ที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

90 องศาเซลเซียส		80 องศาเซลเซียส		70 องศาเซลเซียส		60 องศาเซลเซียส		50 องศาเซลเซียส	
เวลา (นาท)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (น้ำหนัก แห้ง)	เวลา (นาท)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (น้ำหนัก แห้ง)	เวลา (นาท)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (น้ำหนัก แห้ง)	เวลา (นาท)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (น้ำหนัก แห้ง)	เวลา (นาท)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (น้ำหนัก แห้ง)
0	247.75	0	245.65	0	237.27	0	247.83	0	238.41
5	117.78	5	137.46	10	121.44	30	104.45	30	131.16
10	80.49	10	103.27	20	91.77	60	75.15	60	98.84
15	61.17	15	81.9	30	75.11	90	59.5	90	71.51
20	49.07	20	69.84	40	63.7	120	49.43	120	61.75
25	41.38	25	58.92	50	55.52	150	42.29	150	51.1
30	34.71	30	53.28	60	49.2	180	36.95	180	44.5
35	29.85	35	41.96	70	44.24	210	32.78	210	40.09
40	26.5	40	39.67	80	42.94	240	29.44	240	37.91
50	20.92	50	31.94	90	39.19	270	26.69	270	33.51
60	17.59	60	29.47	100	33.73	300	24.42	300	31.29
70	14.93	70	23.69	110	31.27	330	22.49	330	27.3
80	13.03	80	21.52	120	29.37	360	20.83	360	25.28
90	11.47	90	18.8	130	27.3	390	19.4	390	23.54
100	10.39	100	16.01	140	25.52	420	18.16	420	22.05
110	9.51	110	15.43	150	23.99	450	17.06	450	20.4
120	8.82	120	14.01	160	22.93	500	15.53	500	18.79
130	8.21	130	12.61	170	21.47	550	14.26	550	17.13
140	8.04	140	11.89	180	20.14	600	13.19	600	15.89
150	7.79	150	11.08	190	19.44	650	12.29	650	14.58

		160	10.99	200	19.24	700	11.53	700	13.67
		170	10.11	210	17.71	750	10.88	750	12.68
		180	9.06	240	15.58	800	10.32	800	12.05
		190	9.24	270	14.11	850	9.84	850	11.35
		200	8.55	300	12.85	900	9.42	900	10.92
		210	8.3	330	12.5	950	9.05	950	10.49
		220	8.13	360	10.86	1000	8.73	1000	9.97
		230	7.79	390	10.14	1050	8.44	1050	9.8
		240	7.54	420	9.53	1100	8.19	1100	9.21
		250	7.37	450	8.33	1150	7.96	1150	8.96

ภาคผนวก ข

ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหวนสด และใบชาห่อหวนอบแห้ง ในระบบ CIE (L^* - a^* - b^*) และ Munsell color system

ตารางที่ ข.1 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวนสด ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system

CIE ($L^*-a^*-b^*$)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
40.89	-8.78	23.12		24.73	110.80
40.78	-7.91	21.55		22.96	110.16
40.31	-8.64	21.64		23.30	111.76
38.74	-8.04	20.55		22.02	111.42
38.24	-8.46	17.73		19.64	115.51
39.79	-8.37	20.92		22.53	111.93
1.22	0.38	2.00		1.89	2.09
42.05	-7.66	23.16		24.39	108.30
40.28	-7.71	18.46		20.00	112.67
43.07	-9.33	24.42		26.14	110.91
41.24	-7.93	20.89		22.34	110.79
36.56	-6.49	13.62		15.09	115.48
40.64	-7.82	20.11		21.59	111.63
2.50	1.01	4.28		4.30	2.66
44.39	-9.58	24.73		26.52	111.18
37.91	-7.50	16.10		17.76	114.98
37.85	-7.77	16.56		18.29	115.14
36.50	-7.57	16.12		17.81	115.16
38.54	-8.17	17.93		19.70	114.50
39.04	-8.12	18.29		20.02	114.19
3.08	0.86	3.68		3.72	1.70

ตารางที่ ข.2 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวนอบแห้งด้วยการตากแดด แสงอาทิตย์ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system

CIE ($L^*-a^*-b^*$)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
38.56	2.16	14.13	11.78	14.29	81.31
25.72	0.79	1.41	24.80	1.62	60.74
35.10	1.93	14.70	12.19	14.83	82.52
39.53	0.42	19.84	8.53	19.84	88.79
42.15	0.25	16.43	9.29	16.43	89.13
36.21	1.11	13.30	13.32	13.40	80.50
6.39	0.88	7.01	6.61	6.93	11.60
37.01	0.92	16.24	10.09	16.27	86.76
37.94	2.59	16.14	11.44	16.35	80.88
39.29	2.04	17.77	10.35	17.89	83.45
30.54	1.71	8.19	17.79	8.37	78.21
36.92	2.44	13.99	12.37	14.20	80.11
36.34	1.94	14.47	12.41	14.62	81.88
3.38	0.67	3.76	3.14	3.73	3.31
35.51	2.85	15.01	12.69	15.28	79.25
36.36	2.35	16.29	11.54	16.46	81.79
38.57	2.44	14.70	11.76	14.90	80.58
34.98	0.86	15.88	10.90	15.90	86.90
39.25	2.04	15.83	10.89	15.96	82.66
36.93	2.11	15.54	11.56	15.70	82.24
1.89	0.76	0.66	0.74	0.61	2.91

