รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ลักษณะการอบแห้งและการผลิตหน่อไม้แห่งที่มีใยอาหารสูงสำหรับผู้สูงอายุ

Drying characteristic and production of bamboo shoot stick with high fiber for elderly

นางสาวโสรยา เกิดพิบูลย์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ลักษณะการอบแห้งและการผลิตหน่อไม้แท่งที่มีใยอาหารสูงสำหรับผู้สูงอายุ

Drying characteristic and production of bamboo shoot stick with high fiber for elderly

นางสาวโสรยา เกิดพิบูลย์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ลักษณะการอบแห้งและการผลิตหน่อไม้แท่งที่มีใยอาหารสูงสำหรับผู้สูงอายุ
แหล่งเงิน รายได้
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 70,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 60 ถึง 30 ก.ย. 61
นางสาวโสรยา เกิดพิบูลย์ (หัวหน้าโครงการ)
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหน่อไม้มีจำกัด เนื่องจากข้อจำกัดของวัตถุดิบที่มีเฉพาะช่วงฤดูฝน และความหลากหลายในการแปรรูปที่น้อย หน่อไม้ไผ่รวกเป็นวัตถุดิบที่คนไทยนิยมบริโภค ซึ่งนอกจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงแล้ว ยังมีกลิ่นรส และรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ การเก็บรักษาหน่อไม้ในปัจจุบัน นิยมนึ่ง และพาสเจอร์ไรซ์ โดยบรรจุในถุงหรือกระป๋อง ดังนั้น กระบวนการอบแห้งหน่อไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และสะดวกต่อการเก็บรักษา จึงเป็นวิธีการที่สะดวก มีค่าใช้จ่ายน้อย อีกทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์จากหน่อไม้อบแห้ง รวมถึงผลิตภัณฑ์หน่อไม้ที่ผ่านการคืนรูปหลังการอบแห้งได้อีกมากมาย งานวิจัยนี้ศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งที่มีต่อคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้ง รวมถึงคุณลักษณะต่างๆ ของหน่อไม้หลังจากการดูดกลืนน้ำกลับ โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 0- 3 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งหน่อไม้โดยใช้อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้หน่อไม้มีความชื้นที่ลดลง มีการสูญเสียของลักษณะโครงสร้างทำให้เกิดการหดตัว และมีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่ลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ภายใต้ขอบเขตของการทดลองนี้ พบว่า การใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที ส่งผลให้หน่อไม้มีความชื้นที่เหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 7 (น้ำหนักฐานเปียก) และมีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่สูงกว่ากรณีการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอื่น และระยะเวลาอื่นตามลำดับ โดยหน่อไม้อบแห้งใช้เวลาในการดูดกลืนน้ำกลับในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที

คำสำคัญ : การอบแห้ง การคืนตัว หน่อไม้ หน่อไม้ไผ่รวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Drying characteristic and production of bamboo shoot stick with high fiber for elderly

Researcher: Asst. Prof. Soraya Kerdpiboon

Faculty: Agro-Industry **Department:** Agro-Industry

ABSTRACT

Bamboo shoot is a high nutritious material. However, it is limited in developing to Bamboo shoot products due to the lack of raw materials during the year except for raining season. Thailand bamboo is one of the varieties popular materials for Thai people since it has a lot of nutrients and unique flavor and taste. Processing of bamboo shoot is packing in a pouch or can before streaming, pasteurization or sterilization. Therefore, drying of bamboo shoot to prolong its shelf-life and easy to storage is an alternative method and low cost technique. In addition, development of other products from dried bamboo shoot and rehydrated bamboo shoot could be available. This research was studied effect of drying conditions on characteristics of the dried bamboo and its rehydrated product. Drying temperature in hot air tray dryers of 50, 60 or 70°C and drying times of 0-3 h were designed. It was found that using of higher temperature and longer time resulted bamboo shoot in moisture content decreased and shrinkage increased with significantly different (p<0.05). Moreover, rehydration of the sample decreased after drying temperature and time increased. The optimized condition for drying bamboo shoot in this research was found to use of 50°C for 120 minutes induced sample with moisture content of 7% (wet basis) and higher rehydration ratio compared with other conditions. Moreover, rehydration time to rehydrate the dried bamboo shoot in boiling water (100°C) was 3 minutes.

Keywords : Drying, Rehydration, Bamboo shoot, **Thailand bamboo.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในโครงการวิจัยเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

โสรยา เกิดพิบูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย i

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ii

กิตติกรรมประกาศ iii

สารบัญ iv

สารบัญตาราง vi

สารบัญภาพ vii

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 หน่อไม้ 3

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้ 4

2.1.2 การแปรรูปหน่อไม้ 5

2.2 การทำแห้ง 7

2.2.1 กระบวนการทำแห้ง 7

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง 8

2.2.3 ระบบการทำแห้ง 9

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง 10

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 16

3.1 วัตถุดิบ 16

3.2 อุปกรณ์การทดลอง 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง 17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ 17

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ 17

3.3.3 การศึกษาคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งหลังการคืนรูป 18

3.3.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 20

4.1 คุณลักษณะของหน่อไม้และหน่อไม้อบแห้ง 20

4.2 ผลของการทำแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้ 20

4.3 คุณลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้ในระหว่างการทำแห้ง 22

4.3.1 การหดตัว 22

4.3.2 ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้ง 23

4.3.3 การคืนตัวของหน่อไม้อบแห้งเทียบกับหน่อไม้ก่อนการอบแห้ง 24

4.4 ผลของระยะเวลาในการดูดคืนน้ำกลับที่มีต่อคุณภาพของหน่อไม้อบแห้ง 25

4.4.1 คุณลักษณะของหน่อไม้ที่ดูดคืนน้ำกลับ 26

4.4.2 ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้ง 27

4.4.3 ค่าสีของหน่อไม้หลังการดูดคืนน้ำกลับ 28

4.4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของหน่อไม้หลังการดูดคืนน้ำกลับ 29