ตารางที่ ข.3 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system

CIE ($L^*-a^*-b^*$)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
43.29	-1.54	17.62	7.73	17.69	95.00
48.65	-3.63	25.92	11.65	26.17	97.97
47.01	-6.11	24.06	8.61	24.82	104.25
45.98	-2.07	25.12	10.15	25.21	94.71
46.61	-6.77	24.72	8.51	25.63	105.32
46.31	-4.02	23.49	9.33	23.90	99.45
1.95	2.35	3.35	1.57	3.51	5.05
49.14	-2.31	23.53	11.60	23.64	95.61
47.96	-3.99	25.60	10.82	25.91	98.86
48.10	-3.29	26.13	11.50	26.34	97.18
44.51	-6.36	24.95	7.20	25.75	104.30
45.39	-2.10	16.43	8.84	16.56	97.28
47.02	-3.61	23.33	9.99	23.64	98.65
1.97	1.72	3.98	1.91	4.09	3.36
43.96	-3.40	21.93	6.63	22.19	98.81
41.17	-0.84	17.47	7.73	17.49	92.75
46.54	-6.67	25.34	8.84	26.20	104.75
50.84	-8.43	25.63	12.49	26.98	108.21
46.05	-6.58	24.51	7.97	25.38	105.03
45.71	-5.18	22.98	8.73	23.65	101.91
3.56	3.03	3.41	2.24	3.89	6.14

ตารางที่ ข.4 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system

CIE ($L^*-a^*-b^*$)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
43.29	-1.54	17.62	7.73	17.69	94.99
48.65	-7.63	25.92	10.77	27.02	106.40
47.01	-6.11	24.06	8.61	24.82	104.25
45.98	-7.07	25.12	8.22	26.10	105.72
46.61	-6.77	24.72	8.51	25.63	105.32
46.31	-5.82	23.49	8.77	24.25	103.34
1.95	2.46	3.35	1.17	3.75	4.73
49.14	-6.31	23.53	10.21	24.36	105.01
47.96	-7.99	25.60	10.01	26.82	107.33
48.10	-6.29	26.13	10.60	26.88	103.54
44.51	-6.36	24.95	7.20	25.75	104.30
45.39	-2.10	16.43	8.84	16.56	97.28
47.02	-5.81	23.33	9.37	24.07	103.49
1.97	2.20	3.98	1.38	4.32	3.75
43.96	-3.40	21.93	6.63	22.19	98.81
41.17	-0.84	17.47	7.73	17.49	92.75
46.54	-6.67	25.34	8.84	26.20	104.75
50.84	-8.43	25.63	12.49	26.98	108.21
46.05	-6.58	24.51	7.97	25.38	105.03
45.71	-5.18	22.98	8.73	23.65	101.91
3.56	3.03	3.41	2.24	3.89	6.14

ตารางที่ ข.5 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system

CIE ($L^*-a^*-b^*$)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
49.78	-8.57	27.77	12.78	29.06	107.15
45.13	-7.51	25.90	8.13	26.97	106.17
48.65	-8.09	28.30	12.28	29.43	105.95
44.06	-5.43	23.08	6.01	23.71	103.24
36.85	-3.89	20.10	5.16	20.47	100.95
44.89	-6.70	25.03	8.87	25.93	104.69
5.09	1.97	3.43	3.52	3.80	2.55
50.38	-8.50	27.76	13.25	29.03	107.02
51.27	-5.44	25.13	12.92	25.71	102.22
42.06	-5.90	24.38	5.58	25.08	103.60
43.89	-7.65	24.97	6.62	26.12	107.03
47.71	-7.63	26.89	10.64	27.95	105.84
47.06	-7.02	25.83	9.80	26.78	105.14
4.01	1.30	1.43	3.55	1.65	2.15
49.27	-7.47	26.14	11.41	27.19	105.95
44.67	-5.87	23.66	6.61	24.38	103.93
46.63	-6.09	25.13	8.90	25.86	103.62
38.47	-5.91	22.43	3.70	23.20	104.76
49.83	-8.18	27.30	12.53	28.50	106.68
45.77	-6.70	24.93	8.63	25.83	104.99
4.58	1.06	1.94	3.58	2.12	1.31

ตารางที่ ข.6 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system

CIE ($L^*-a^*-b^*$)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
43.15	-6.86	23.63	5.25	24.61	106.19
41.81	-3.54	22.45	5.65	22.73	98.96
49.99	-0.53	15.71	13.31	15.72	91.93
46.08	-6.95	25.84	8.80	26.76	105.05
51.63	-8.76	28.15	14.50	29.48	107.29
46.53	-5.33	23.16	9.50	23.86	101.88
4.24	3.28	4.70	4.27	5.20	6.43
49.11	-4.67	24.12	10.82	24.57	100.96
45.85	-5.95	26.57	9.34	27.23	102.62
47.49	-6.83	25.50	9.66	26.40	104.99
44.83	-7.88	24.52	6.91	25.76	107.82
48.97	-6.52	26.19	11.29	26.99	103.98
47.25	-6.37	25.38	9.60	26.19	104.07
1.89	1.18	1.05	1.71	1.07	2.58
42.68	-5.17	23.06	5.25	23.63	102.64
46.02	-6.64	26.72	9.43	27.53	103.96
50.98	-7.39	25.85	12.73	26.89	105.95
46.42	-7.00	24.26	8.06	25.25	106.10
47.16	-6.58	27.01	10.42	27.80	103.69
46.65	-6.56	25.38	9.18	26.22	104.47
2.97	0.84	1.68	2.78	1.75	1.51

ตารางที่ ข.7 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มหวานอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในระบบ CIE ($L^*-a^*-b^*$) และ Munsell color system