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 31

5.1 สรุปผลการทดลอง 31

5.2 ข้อเสนอแนะ 31

บรรณานุกรม 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้สดและหน่อไม้อบแห้ง	4
2.2 สารอาหารที่มีในหน่อไม้สายพันธุ์ *Bambusa tulda*	5
2.3 สารอาหารที่พบในหน่อไม้สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	หน่อไม้ไผ่รวก	3
2.2	การเก็บรักษาหน่อไม้ไว้เพื่อการบริโภค	6
2.3	Hydrogen cyanide generation in bamboo shoot	7
3.1	หน่อไม้ที่นึ่งแล้ว	16
3.2	หน่อไม้ที่หั่นสำหรับการอบแห้ง	17
4.1	คุณลักษณะของหน่อไม้และหน่อไม้อบแห้ง	20
4.2	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที	22
4.3	ร้อยละการหดตัวของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 0-180 นาที	23
4.4	ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 0-180 นาที	24
4.5	น้ำหนักของหน่อไม้หลังการคืนรูปเทียบกับหน่อไม้สด ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 0-180 นาที	25
4.6	คุณลักษณะของหน่อไม้สด หน่อไม้อบแห้ง และหน่อไม้หลังการนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ โดย R1, R2, R3, ...R10 หมายถึงหน่อไม้หลังการดูดกลืนน้ำกลับที่เวลา 1,2,3,.....10 นาที ตามลำดับ	26
4.7	ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และนำมาและนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ	28
4.8	สีของหน่อไม้อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และนำมาและนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ	29
4.9	ค่าความแน่นเนื้อของหน่อไม้อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และนำมาต้มในน้ำ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หน่อไม้ (Bamboo shoot) เป็นส่วนของหน่ออ่อนของไผ่ที่สามารถรับประทานได้ (วิกิพีเดีย, 2560) โดยเป็นวัตถุดิบที่เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย ส่วนใหญ่นิยมบริโภคโดยนำมาต้ม หรือหากต้องการเก็บรักษา จะนำมาใส่ถุงที่ทนความร้อนก่อนการนำไปต้ม เก็บในที่อุณหภูมิห้องโดยเก็บไว้ทั้งถุง หรือใส่ปี๊บและให้ความร้อนน้ำเดือด และยังเป็นที่นิยมในประเทศแถบเอเชีย โดยเฉพาะจีน ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน ฟิลิปปินส์ และอินเดีย โดยนอกจากรับประทานในรูปหน่อไม้ต้มแล้ว ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นหน่อไม้กระป๋อง และหน่อไม้ดอง หน่อไม้ตากแห้ง เป็นต้น (Bal et al., 2010) หน่อไม้มีหลายสายพันธุ์ แต่ส่วนใหญ่นิยมบริโภคหน่อไม้ไผ่ตง และหน่อไม้ไผ่รวก ซึ่งการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่ ทำได้ในช่วงฤดูฝน เนื่องจากในฤดูอื่น หน่อไม้จะโตขึ้นเป็นต้นไผ่ และจะไม่ค่อยแตกหน่อออกมา เนื่องจากมีอากาศที่แห้ง โดยข้อมูลจากวิกิพีเดีย (2560) ได้เพิ่มเติมอีกว่า หน่อไม้มีสาร cyanogenic glycosides ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษต่อร่างกาย การต้ม หรือผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อในระดับสเตอริไลซ์เซชันสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ในหน่อไม้ลงได้

กระบวนการแปรรูปหน่อไม้ในระดับชาวบ้าน มีการนำมาต้มในน้ำเดือด หรือการบรรจุในสภาวะปิดสนิท เช่น ถุง หรือปี๊บก่อนการนำมาต้มในน้ำเดือด และมีการเก็บรักษาในรูปแบบของถุง และปี๊บดังกล่าวอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นพิษ หรือแม้แต่จุลินทรีย์ก่อโรคในหน่อไม้ อีกทั้งหน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ การให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรเซชันและนำมาเก็บรักษา ไม่สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum*ซึ่งพิษจากเชื้อดังกล่าวส่งผลอันตรายต่อระบบประสาท เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ดังนั้นการศึกษาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบหน่อไม้ จึงมีความสำคัญต่อการแปรรูปวัตถุดิบที่ถูกสุขลักษณะและมีความปลอดภัยในการบริโภค อีกทั้งยังส่งผลต่อการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบ และสามารถต่อยอดการผลิตให้สามารถทำได้จริงในทางการค้า

หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง กล่าวคือ ประกอบด้วยน้ำ ร้อยละ 77-94.70 (น้ำหนักเปียก) คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 2.6-5.1 และโดยเฉพาะไฟเบอร์ที่มีสูงถึง ร้อยละ 0.89-1.03 (น้ำหนักเปียก) (Satya et al., 2010) จึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและมีคุณค่าทางโภชนาการได้อีกมากทั้งนี้จากการที่หน่อไม้มีความชื้นสูง แนวทางในการลดความชื้นเพื่อการต่อยอดนำหน่อไม้อบแห้งไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตเพื่อทางการค้าได้ในอนาคต โดยจากข้อมูลการแปรรูปหน่อไม้ในประเทศไทยที่ผ่านมา ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลของหน่อไม้สด และหน่อไม้ต้ม บรรจุถุง หรือกระป๋อง แต่มีข้อมูลของหน่อไม้ที่ผ่านการแปรรูปโดยเฉพาะลักษณะผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์อบแห้งในปริมาณที่ไม่มากนัก

การอบแห้งเป็นการลดความชื้นของวัตถุดิบเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น อีกทั้งยังอาจสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบเพื่อต่อยอดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อีกหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์อบ ผลิตภัณฑ์ทอด เป็นต้น ชนิดของเครื่องอบแห้ง และสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ส่งผลโดยตรงต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การตรวจสอบลักษณะการอบแห้งของหน่อไม้ที่ผ่านการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ และสภาวะต่างๆ จึงสามารถใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำหน่อไม้อบแห้งไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าได้ในอนาคต อย่างไรก็ตามข้อมูลการเตรียมวัตถุดิบหน่อไม้ก่อนการแปรรูปค่อนข้างจำกัด งานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมหน่อไม้ ก่อนการนำไปอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ที่สภาวะต่างๆ รวมถึงการนำเสนอสภาวะที่เหมาะสมในการคืนตัวของหน่อไม้อบแห้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้ง และคุณภาพบางประการของหน่อไม้ที่อบแห้งด้วยเทคนิคและสภาวะต่างๆ