CIE ($L^*-a^*-b^*$)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
29.78	-1.54	48.63	31.25	48.65	91.81
25.13	-2.63	42.45	27.57	42.53	93.54
28.65	-2.11	46.71	29.77	46.76	92.59
34.06	-0.07	25.84	11.60	25.84	90.16
36.85	-0.77	58.15	39.19	58.16	90.76
30.89	-1.42	44.36	27.88	44.39	91.77
4.61	1.02	11.84	10.10	11.84	1.36
13.29	-3.40	37.76	32.40	37.91	95.14
38.65	-0.84	35.13	17.03	35.14	91.70
17.01	-2.67	34.38	27.63	34.48	94.44
45.98	-0.43	54.97	36.55	54.97	90.45
16.61	-2.58	46.89	36.12	46.96	93.15
26.31	-1.98	41.83	29.94	41.89	92.98
14.91	1.28	8.88	8.06	8.85	1.93
23.96	-0.40	33.06	22.08	33.06	90.69
21.17	-0.84	36.72	26.23	36.73	91.31
26.54	-6.67	35.85	20.90	36.47	100.54
30.84	-2.43	24.26	11.53	24.38	95.72
36.05	-3.58	37.81	18.98	37.98	95.41
27.71	-2.78	33.54	19.94	33.72	94.73
5.86	2.52	5.48	5.40	5.53	3.98

ตารางที่ ข.8 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มอบแห้ง ใบชาห่อหุ้มอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (550 นาที) และ 90 องศาเซลเซียส (30 นาที)

CIE (L*–a*–b*)			Munsell system		
L*	a*	b*	TCD	Chroma	Hue
35.30	0.62	15.73	10.62	15.74	87.74
36.36	–0.81	21.55	8.26	21.56	92.15
37.10	–1.19	20.71	7.49	20.74	93.29
40.51	2.32	18.18	10.56	18.33	82.73
35.79	–0.72	17.81	8.63	17.82	92.32
37.01	0.04	18.80	9.11	18.84	89.65
2.07	1.44	2.35	1.41	2.34	4.42
37.63	1.13	18.85	9.53	18.88	86.57
37.22	–0.72	18.45	7.94	18.46	92.24
36.06	–0.69	17.00	8.76	17.01	92.32
39.14	2.20	19.17	10.34	19.30	83.45
42.73	–0.33	11.61	11.64	11.62	91.63
38.56	0.32	17.02	9.64	17.05	89.24
2.58	1.30	3.13	1.43	3.16	4.03
42.17	2.41	12.66	12.90	12.89	79.22
37.36	1.62	15.40	10.94	15.48	84.00
39.18	–0.66	15.52	8.59	15.53	92.44
37.41	–0.25	15.53	9.24	15.53	90.92
38.25	1.62	16.35	10.42	16.43	84.34
38.87	0.95	15.09	10.42	15.17	86.18
1.99	1.33	1.41	1.67	1.34	5.44

ตารางที่ ข.9 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มอบแห้ง ใบชาห่อหุ้มอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (310 นาที) และ 90 องศาเซลเซียส (50 นาที)

CIE (L*-a*-b*)			Munsell system		
L*	a*	b*	TCD	Chroma	Hue
39.62	-0.67	18.24	7.59	18.25	92.10
38.37	0.97	16.47	9.76	16.50	86.63
36.73	1.42	16.82	10.43	16.88	85.17
37.12	1.37	15.81	10.61	15.87	85.05
39.60	1.39	18.13	9.63	18.18	85.62
38.29	0.90	17.09	9.61	17.14	86.91
1.35	0.89	1.06	1.20	1.05	2.97
38.29	0.39	18.83	8.68	18.83	88.81
37.16	1.17	14.67	10.91	14.72	85.44
38.96	0.92	17.14	9.43	17.16	86.93
41.11	1.05	16.61	9.77	16.64	8.38
40.31	-0.16	19.83	7.96	19.83	90.46
39.17	0.67	17.42	9.35	17.44	72.00
1.57	0.55	2.01	1.12	1.99	35.62
34.21	1.32	17.65	11.17	17.70	85.72
38.80	0.25	18.21	8.56	18.21	89.21
37.43	0.53	16.86	9.42	16.87	88.20
39.26	1.34	17.80	9.66	17.85	85.70
38.07	1.07	16.53	9.88	16.56	86.30
37.55	0.90	17.41	9.74	17.44	87.03
2.00	0.49	0.69	0.94	0.69	1.59

ตารางที่ ข.10 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มอบแห้ง ใบชาห่อหุ้มอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (730 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (30 นาที)

CIE (L^* - a^* - b^*)			Munsell system		
L^*	a^*	b^*	TCD	Chroma	Hue
35.30	-6.60	25.73	7.63	26.56	104.39
36.36	-2.81	21.55	6.57	21.73	97.43
37.10	-2.19	20.71	6.57	20.82	96.04
40.51	-2.30	18.18	6.05	18.32	97.21
35.79	-6.72	17.81	4.69	19.04	110.67
37.01	-4.12	20.80	6.30	21.29	101.15
2.07	2.33	3.19	1.07	3.24	6.26
37.63	-1.10	18.85	7.39	18.88	93.34
37.22	-1.72	18.45	7.01	18.53	95.33
36.06	-0.69	17.00	8.76	17.01	92.32
39.14	-2.20	19.17	5.97	19.30	96.55
42.73	-3.33	21.61	5.88	21.86	98.76
38.56	-1.81	19.02	7.00	19.12	95.26
2.58	1.03	1.67	1.18	1.76	2.56
42.17	-2.41	19.66	6.16	19.81	96.99
37.36	-1.62	18.40	7.07	18.47	95.03
39.18	-0.66	15.52	8.59	15.53	92.44
37.41	-0.25	15.53	9.24	15.53	90.92
38.25	-1.62	16.35	7.49	16.43	95.66
38.87	-1.31	17.09	7.71	17.15	94.21
1.99	0.86	1.86	1.22	1.91	2.47

ตารางที่ ข.11 ค่าสีพารามิเตอร์สีใบชาห่อหุ้มอบแห้ง ใบชาห่อหุ้มอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage drying temperature) ที่ 50 องศาเซลเซียส (670 นาที) และ 80 องศาเซลเซียส (50 นาที)

CIE-Lab			Munsell system		
L*	a*	b*	TCD	Chroma	Hue
39.62	-0.67	18.24	7.59	18.25	92.10
38.37	0.97	16.47	9.76	16.50	86.63
36.73	1.42	16.82	10.43	16.88	85.17
37.12	1.37	15.81	10.61	15.87	85.05
39.60	1.39	18.13	9.63	18.18	85.62
38.29	0.90	17.09	9.61	17.14	86.91
1.35	0.89	1.06	1.20	1.05	2.97
38.29	0.39	18.83	8.68	18.83	88.81
37.16	1.17	14.67	10.91	14.72	85.44
38.96	0.92	17.14	9.43	17.16	86.93
41.11	1.05	16.61	9.77	16.64	86.38
40.31	-0.16	19.83	7.96	19.83	90.46
39.17	0.67	17.42	9.35	17.44	87.60
1.57	0.55	2.01	1.12	1.99	2.02
34.21	1.32	17.65	11.17	17.70	85.72
38.80	0.25	18.21	8.56	18.21	89.21
37.43	0.53	16.86	9.42	16.87	88.20
39.26	1.34	17.80	9.66	17.85	85.70
38.07	1.07	16.53	9.88	16.56	86.30
37.55	0.90	17.41	9.74	17.44	87.03
2.00	0.49	0.69	0.94	0.69	1.59





บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร งานบริการวิชาการและวิจัย โทร ๕๘๖๔-๗๑

ที่ ศธ ๐๕๒๓.๕.๑.๔/ว. ๓๐๔

วันที่ ๒๐ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๗

เรื่อง ประกาศผลโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๗

เรียน บุคลากรคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

ตามที่คณะกรรมการบริหารงานบริการวิชาการและวิจัยได้เปิดรับสมัครทุนอุดหนุนการวิจัย เงินรายได้ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๗ เพื่อดำเนินโครงการวิจัยภายในคณะฯ และตอบสนองต่อนโยบายการวิจัยของคณะฯ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๔-๒๕๕๗ เมื่อวันที่ ๒๕ ธันวาคม ๒๕๕๖ นั้น

ในการมีงานบริการวิชาการและวิจัย จึงขอประกาศผลโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๗ โครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยโดย ไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ สามารถมาลงนามในสัญญารับทุนได้ที่งานบริการวิชาการและวิจัย สำนักงานเลขานุการตั้งแต่วันจันทร์ที่ ๓ มีนาคม ๒๕๕๗ เป็นต้นไปงาน สำหรับโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยโดย เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ขอให้ผู้รับผิดชอบโครงการวิจัยส่งข้อเสนอโครงการวิจัยฉบับแก้ไข ภายในวันจันทร์ที่ ๓ มีนาคม ๒๕๕๗ และสามารถลงนามในสัญญารับทุนได้หลังจากที่ส่งข้อเสนอโครงการวิจัยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร บัญญุใหญ่)

ประธานคณะกรรมการบริหารงานบริการวิชาการและวิจัย

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

ประกาศผลโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๖

ลำดับ	โครงการวิจัย	ผลการพิจารณาโครงการวิจัย	
		ได้รับทุนแบบไม่มีชื่อแก้ไข	ได้รับทุนแบบมีชื่อแก้ไข
สายวิชาการ			
1	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการละลายไขมัน	✓	
2	การศึกษาและพัฒนาชุดอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปัจจัยที่สำคัญ ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่กลับกอง (วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1)	✓	
3	การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารฟีนอลิกจากเมล็ด ลำไย (Dimocarpus longan Lour.) โดยวิธีไมโครเวฟร่วม	✓	
4	ฉนวนกันความร้อนจากโฟมยางธรรมชาติ	✓	
5	กระบวนการอบแห้งเครื่องเทศและสมุนไพรในระดับ SMEs	✓	
6	สมบัติความทนต่อความร้อนและความสามารถย่อยสลาย ได้ทางชีวภาพของยางโฟมธรรมชาติที่ใช้วัสดุกันน้ำเป็น สารตัวเติม	✓	
7	ผลกระทบของสภาวะและวิธีการอบแห้งต่อการ เปลี่ยนแปลงคุณภาพของสาลี่ห่อหุ้มด้วยกระดาษ	✓	
8	การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมโซฟอนชนิดอากาศไหลสวนทาง	✓	
สายสนับสนุน			
9	การศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งแสงอาทิตย์ต่อการ เปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบสารสกัดการอบแห้งใบเตยหอม	✓	
10	การศึกษาผลของเปลือกลำไยที่ใช้เป็นสารตัวเติมต่อสมบัติ ของฟองน้ำยางธรรมชาติ	✓	
11	การศึกษาค่าใช้จ่ายของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยียางและ พอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ปี การศึกษา 2556		✓
12	แรงจูงใจในการเข้าร่วมเป็นผู้นำนักศึกษาของนักศึกษาคณะ วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ประจำปี พ.ศ.2557		✓
13	ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาคณะวิศวกรรมและ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้		✓
14	การรักษาสีหน้าหวานอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบหลาย ชั้น	✓	

ที่ ล ๐๔.๐๗๒๔๔

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ
อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย