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้หลังจากการคืนตัวที่เวลาต่างๆ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การอบแห้งแบบลมร้อน เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน สามารถทำได้ทั้งในระดับครัวเรือน โอทอป และต่อยอดถึงในระดับอุตสาหกรรม ทั้งนี้สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเพื่อให้หน่อไม้มีคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการนำไปต่อยอดการแปรรูปผลิตภัณฑ์ รวมถึงการเก็บรักษาได้นานขึ้น เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการนำไปพัฒนากระบวนการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีหน่อไม้ไว้บริโภคได้ตลอดทั้งปี และยังเป็นแนวทางในการผลิตเพื่อการค้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

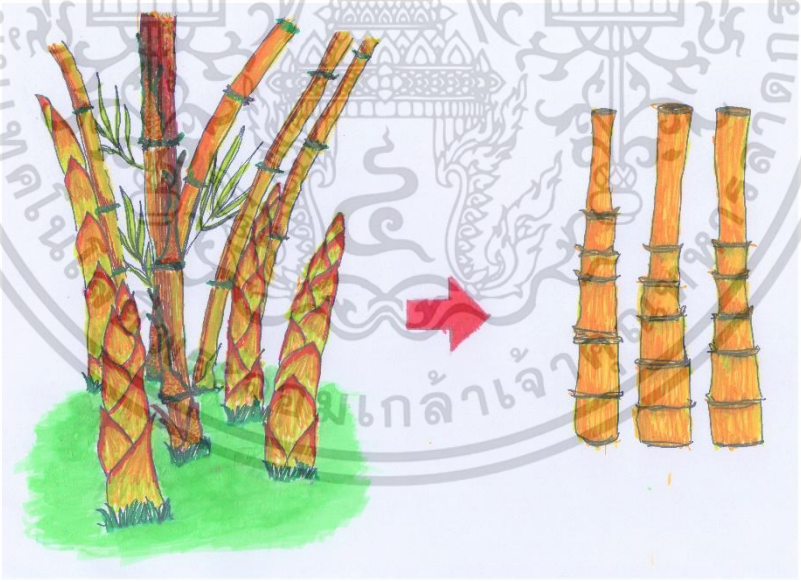
บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 หน่อไม้

หน่อไม้ (Bamboo shoot) มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Bambusa vulgaris*และ *Phyllostachys edulis* เป็นส่วนของหน่ออ่อนของไผ่ที่สามารถรับประทานได้ (วิกิพีเดีย, 2561)ถูกจัดว่าเป็นวัตถุดิบจากป่า โดยเป็นวัตถุดิบที่เป็นที่นิยมบริโภคกันมาช้านาน และบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ในรูปของหน่อไม้ที่ผ่านกระบวนการต้ม และหน่อไม้กระป๋อง หน่อไม้มีมากมายหลากหลายสายพันธุ์และชนิด โดยเฉพาะหน่อไม้ที่มีในประเทศไทยเป็นที่นิยมในการบริโภค

หน่อไม้ในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์ โดยหน่อไม้ที่พบในประเทศไทย ได้แก่ หน่อไม้ในกลุ่มจีนัส *Bambusaedulis* เช่น *B. oldhamii*, *B. pallida*, หน่อไม้ในกลุ่มจีนัส *Dendrocalamusasper*ได้แก่ *D. latiflorus*, และหน่อไม้ *Thyrosostachys siamensis* เป็นต้น (Chauhan et al., 2016)

หน่อไม้ไผ่รวก ชื่อภาษาอังกฤษว่า Monastery bamboo หรือ Thailand bamboo มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Thyrsostachys siamenis* เป็นหน่อจากไผ่ที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก กระจายพันธุ์ทั่วทุกภาคของประเทศไทย พบครั้งแรกในประเทศไทย จึงตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ให้เป็นเกียรติแก่ประเทศไทย กระจายพันธุ์ใน ยูนาน พม่า ลาว ไทย เวียดนาม ศรีลังกา บังกลาเทศ และมาเลเซีย (วิกิพีเดีย, 2561) หน่อไม้ที่มีในประเทศไทย มีหลายสายพันธุ์ ทั้งที่มีปลูกเอง เช่น หน่อไม้หวาน หน่อไม้ไผ่ตง และพบตามธรรมชาติ เช่น หน่อไม้ไผ่รวก แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 หน่อไม้ไผ่รวก

หน่อไม้ประกอบด้วย ส่วนราก (root) ส่วนลำต้น (ลำต้น) และใบ (leaf)โดยส่วนของลำต้นจะมีความแตกต่างกันตามสายพันธุ์ และจะมีรูตรงกลาง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว สี และลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันไป หน่อไม้จะผุดขึ้นมาจากดิน ซึ่งส่วนที่เป็นรากของหน่อไม้เมื่ออายุยังน้อย สามารถรับประทานได้(Chauhan et al., 2016) ส่วนลำต้นของหน่อไม้มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 90) และส่วนอื่นๆ เช่น เรซิน แทนนิน แวกซ์ และเกลืออินออร์แกนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้

หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง กล่าวคือ ประกอบด้วยน้ำ ร้อยละ 77-94.70 (น้ำหนักเปียก) คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 2.6-5.1 และโดยเฉพาะไฟเบอร์ที่มีสูงถึง ร้อยละ 0.89-1.03 (น้ำหนักเปียก) (Satya et al., 2010)โดยเฉพาะโปรตีน ร้อยละ 3.9 ซึ่งมีกรดอะมิโนมากถึง 17 ชนิดซึ่งสูงกว่าในผักบางชนิด เช่น แครอท หัวหอม และฟักทอง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเกลือแร่ชนิดต่างๆ เช่น โครเมียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล โคบอล เป็นต้น อีกทั้งยังมีไขมันต่ำอีกด้วย (Satya et al., 2010) หน่อไม้มีกรดปาล์มิติกเป็นกรดไขมันหลัก และยังมีกรดไขมันลิโนเลอิกอยู่บ้าง นอกจากนี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนกลูตามิก และไลซีนอยู่ด้วย (Sood et al., 2003) องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ Satya et al (2010) กล่าวคือมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก และเมื่อนำมาอบแห้ง พบว่าหน่อไม้มีโปรตีนที่สูงถึง ร้อยละ 21.6 อีกทั้งยังมีสตาร์ช ร้อยละ 9.2 และไฟเบอร์ร้อยละ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้สดและหน่อไม้อบแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	หน่อไม้สด	หน่อไม้อบแห้ง	%การลดลง
น้ำ (g/100g ตัวอย่างสด)	92.6	4.6	95.1
โปรตีน (g/100g ตัวอย่างแห้ง)	27.8	21.6	22.2
สตาร์ช (g/100g ตัวอย่างแห้ง)	28.3	9.2	67.5
ไฟเบอร์ (g/100g ตัวอย่างแห้ง)	5.2	5.0	4.6
แอสคอร์บิค (g/100g ตัวอย่างแห้ง)	2.1	0.2	88.9