๔ มกราคม ๒๕๕๗

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์บุคลากรให้คำปรึกษา

เรียน คณะบดีคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ ได้ดำเนินการพัฒนาและส่งเสริมอาชีพแก่เกษตรกรชาวเขาในพื้นที่ ๔ หมู่บ้าน ประชากร ๖๕๓ ครัวเรือน ในด้านการปลูกพืชผัก ไม้ดอก ไม้ผล พืชสมุนไพร และการเลี้ยงสัตว์ ปัจจุบันศูนย์ฯ ได้ปรับเปลี่ยนด้านการส่งเสริมอาชีพ โดยมุ่งเน้นการส่งเสริมอาชีพการปลูกพืชสมุนไพร เพื่อการอบแห้งมากขึ้น เนื่องจากศูนย์ฯ อยู่ในถิ่นทุรกันดาร มีดินทุนในการขนส่งผลผลิตสดค่อนข้างสูง ตลอดจนผลผลิตมีความสูญเสียในระหว่างขนส่งเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันศูนย์ฯ ได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเห็ดหลินขาว เพื่อการอบแห้งและแปรรูปเป็นชาสมุนไพร เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าของผลผลิต แต่ผลิตภัณฑ์เห็ดหลินขาวที่ศูนย์ฯ ดำเนินการแปรรูปจากศูนย์ฯ มีคุณภาพที่ไม่มีความสม่ำเสมอ ยังไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับในตลาดและผู้บริโภค ทำให้การจำหน่ายผลผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

ดังนั้นทางศูนย์ฯ จึงขอความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครวณิชชัย ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ความชำนาญทางด้านเทคโนโลยีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรมาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการรักษาสีของเห็ดหลินขาวในระหว่างการอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางในการแปรรูปชาสมุนไพรเห็ดหลินขาวให้เป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและผู้บริโภค ซึ่งจะมีความช่วยให้ศูนย์ฯ สามารถขยายงานส่งเสริมอาชีพให้แก่เกษตรกรชาวเขาปลูกเห็ดหลินขาวได้เพิ่มมากขึ้นในอนาคต

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

เรียน คณะบดี

ขอแสดงความนับถือ

เพื่อโปรดพิจารณา

เห็นควรแล้ว ผศ.ดร.ฤทธิชัย อัครวณิชชัย

มีเหตุผลให้ขอความเห็น และให้คำปรึกษาหารือ

จึงขอความเห็นในสิ่งที่เกี่ยวข้องต่อไป

นี้ ทาง

๑๗ ม.ค. ๕๗

ผู้อำนวยการศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ

อ.เจษฎาภรณ์

๑๗ ม.ค. ๕๗

ก. ประวัติส่วนตัว นักวิจัย

1. ชื่อ นายประพันธ์ จิโน
2. เลขประจำตัวประชาชน
3. วุฒิกการศึกษาสูงสุด วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
4. สถานที่ทำงานในปัจจุบัน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบล
หนองหาร อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50290
โทร 053 875 869-71 E-mail: wavemee2244@gmail.com
5. ปัจจุบันพักอยู่บ้านเลขที่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอ สันทราย
จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50290
6. ที่อยู่ติดต่อสะดวกที่สุด โปรดระบุให้ชัดเจน
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอ สันทราย
จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50290

ข. ประวัติการทำงาน

1. เริ่มรับราชการ เมื่อวันที่ 12 เดือน กันยายน พ.ศ. 2540
ตำแหน่ง วิศวกรโลหการชำนาญการ สังกัด คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
นับถึงวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2557 มีระยะเวลาปฏิบัติราชการ 17 ปี 2 เดือน
2. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกรโลหการชำนาญการ ระดับ 7 ขั้น 23,300 บาท

ก. ประวัติส่วนตัว ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

1. ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์
2. เลขประจำตัวประชาชน 3-1499-00456 64 9
3. วุฒิการศึกษาสูงสุด Doctor of Philosophy in Food Engineering and Bioprocess Technology
4. สถานที่ทำงานในปัจจุบัน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50290
โทร 053 875 869-71 E-mail rittichai@mju.ac.th, rittichai.assawarachan@gmail.com
5. ปัจจุบันพักอยู่บ้านเลขที่ 19 ถนนท่าแพ ซอย 2 อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50300 โทร 053 -251047
6. ที่อยู่ติดต่อสะดวกที่สุด โปรดระบุให้ชัดเจน
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50290

ข. ประวัติการทำงาน

1. เริ่มรับราชการ เมื่อวันที่ 26 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2553
ตำแหน่ง อาจารย์ สังกัด คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
2. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ - ขั้น 51,200 บาท

บทความวิจัยและบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

ARTICLES IN INTERNATIONAL JOURNALS

- [1] Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2008. Effect of Operating Condition on the Kinetic of Color Change of Concentrated Pineapple Juice by Microwave Vacuum Evaporation. *International Journal of Food, Agriculture & Environment* 6(3&4): 47-53.
ISI Database, Impact factor (2008) = 0.232
- [2] Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2010. Changes in Color and Rheological Behavior of Pineapple Concentrate Through Various Evaporation Methods. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3(1): 74-84. SCOPUS and AGRICOLA Database
- [3] Assawarachan, R. 2010. Estimation Model for Electrical Conductivity of Red Grape Juice. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3(2): 52-57. SCOPUS and AGRICOLA Database
- [4] Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2011. Influence of Temperature and TSS on Performance of Evaporation and Rheological Properties of Pineapple Concentration by Microwave Vacuum. *Journal of Food Process Engineering*. (online version on 25 April 2011).
ISI Database, Impact factor (2011) = 0.875
- [5] Assawarachan, R., Sripinyowanich, J., Theppadungporn, K. and Noomhorm, A. 2011. Drying Paddy by Microwave Vibro-Fluidized Drying using Single Mode Applicator. *International Journal of Food, Agriculture & Environment* 9(2): 50-54.
ISI Database, Impact factor (2011) = 0.425
- [6] Pongtong, K., Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2011. Mathematical Models for Vacuum Drying Characteristics of Pomegranate Aril. *Journal of Food Science and Engineering* 1(1): 11-19.
- [7] Satong-aun, W., Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2011. The Influence of Drying Temperature and Extraction Methods on **Alpha-Mangostin** in Mangosteen Pericarp, *Journal of Food Science and Engineering* 1(2): 85-92.
- [8] Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2011. Mathematical Models for Vacuum Microwave Concentration Behavior of Pineapple Juice. *Journal of Food Process Engineering* 34(5): 1485-1505. ISI Database, Impact factor (2011) = 0.875