ที่มา: Muchtadi and Adawiyal, 1996; Satya et al., 2010

นอกจากองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานที่มีในหน่อไม้ทั่วไปแล้ว หน่อไม้บางสายพันธุ์ เช่น *Bambusa tulda*ยังมีแร่ธาตุและสารอาหารที่สำคัญอีกหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งพบว่าแร่ธาตุที่มีในหน่อไม้ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม และแมกนีเซียมเป็นต้น อีกทั้งยังมีวิตามิน ได้แก่ วิตามินซี และวิตามินอี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในหน่อไม้อีกหลายสายพันธุ์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สารอาหารที่มีในหน่อไม้สายพันธุ์ *Bambusa tulda*

แร่ธาตุ	(mg/100 g)	สารอาหารอื่นๆ	(g/100g)
Calcium	4.06	Amino acids	3.65
Iron	3.19	Proteins	3.69
Magnesium	8.68	Carbohydrates	6.92
Phosphorus	19.31	Starch	0.59
Potassium	408	Fat	0.48
Sodium	12.96	Vitamin C (mg/100g)	1.42
zinc	0.72	Vitamin E (mg/100g)	0.61
		Dietary fiber	3.97
		Ash	0.85
		Moisture	83.60

ที่มา: Santoshet al., 2011

ตารางที่ 2.3 สารอาหารที่พบในหน่อไม้สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป

สารอาหาร	*B. balcooa*	*B. polymorpha*	*M. bambusoides*	*D. strictus*	*D. hamiltonii*	*D. giganteus*	*B. pallida*
Water (%)	91.65	91.65	91.22	85.98	92.37	91.19	92.29
Minerals (%)	0.99	0.91	0.98	1.14	1.01	0.89	1.12
Phosphorus (mg/100g)	30.99	15.06	14.28	58.13	27.76	12.57	32.27
Calcium (mg/100g)	24.01	180.69	47.58	139.5	44.16	26.93	21.17
Iron (mg/100g)	1.02	1.53	0.879	2.92	1.65	1.06	1.11
Hydrocyanic acid (%)	0.071	0.032	0.056	0.13	0.07	0.04	0.11
Protein (%)	2.71	2.10	3.29	1.98	2.60	2.59	2.31
Niacin (mg/100g)	1.40	2.60	6.7	2.10	2.60	6.40	1.4
Carbohydrate (%)	3.90	4.86	3.93	9.94	4.00	4.78	3.83

ที่มา: Bhat et al., 2005

2.1.2 การแปรรูปหน่อไม้

หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย เช่น จีน และญี่ปุ่น นิยมนำหน่อไม้ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์พื้นบ้านของคนในประเทศ เนื่องจากมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ประกอบด้วยไฟเบอร์ และมีปริมาณไขมันที่ต่ำ (Wang et al., 2019)

หน่อไม้พบในฤดูฝน จึงสามารถเก็บเกี่ยววัตถุดิบได้ในช่วงฤดูฝนเท่านั้น การเก็บเกี่ยวหน่อไม้และการเก็บรักษาเพื่อการบริโภคตลอดปีนั้น มีหลายวิธี ทั้งการต้มใส่ถุง การบรรจุกระป๋อง หรือปี๊บก่อนการนำไปให้ความร้อน หรือการนึ่ง และการบรรจุ เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.2 เป็นภาพหน่อไม้ที่ปอกเปลือก บรรจุใส่ถุง ผ่านการนึ่งนาน 2 ชั่งโมง และทำให้เย็น ก่อนการบรรจุถุงอีกชั้น และแขวนไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำในระดับครัวเรือน เพื่อเก็บไว้บริโภค นาน 6-12 เดือน หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการแปรรูปเพื่อการค้าที่สูง เนื่องจากวัตถุดิบหาได้ง่ายในประเทศไทย แต่มีข้อจำกัดในด้านความชื้นที่สูง แนวทางในการลดความชื้นของวัตถุดิบก่อนการนำไปแปรรูป จึงเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาของวัตถุดิบหน่อไม้ เพื่อเพิ่มช่องทางในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหน่อไม้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

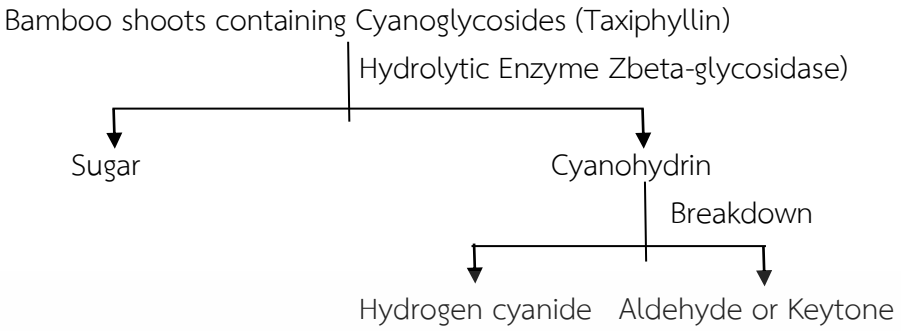
เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้การทำแห้ง เป็นวิธีการที่สะดวก และสามารถทำได้ทั้งในระดับครัวเรือน และนิยมมากในอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถลดพื้นที่ในการเก็บรักษาวัตถุดิบ และยังสะดวกในการเก็บรักษาวัตถุดิบที่ประหยัดกว่าการเก็บรักษาแบบสด หรือแบบแช่เยือกแข็ง

ภาพที่ 2.2 การเก็บรักษาหน่อไม้ไว้เพื่อการบริโภค

ในการแปรรูปหน่อไม้ทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรมทำได้หลายแบบ เช่น กระบวนการต้ม ซึ่งพบว่าสามารถลดหรือกำจัดปริมาณไซยาไนด์จากหน่อไม้ได้ตามระยะเวลาการต้ม (สุวรรณี และคณะ, 2554) ยังมีข้อจำกัดในด้านการเก็บรักษาเป็นเวลานาน อีกทั้งข้อจำกัดในด้านพื้นที่ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เพื่อการบริโภคตลอดปี (Wang et al., 2019) การฉายรังสีเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาล และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเสื่อมเสียของหน่อไม้ปอกเปลือกที่ผ่านการต้มและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ เป็นต้น การอบแห้งแบบต่างๆ (Li et al., 2002; Lv et al., 2018) โดยการอบแห้งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีการใช้ต้นทุนที่ต่ำ สามารถผลิตในปริมาณมาก และยังสามารถใช้เป็นวิธีการเตรียมวัตถุดิบอบแห้งเพื่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดไซยาไนด์จากหน่อไม้สด แสดงได้ดังภาพที่ 2.3 ดังนี้



ภาพที่ 2.3 Hydrogen cyanide generation in bamboo shoot
ที่มา: Satyaet al (2010)

นอกจากหน่อไม้มีสารกลุ่มพิวรีน และไซยาไนด์แล้ว หน่อไม้สดยังมีความเป็นกรดและมีรสชาติที่ขม ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยที่มีการลดความขม รวมถึงปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้มีปริมาณสารไซยาไนด์ที่แตกต่างกัน ขึ้นกับสายพันธุ์ และตำแหน่งต่างๆ ของหน่อไม้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลจากงานวิจัยที่พบว่าปริมาณสารไซยาไนด์มีค่าลดลงหลังจากการเก็บเกี่ยว (Satyaet al, 2010) นอกจากนี้การลดปริมาณไซยาไนด์สามารถทำได้โดยการใช้ความร้อนในการต้ม 98-102 องศาเซลเซียส นาน 148-180 นาที (Ferreira et al, 1995)การนึ่งหน่อไม้ (Tripathi, 1998) การเปลี่ยนน้ำในระหว่างการต้ม หรือการใส่เกลือลงไปร้อยละ 2 (Bhargava etal, 1996)สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้สูงถึงร้อยละ 97 มีข้อมูลจาก FAO และ WHO ที่กำหนดให้ปริมาณการได้รับสารไซยาไนด์ของมนุษย์ในแต่ละวัน หากไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ถือว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเนื่องจากร่างกายสามารถขับออกทางปัสสาวะได้หมด โดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้ให้ข้อมูลการสำรวจหน่อไม้สายพันธุ์ต่างๆ ตามท้องตลาดใน 31 จังหวัดทั่วประเทศ สุ่มตัวอย่างทั้งหมด 496 ตัวอย่าง พบว่า หน่อไม้สด มีปริมาณไซยาไนด์เฉลี่ย 167 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าระหว่าง 18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึง 943 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นกับสายพันธุ์และพื้นที่เพาะปลูก) ส่วนหน่อไม้ต้ม มีปริมาณไซยาไนด์เฉลี่ย 19.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าระหว่าง 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึง 92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (สุวรรณีและคณะ, 2554)กระบวนการแปรรูปสามารถลดปริมาณของสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ได้ โดยข้อมูล การนำหน่อไม้ไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทำให้ปริมาณไซยาไนด์ลดลงไปถึงร้อยละ 70และเมื่อต้มนานขึ้น ปริมาณไซยาไนด์ลดลงไปได้สูงถึง ร้อยละ 96 ตามลำดับ (Ferreira et al., 1995)

2.2 การทำแห้ง

2.2.1 กระบวนการทำแห้ง

การทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying or dehydration) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying) คำจำกัดความนี้จะไม่รวมถึงการกำจัดน้ำออกอาหารด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การแยกโดยทางกล การทำให้ข้นโดยการใช้เมมเบรน การระเหย และการอบ เนื่องจากในกระบวนการเหล่านี้จะมีการจำกัดน้ำน้อยกว่าการทำให้แห้ง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์แอคทิวิตี้ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการมักจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการทางอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องทำแห้ง คือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้ง โดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่ว ถั่วลิสง ส่วนผสมสำหรับการทำขนมปัง อาหารเช้าประเภทที่ทำมาจากธัญพืช ชา และเครื่องเทศ (วิไล, 2543)

การอบแห้งอาหารทั่วๆ ไปอาศัยหลักการที่ว่าน้ำหรือความชื้นที่มีในอาหารสูงๆ จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ และจากปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิด จะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้นอาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหารซึ่งน้ำในอาหารจะมีการเคลื่อนที่จากภายในออกมาที่ผิวหน้าเพื่อระเหยออกไปนั้นมี 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ (capillary Force) น้ำจะมีการเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างระหว่างเซลล์อาหารทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและอีกแบบ คือ การแพร่ (diffusion) ผ่านเซลล์น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่จากภายในอาหารไปยังผิวหน้าโดยการแพร่ผ่านเซลล์ของอาหารน้ำจะมีการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ การเคลื่อนที่ของน้ำแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของอาหารมีการเคลื่อนที่มาชิดกันมากขึ้นเมื่อการทำแห้งผ่านไปได้ระยะหนึ่ง

เมื่อเริ่มการทำแห้ง น้ำที่มีอยู่ในอาหารจะเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารด้วยอัตราการเคลื่อนที่ที่เร็วกว่าการที่น้ำที่ผิวอาหารเคลื่อนที่สู่ภายนอก จะทำให้สังเกตได้ว่าที่ผิวของอาหารเสมือนมีไอน้ำเกาะอยู่ ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในช่วงแรกนี้จะเรียกว่า ช่วงอัตราการทำแห้งแบบเริ่มต้น (initial rate period) ต่อมาระเหยของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยเคลื่อนที่จากในอาหารมาที่ผิวด้วยอัตราที่เท่ากันกับการเคลื่อนที่จากที่ผิวสู่ภายนอกจะเรียกว่าช่วงการอบแห้งแบบคงที่ (constant rate period) และช่วงสุดท้ายของการอบแห้งน้ำจะมีการเคลื่อนที่แบบการแพร่ซึ่งมีอัตราการเคลื่อนที่ที่ช้าเรียกว่า ช่วงการอบแห้งแบบลดลง (falling rate period) ดังนั้นในระหว่างการทำแห้งในช่วงแรกอัตราการทำแห้งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่อยๆ ช้าลงจนถึงจุดๆ หนึ่งน้ำจึงหยุดการระเหยจุดดังกล่าว ความชื้นในอาหารจะมีค่าเท่ากับ equillibrium moisture content