- [9] Assawarachan, R., Nookong, M., Chailungka, N and Amornlerdpison, D. 2013. Effect of microwave power on the drying characteristics, color and phenolic content of *spirogyra* sp. *International Journal of Food, Agriculture & Environment* 11(1): 15–18. ISI Database, Impact factor (2012) = 0.575
- [10] Naokprasom, N., Assawarachan, R and Wongputtisim, P. 2013. Optimization of reducing sugar production from acid hydrolysis of sugarcane bagass by box behnken design. *Journal of medical and bioengineering* 2(4): 238–241. ISI Database, Impact factor (2012) = 0.575
- [11] Assawarachan, R. Drying Kinetics of coconut residue in fluidized bed. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*. 2(2): 263–266.
- [12] Chailungka, N and Assawarachan, R. 2014. The Thin Layer Drying Characteristics of *Spirogyra* sp._ *International Journal of Food, Agriculture & Environment* (Manuscript in press) ISI Database, Impact factor (2012) = 0.575

งานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (INTERNATIONAL CONFERENCE)

- [13] Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2007. Design and Development Laboratory Scale Microwave Vacuum Evaporator of Juice Concentrate. *In* International Workshop on Food Safety and Processing Technology; 29–30 November 2007, Nong Lam University; Faculty of Food science and technology, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- [14] Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2007. Kinetics of Color Change of Pineapple Juice Concentration using Microwave Vacuum Evaporation. *In* International Agricultural Engineering Conference; 3–6 December 2007, AIT, Bangkok, Thailand.
- [15] Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2008. Application Electromagnetic Radiation Technologies in Food Processing: *In* The 2nd R&DID* International Conference – 2008; University of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok, Thailand ;Theme: Global Competitiveness Through, Research and Development, Innovation, Design.
- [16] Pongtong, K., Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2009. Vacuum Drying Kinetics of Pomegranate Arils. *In* International Agricultural Engineering Conference, 7–10 December, 2009, Manhattan Hotel at Klong Luang, Pathumthani (Thailand)

- [17] Laosanguanek, N, Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2009. Thin Layer Infrared Radiation Drying of Turmeric Slices. *In* International Agricultural Engineering Conference, 7–10 December, 2009, Manhattan Hotel at Klong Luang, Pathumthani, Thailand.
- [18] Sripinyowanich, J., Assawarachan, R and Noomhorm, A. 2010. Microwave Vibro–Fluidization Bed Drying in a Single Mode Applicator. *In* the National Science and Technology Fair 2010, 7–22 August 2010. BITEC, Bangkok, Thailand.
- [19] Sripinyowanich, J., Sopanattayanon, O., Assawarachan, R., Theppadungporn, K. and Noomhorm, A. 2012. Effects of moisture content of dried coconut residue on its EMC, shelf life and quality. International Congress on Food Engineering and Technology. 28 – 30 March 2012. IMPACT Convention Center, Bangkok, Thailand.
- [20] Assawarachan, R., Nookung, M., Chailungka, N and Suriyanthorn, P. 2013. Thawing process improvement of frozen chicken by ultrasonic methods. *In* Food Innovation Asia Conference, Empower SMEs through Science and Technology. 13–14 June 2013. BITEC Convention Center, Bangkok, Thailand.
- [21] Assawarachan, R., Nookung, M., Ze–O, I and Ga–Jai, S. 2013. Development of Electrical conductivity measuring device for fruit juice using ohmic heating. *In* Food Innovation Asia Conference, Empower SMEs through Science and Technology. 13–14 June 2013. BITEC Convention Center, Bangkok, Thailand.
- [22] Assawarachan, R and Rardiyom, C. 2013. Influence of air temperature on quality changes of dried pomegranate peels. *In* 13th ASEAN Food conference, Meeting Future Demands: Security & Sustainability. 9–11 September 2013. Max Atria, Singapore Expo. Singapore.
- [23] Assawarachan, R and Rardiyom, C. 2013. Study of Different Solar Drying Methods for Galiang Bird Chilli (*Capsicum frutescens* Linn.). *In* 2nd ISHS Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest System. 4–6 December 2013, Lane Xang Hotel, Vientiane, Lao PDR.
- [24] Assawarachan, R., Kalayanamitra, K and Keokamnerd, T. 2013. Modeling and Optimization of Microwave Drying of Turmeric Slices. *In* 2nd ISHS Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest System. 4–6 December 2013, Lane Xang Hotel, Vientiane, Lao PDR.

- [25] Assawarachan, R and Kalayanamitr. 2013. Mathematical Models of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* Linn.) during Microwave Drying. In 2nd ISHS Southeast Asia Symposium on Quality Management Postharvest System. 4–6 December 2013, Lane Xang Hotel, Vientiane, Lao PDR.
- [26] Assawarachan, R and Kalayanamitr. 2013. Effect of Drying Methods on Color Quality of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* Linn. In 2nd ISHS Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest System. 4–6 December 2013, Lane Xang Hotel, Vientiane, Lao PDR.

บทความวิจัยและบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ
(ARTICLES IN NATIONAL JOURNALS)

- [27] ฤทธิชัย อัครวราชันย์, ภาณุภณ แสงเจริญรัตน์, สุเนตร สืบคำ, เตียรณีย์ มั่งมุล, ดวงกมล จนใจ. 2554. จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยลมร้อนของเปลือกทับทิม. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 17(1): 27–34. (TCI-Database)
- [28] ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2554. เทคโนโลยีการสร้างความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. วารสารสมาคมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม-ธันวาคม 2554). (TCI-Database)
- [29] อุมพร อุประ, สุเนตร สืบคำ และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2554. วิธีการละลายแบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยี (Novel Methods for Rapid Thawing Technology). วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 17(1): 52–58. (TCI-Database)
- [30] สุเนตร สืบคำ และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2554. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งสำหรับวัสดุพูน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 17(1): 59–66. (TCI-Database)
- [31] ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2554. การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต 1(2): 31–42.
- [32] ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2554. การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการแปรรูปอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการ มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2554–พฤษภาคม 2555. (TCI-Database)
- [33] ฤทธิชัย อัครวราชันย์, นัตรชนก คงสิทธิ์ และดวงพร อมรเลิศพิศาล. 2555. คุณลักษณะการอบแห้งของสาหร่ายเตาด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ปี

ที่ 18 ฉบับที่ 1 หน้า 8-14. (TCI-Database)

- [34] ปองพล สุริยะกันทร และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2555. แบบจำลองการอบแห้งใบกระเพราด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 หน้า 8-14 (TCI-Database)
- [34] จินตนาพร ปันพรม, จุฑามาศ บุญเลา, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2555. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกากมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน – ธันวาคม 2555: 224-227. วารสารวิชาการ ที่ สกว/สกอ รับรอง
- [35] จินตนาพร ปันพรม, จุฑามาศ บุญเลา, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2555. ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกากมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน – ธันวาคม 2555: 228-231. วารสารวิชาการ ที่ สกว/สกอ รับรอง
- [36] ฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2556. จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟระบบสุญญากาศของสาหร่ายเตา. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 (*Manuscript accepted*), (TCI-Database)
- [37] ปองพล สุริยะกันทร น้ำฝน ไชยลังกา นักรบ นาคประสม และฤทธิชัย อัครวราชนันย์, 2556. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งขมิ้นชันด้วยวิธีการพื้นผิวดอบสนอง. วารสารวิชาการ Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences. (*Manuscript accepted*), (TCI-Database)
- [37] ฤทธิชัย อัครวราชนันย์, 2556. จลนพลศาสตร์การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. วารสารวิชาการ Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences. (*Manuscript accepted*), (TCI-Database)
- [38] เนาวนิตย์ โพธิ์ศรี, พิมลพรรณ คงบุตร, เกียรติศักดิ์ อุดตมะตัง และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2556. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นและสีของใบสะระแหน่ในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ.
- [39] น้ำฝน ไชยลังกา นักรบ, นาคประสม และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2556. การหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้วิธีพื้นผิวดอบสนอง. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ.
- [40] น้ำฝน ไชยลังกา ปองพล สุริยะกันทร และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2556. การพัฒนาและปัจจัยที่มีผลต่อการละลายเนื้อ ไก่แช่เยือกแข็งด้วยวิธีเทอร์โมอะคูสติก. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 20 ฉบับที่ 2

- [41] น้ำฝน ไชยลังกา และฤทธิชัย อัครวราชนย์. 2556. จลนพลศาสตร์การอบแห้งของสาหร่ายเตาในระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วสท.

งานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ (NATIONAL CONFERENCE)

- [42] ฤทธิชัย อัครวราชนย์, อุมพร อุประ และอรรถพล นุ่มหอม. 2554. คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของน้ำอุ่นแฉะระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบโอไมด. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 ประจำปี 2554. วันที่ 1 เมษายน 2554 ณ โรงแรมชมจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี
- [43] อรวรรณ ไตรณัฐยานนท์, จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์, ฤทธิชัย อัครวราชนย์ และอรรถพล นุ่มหอม. 2554. อิทธิพลของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อคุณภาพกากมะพร้าวโดยวิธีการอบแห้งแบบถาด. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 ประจำปี 2554. วันที่ 1 เมษายน 2554 ณ โรงแรมชมจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี
- [44] สุนทร สืบคำ, ฤทธิชัย อัครวราชนย์ และระวิน สืบคำ. 2554. คุณลักษณะการอบแห้งลำไยด้วยรังสีอินฟราเรด. การประชุมวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2554. วันที่ 23-24 มิถุนายน 2554 ณ โรงแรมพัทยาพาร์คบีช รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี
- [45] น้ำฝน ไชยลังกา, ปองพล สุริยะกันทร, กัลย์ กัลยาณมิตร, กรรณ อรรถนิตย และฤทธิชัย อัครวราชนย์. 2555. ผลกระทบของวิธีการละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อไก่แช่เยือกแข็ง. ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 ประจำปี 2555. วันที่ 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่
- [46] จินตนาพร บันพรม, จุฑามาศ บุญเลา, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ และฤทธิชัย อัครวราชนย์. 2555. ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกากมะพร้าว. การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 10 ประจำปี 2555. วันที่ 23-24 สิงหาคม 2555 ณ โรงแรมเซ็นทาราคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น
- [47] จินตนาพร บันพรม, จุฑามาศ บุญเลา, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ และฤทธิชัย อัครวราชนย์. 2555. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกากมะพร้าว. การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2555. วันที่ 23-24 สิงหาคม 2555 ณ โรงแรมเซ็นทาราคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น
- [48] น้ำฝน ไชยลังกา, รัตนาภรณ์ จันทร์ทิพย์, ดวงพร อมรเลิศพิศาล. และฤทธิชัย อัครวราชนย์. 2554. ผลกระทบของระดับพลังงานไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสาหร่ายเตา

อบแห้ง. ประชุมวิชาการการประมงครั้งที่ 7. วันที่ 6-8 ธันวาคม 2555 คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. จังหวัดเชียงใหม่