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

ในการทำแห้งหรือการอบแห้งนั้น ตัวอย่างอาหารมีการสูญเสียความชื้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำที่มีอยู่ในอาหาร ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารที่แตกต่างกัน จะมีผลต่ออัตราเร็วของการทำแห้งที่แตกต่างกัน อาหารแต่ละชนิดจึงมีลักษณะการทำแห้งที่แตกต่างกัน โดย ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง ดังที่สุคนธ์ชื่น (2546) ได้อธิบายไว้นั้น พอสรุปได้ว่ามีปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร กล่าวคือ อาหารที่มีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันย่อมมีอัตราการทำแห้งที่แตกต่างกัน เช่น อาหารที่มีลักษณะเนื้อที่โปร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในอาหารได้ดีกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่น หรืออาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง จะทำให้เนื้ออาหารมีความเหนียว มีสิ่งกีดขวางการระเหยของน้ำ และรวมถึงอาหารที่ผ่านกระบวนการเตรียมมาก่อนการทำแห้ง เช่น การบด การนวด การลวก ส่งผลให้เซลล์แตก ถูกทำลายบางส่วน เมื่อนำมาทำแห้ง จะทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้เร็ว อัตราการทำแห้งจึงเร็วขึ้น เป็นต้น

สำหรับขนาดและรูปร่าง เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งเช่นกัน เช่น อาหารที่มีขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิวมาก จะมีโอกาสที่อาหารมีอัตราการทำแห้งที่เร็ว อาหารจะแห้งเร็วกว่า อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของเครื่องอบแห้ง ประสิทธิภาพของเครื่อง รวมถึงสภาวะการทำแห้ง ยังเป็นปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อความเร็วในการทำแห้งเช่นกัน อาหารที่ถูกวางในตำแหน่งที่มีการสัมผัสกับลมร้อน รวมถึงมีความเร็วของลมร้อนที่สม่ำเสมอ และปริมาณอาหารที่มีต่อการอบแห้งในแต่ละครั้งที่เหมาะสม จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำแห้งดี อาหารใช้เวลาในการอบแห้งที่ไม่นาน เครื่องอบแห้งบางชนิดมีการดูดอากาศจากภายนอกระบบมาผ่านเครื่องให้ความร้อน (heater) ทำให้อาหารร้อนขึ้น ซึ่งเป็นระบบเปิด หากคุณภาพของอากาศในช่วงที่มีการดูดเข้ามาในเครื่องอบแห้ง นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูง หรือมีไอน้ำในอากาศที่สูง (เช่น กรณีฝนตกใหม่ๆ) จะทำให้การทำแห้งนั้นใช้เวลานานขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิและความเร็วลมยังมีส่วนสำคัญในการช่วยให้การทำแห้งใช้เวลาที่น้อยลงด้วย การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความสามารถในการรับไอน้ำสูงมากขึ้น จึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วยนอกจากนี้ลมร้อนยังทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากอาหาร เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น ความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.2.3 ระบบการทำแห้ง

การทำแห้งโดยให้ระบบการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้น ระบบจะต้องรักษาความแตกต่างของความดันไอ และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศและในผลิตภัณฑ์ให้ได้สูงสุด ควบคู่กับสัมประสิทธิ์การพาที่ผิวของอาหารที่มีค่าสูง จะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารได้สูง ดังนั้นการออกแบบระบบการทำแห้งในเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ จึงอาศัยหลักการดังกล่าว

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในครัวเรือน วิสาหกิจชุมชน หรือแม้แต่ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด เช่น เครื่องอบลมร้อนแบบถาด เตาอบลมร้อน เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด เครื่องอบแห้งแบบระเหิด เป็นต้น โดยเครื่องอบแต่ละชนิด มีประสิทธิภาพการทำงาน ความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แห้งที่แตกต่างกันไป

สำหรับเครื่องอบลมร้อนแบบถาด เป็นเครื่องอบแห้งที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ อีกทั้งใช้เงินทุนและค่าดูแลรักษาเครื่องมือที่ต่ำควบคุมง่าย และสามารถผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ในคราวละมากๆ แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งอาหารแต่ละชนิด อีกทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งที่ผิวข้างนอก อาจเกิดสีน้ำตาลในอาหารแห้งบางชนิด อีกทั้งส่งผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการที่สูงเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบอื่น จึงอาจต้องมีการสลับตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ให้มีการกระจายตัวที่ดี และปรับปรุงการทำแห้งให้มีความสม่ำเสมอที่มากขึ้น

โดยหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาด จะมีอุปกรณ์ในการดูดอากาศ (blower)จากภายนอกระบบ ผ่านแหล่งความร้อน (heater) เพื่อให้เกิดลมร้อนเข้ามาสู่บริเวณที่จะทำการอบแห้ง โดยภายในเครื่องอบแห้งจะมีระบบการไหลเวียนของอากาศ เพื่อให้อากาศร้อนได้สัมผัสกับอาหาร เมื่ออาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนขึ้น จะมีการระเหยน้ำออกจากอาหาร ไปยังอากาศร้อน อากาศจะมีความชื้นอยู่ และจะถูกนำไหลเวียนออกจากระบบ เครื่องอบแห้งลมร้อนบางชนิดจะไม่มีการนำอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้อีก ทำให้น้ำที่ระเหยออกไป จะไปสู่บรรยากาศ แต่เครื่องอบแห้งลมร้อนบางชนิดจะมีการนำอากาศกลับมาใช้อีก อากาศจะผ่านเครื่องทำความร้อน และเป็นอากาศร้อน ไหลเวียนเข้าในระบบของเครื่องอบแห้งอีกครั้ง ตู้อบลมร้อนมีหลายชนิด เช่น ตู้อบลมร้อนแบบถาด ตู้อบลมร้อนแบบอุโมงค์ เป็นต้น

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง

กระบวนการทำแห้งที่ใช้กันทั่วไปคือการใช้ลมร้อนในการทำแห้ง ซึ่งมีข้อดีคือใช้พลังงานในการผลิตต่ำ ควบคุมการผลิตได้ง่าย มีปริมาณผลผลิตมากกว่าวิธีการทำแห้งแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามการทำแห้งวิธีดังกล่าวจะส่งผลต่อลักษณะของอาหารดังต่อไปนี้ (Satya et al., 2010)

2.2.4.1 การสูญเสียความชื้นในอาหาร

อาหารเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นเป็นองค์ประกอบ โดยจะมีมากหรือน้อย ขึ้นกับวัสดุอาหารนั้นๆ สำหรับอาหารกลุ่มผักและผลไม้ ถูกจัดให้เป็นอาหารที่มีการเสื่อมเสียง่าย เนื่องจากมีน้ำหรือความชื้นเป็นองค์ประกอบที่สูง แนวทางในการยืดอายุวัตถุดิบอาหารเหล่านี้ คือการลดความชื้นที่มีในอาหารให้อยู่ในปริมาณที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำในอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ การอบแห้งจะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนไปสู่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารได้รับความร้อน และระเหยออกจากอาหาร สำหรับการอบแห้งแบบพาความร้อน (Convection drying) สักกมน (2555) ได้อธิบายไว้ว่า การที่ความร้อนเข้าไปสู่วัสดุภายในเครื่องอบแห้งโดยการพา มีอากาศหรือก๊าซร้อนเป็นพาหะในการพาความร้อน มีการถ่ายเทหรือการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุนั้นอาจเป็นได้โดยหลายกลไก ได้แก่ การแพร่ของของเหลว (liquid diffusion) การแพร่ของไอ (vapor diffusion) การแพร่แบบ Knudsen (Knudsen diffusion)

วิไล (2543) อธิบายลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารไว้ว่า เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูง จะลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกการเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี่ การแพร่ของของเหลว ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวทำละลายในอาหารส่วนต่างๆ การแพร่ของของเหลว ซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร และความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร ช่วงเวลาเริ่มต้นของการอบแห้งเป็นเวลาที่ทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก จากนั้นน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ ในทางปฏิบัติผิวหน้าของอาหารจะค่อยๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้ง และอัตราการทำให้แห้ง ลักษณะที่สำคัญของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ ได้แก่ มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และมีอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ฟิล์มอากาศที่อยู่รอบอาหารจะกีดขวางการถ่ายเทความร้อน และไอน้ำระหว่างการทำแห้ง ความเร็วของอากาศจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไป ไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหาร ทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอ และอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำแห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำ หรือมีความชื้นสูง จะทำให้อัตราเร็วในการระเหย และการทำแห้งลดลง

นอกจากนี้ กิตติพงษ์ (2536) อธิบายว่ากระบวนการทำแห้ง จะทำให้ตัวถูกละลายที่เป็นองค์ประกอบของน้ำในอาหารจะมีการเคลื่อนที่ในระหว่างการทำแห้ง เนื่องจากน้ำภายในอาหารเป็นตัวทำละลายขององค์ประกอบเหล่านี้ เกิดการเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่ง จึงพาองค์ประกอบเหล่านี้ให้เคลื่อนที่ไปด้วย เมื่อนำอาหารมาทำแห้งด้วยลมอุ่น การหดตัวของชิ้นอาหารที่ผิวจะทำให้ส่วนของอาหารที่อยู่ภายในเกิดแรงดัน ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของของเหลวจากภายในออกมาสู่ภายนอก ลักษณะการยอมให้ผ่านของผนังเซลล์ ในเนื้อเยื่ออาหารจะเป็นตัวกำหนดการไหลของน้ำจากภายในสู่ภายนอก ขณะที่น้ำเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวเพื่อเกิดการระเหยนั้น จะพาตัวถูกละลายออกมาด้วย เมื่อน้ำระเหยออกจากผิวไป ตัวถูกละลายจะตกค้างอยู่ที่ผิว ทำให้ผิวมีปริมาณตัวถูกละลายมากกว่าตัวทำละลาย ขณะเดียวกันจะเกิดกลไกที่ตรงกันข้ามคือ ขณะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวมากกว่าความเข้มข้นภายใน จะเกิดการแพร่ของตัวถูกละลายจากด้านนอกเข้าด้านใน ซึ่งจะสวนทางกับกรณีแรก โดยการเคลื่อนที่ทั้ง 2 แบบนี้ จะเกิดการเคลื่อนที่แบบใดมากกว่าขึ้นกับสมบัติเฉพาะตัวของอาหาร และสภาวะในการทำแห้ง โดยทั่วไปแล้วมักจะเกิดกรณีแรกมากกว่า

เมื่ออาหารมีการสูญเสียความชื้น จะส่งผลให้ลักษณะภายนอก และลักษณะโครงสร้างของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงมากนั้น ขึ้นกับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นชนิด องค์ประกอบของอาหาร วิธีการทำแห้ง สภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง เป็นต้น ทั้งนี้หากการถูกทำลายลักษณะโครงสร้างของอาหารแห้งเกิดขึ้นมาก เมื่อนำอาหารแห้งมาดูดกลืนน้ำกลับเพื่อการบริโภค จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของอาหาร และการยอมรับของผู้บริโภคด้วย

2.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของอาหาร

ในการอบแห้งของอาหาร ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 2.2.4.1 แล้วว่า น้ำในอาหารเกิดการระเหยความร้อนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก รวมถึงโครงสร้างของอาหาร ส่งผลให้อาหารแห้งมีขนาดและรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป อีกทั้งเมื่อนำอาหารแห้งไปผ่านการดูดกลืนน้ำกลับ ส่งผลให้อาหารที่มีการดูดกลืนน้ำกลับ มีขนาดและรูปร่างที่ไม่เหมือนเดิม เนื่องจากโครงสร้างบางส่วนถูกทำลาย ทำให้ไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนแล้ว อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการอบแห้งแบบระเหิด จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างที่น้อยกว่า กรณีการอบแห้งแบบวิธีอื่น เนื่องจากมีการระเหิดน้ำในอาหารอย่างรวดเร็ว อีกทั้งไม่มีการใช้ความร้อนในการทำแห้ง ทำให้อาหารมีการสูญเสียลักษณะโครงสร้างไม่มาก อีกทั้งยังคงรักษากลิ่นรส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการดูดกลืนน้ำกลับได้ดี แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือ ราคาแพง และหากมีการบรรจุที่ไม่ป้องกันการเข้าออกของความชื้น และอากาศ จะส่งผลให้มีการดูดกลืนน้ำกลับเข้าไปในอาหารอย่างรวดเร็ว