- [49] ณัฐสุดา เล็นปาน, พวงเพชร อินใจคำ, ไตรยา จุมพุกหุຍ, อุมพร อุประ และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2555. การพัฒนาเครื่องอบแสงอาทิตย์ระบบความร้อนร่วมของพริกแห้งสำหรับสหกรณ์การเกษตรแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน. การประชุมวิชาการระดับชาติ “เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ” ประจำปี 2556 ระหว่าง 27-28 กุมภาพันธ์ 2556 สามพรานริเวอร์ไซด์ จังหวัดนครปฐม.
- [50] น้ำฝน ไชยลังกา รัตนภรณ์ จันทร์ทิพย์, ดวงพร อมรเลิศพิศาล และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2555. แบบจำลองการอบแห้งแบบชั้นบางของสาหร่ายเตาด้วยคลื่นไมโครเวฟ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในวันที่ 1-4 เมษายน 2556.
- [51] ปองพล สุริยะกันธร และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2555. จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในวันที่ 1-4 เมษายน 2556.
- [52] วิกานดา แก้วยอด, รัชฎา แย้มศรวล และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2556. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายอัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างการอบแห้งเปลือกทับทิมแบบชั้นด้วยลมร้อน. การประชุมวิชาการ อุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2 ณ โรงแรมวินเซอร์ สุมวิท กรุงเทพฯ. ในวันที่ 30 สิงหาคม 2556
- [53] พิชิต สอนทวย, วิโรจน์ ไข่มุขเลิศฤทธิ์ และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2556. ผลกระทบของระดับคลื่นไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงสีของการอบแห้งขมิ้นชัน. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2 ณ โรงแรมวินเซอร์ สวีทส์ สุมวิท กรุงเทพฯ. ในวันที่ 30 สิงหาคม 2556
- [54] พิชิต สอนทวย, วิโรจน์ ไข่มุขเลิศฤทธิ์ และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2556. จลนพลศาสตร์การอบแห้งขมิ้นชันด้วยคลื่นไมโครเวฟ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2 ณ โรงแรมวินเซอร์ สวีทส์ สุมวิท กรุงเทพฯ. ในวันที่ 30 สิงหาคม 2556
- [55] ปองพล สุริยะกันธร และฤทธิชัย อัครวราชนันย์. 2557. ผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกต่อ

อัตราการอบแห้งและค่าสีของดอกเบญจมาศ (เก็กฮวย) อบแห้งด้วยลมร้อน. ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2557 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7

[56] ปองพล สุริยะกันทร และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2557. จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีของดอกเบญจมาศ(เก็กฮวย)ในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน. ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2557 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7

[57] วิราญ หน่อแก้ว, เอกลักษณ์ ไชยกันทา, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, กัลย์ กัลยาณมิตร และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2557. ผลกระทบของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกรวมของสาหร่ายเตาอบแห้งประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2557 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7

[58] วิราญ หน่อแก้ว, เอกลักษณ์ ไชยกันทา, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, กัลย์ กัลยาณมิตร และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2557. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งของสาหร่ายเตา. ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2557 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7

[59] รัชฎา แยมศรวล, รณชัย วังรัก, วิกานดา แก้วยอด, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, ชนันท ราษฎร์นิยม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2557. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมในเปลือกทับทิมอบแห้ง.ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2557 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7

[60] รัชฎา แยมศรวล, รณชัย วังรัก, วิกานดา แก้วยอด, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, ชนันท ราษฎร์นิยม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2557. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งของเปลือกทับทิมอบแห้งด้วยลมร้อน.ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2557 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7

สิ่งตีพิมพ์และเอกสารเผยแพร่.

[61] ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2555. เอกสารประกอบการสอนหน่วยปฏิบัติการทางวิศวกรรมอาหาร 1. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 384 หน้า. เชียงใหม่.

[62] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2550. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานความร้อนรูปแบบใหม่. Food Focus Thailand Magazine, 2(16): 28– 33.

[63] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2550. เข้มข้นด้วยเมมเบรน. Food Focus Thailand Magazine 2(17): 18– 22.

- [64] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2550. การทำความเย็นระบบสูญญากาศ. Food Focus Thailand Magazine, 2(20): 27– 29.
- [65] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2550. 5 คำถามน่ารู้ ของ นานโนเทคโนโลยี ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหาร. Food Focus Thailand Magazine, 2(20): 43– 45.
- [66] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2551. Fine the suitable solution for your needs. Be Cool Supplement on Freezing and Refrigeration Innovation for F&B Industry: 12– 20.
- [67] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2551. กระบวนการอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร. Food Focus Thailand Magazine, 3(25): 21– 25.
- [68] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2551. กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก. Food Focus Thailand Magazine, 3(27): 48– 53.
- [69] อรรถพล นุ่มหอม, ฤทธิชัย อัครวราชันย์ และเพชรวรรณ มูลแสง. 2551. การพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารด้วยนาโนเทคโนโลยี. Food Focus Thailand Magazine, 3(31): 16– 21.
- [70] อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2552. การออกแบบและเลือกขนาดฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะกับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร. Food Focus Thailand Magazine, 3(40): 38– 40.
- [71] ฤทธิชัย อัครวราชันย์ และอรรถพล นุ่มหอม. 2553. แนวความคิดพื้นฐานการออกแบบระบบให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ. Food Focus Thailand Magazine, 4(52): 53–54.
- [72] ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2553. 7 คำถามน่าเกี่ยว เกี่ยวกับการเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ. Food Focus Thailand Magazine, 4(56): 43– 45.
- [73] ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2553. การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยเมมเบรน. วารสารแม่โจ้ปริทัศน์, 11(6): 41–43.
- [74] ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2554. Alternative Energy เพื่อการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร. Food Focus Thailand Magazine, 5(58): 36 – 37.