2.2.4.3 สี

การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของอาหาร การสะท้อนแสงและสี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ เกิดจากความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง โดยทั่วไปการทำแห้งที่เวลานานกว่า และอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่มากกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในอาหาร ทำให้เกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา สามารถลวก ใช้กรดแอสคอร์บิกหรือกรดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อป้องกันการเกิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นปริมาณซัลเฟอร์ที่ตกค้างอยู่ในผักผลไม้ ยังเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย (วิไล, 2543)

อัตราการเกิดสีน้ำตาลในนม หรือผลิตภัณฑ์ผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหาร และอุณหภูมิในการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิการทำแห้งที่สูง เมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงกว่าร้อยละ 4-5 และอุณหภูมิการเก็บรักษาเกิน 38 $^{\circ}$C (Lea, 1958) โดย Li et al. (2002) กล่าวว่า วิธีการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนนั้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอย่างมาก

กิตติพงษ์ (2536) อธิบายว่า สีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ในการทำแห้งถือได้ว่าเป็นข้อบกพร่องด้านคุณภาพ หากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นรุนแรงจะส่งผลต่อกลิ่นรส และการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ด้วย ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลนี้คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ในทางอาหารปฏิกิริยานี้มักเกิดระหว่างหมู่คาร์บอนีลของน้ำตาลกับหมู่อะมิโนของโปรตีน จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นพอลิเมอร์สีน้ำตาล มีลักษณะปรากฏที่ไม่ดี และเกิดการสูญเสียสารอาหารอีกด้วย อัตราเร็วของการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนั้นยังขึ้นกับปริมาณน้ำในอาหาร โดยในสารละลายที่เจือจางจะเกิดปฏิกิริยาช้า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะมีอัตราเร็วสูงสุด เมื่อมีความชื้นร้อยละ 15-20

การเปลี่ยนสีเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้งของผัก และผลไม้ ดังผลการทดลอง จลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการทำแห้ง การเปลี่ยนสีเกิดได้จากหลายปัจจัย ปัจจัยสำคัญที่ได้มีการตรวจสอบวิเคราะห์ คือ กระบวนการทำแห้ง (ผลของการใช้กระบวนการทำแห้งวิธีต่างๆ ที่ตรวจสอบแล้ว ได้แก่ การทำแห้งแบบดั้งเดิม การทำแห้งแบบสุญญากาศ การทำแห้งแบบไมโครเวฟ การทำแห้งแบบออสโมติก และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) และสภาวะในการทำแห้ง (Mujumdar, 2000)

Mujumdar (2000) กล่าวว่า สภาวะในการทำแห้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งจากเทคนิคการทำแห้งที่เร็ว และการทำแห้งที่ช้าจะมีสีที่แตกต่างกันอย่างมาก ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในการทำแห้งแบบดั้งเดิมไม่ส่งผลต่อความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้ง แต่ส่งผลต่อค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการทำแห้งทุกสภาวะการทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้ง มีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง สำหรับวัตถุดิบสีเหลืองทั้งหมด โดยผลของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีแดงระหว่างการทำแห้งแบบดั้งเดิมนั้นรุนแรงกว่าผลของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ การเปลี่ยนสีอาจเกี่ยวข้องกับปฏิริยาเมลลาร์ด สำหรับค่าสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการทำแห้งทุกสภาวะการทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งลดลง และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น สำหรับวัตถุดิบสีเหลือง (แอปเปิ้ล มันฝรั่ง และกล้วย) ผลของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดสีเหลืองนั้นส่งผลรุนแรงกว่าผลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Mujumdar, 2000)

การเกิดสีน้ำตาลของผัก และผลไม้ในระหว่างการทำแห้งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ และที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งยังส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ เกลือ และการลวกโดยใช้น้ำหรือไอน้ำร้อน สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากกปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ผลการทดลองให้ผลที่ใกล้เคียงกันในค่าสีทุกๆด้าน (Mujumdar, 2000)

2.2.4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อสัมผัสของอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการทำแห้ง เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ นอกจากนั้นยังส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผัก และผลไม้แห้งที่นำมาดูดคืนน้ำใหม่ อาหารที่ผ่านการลวก ทำให้สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งส่วนต่างๆ ของอาหารทำให้เกิดความเครียดภายใน ปัจจัยดังกล่าว จะอัดและเปลี่ยนแปลงรูปร่างเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งไปเป็นอาหารที่มีลักษณะ เหี่ยว ย่น อาหารจะดูดกลืนความชื้นอีกครั้งในระหว่างการดูดคืนน้ำอย่างช้าๆ แต่จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม

อุณหภูมิ และอัตราการทำแห้งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารอย่างยิ่ง การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ และอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่า ตัวละลายจะเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวอาหารในระหว่างที่น้ำถูกกำจัดออกในขั้นตอนการทำแห้ง กลไก และอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะ สำหรับตัวละลายแต่ละชนิด และขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะการทำแห้ง การระเหยของน้ำทำให้ตัวละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้อาหาร เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าของอาหาร ทำให้อาหารเกิดลักษณะผิวแห้งแข็ง (case hardening) ส่งผลให้อัตราการทำแห้งลดลงเนื่องจากอาหารมีผิวหน้าที่แห้งแข็งกักเก็บน้ำภายในอาหารทำให้ไม่สามารถระเหยออกมาสู่ภายนอกได้ ทำให้อาหารมีผิวหน้าที่แห้งแต่ภายในยังคงมีความชื้น (วิไล,2543)

Li et al. (2002) กล่าวว่า วิธีการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนนั้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งอย่างมาก

กิตติพงษ์ (2536) กล่าวว่า ข้อบกพร่องของการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส คือ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปคืนรูปพบว่ามีเนื้อสัมผัสที่แข็ง เหนียว และมีการสูญเสียความชุ่มน้ำ ในกรณีเนื้อเยื่อพืช การสูญเสียความเต่งของเซลล์และการตกผลึกของโพลีแซ็คคาไรด์ อาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลง การตกผลึกของโพลีแซ็คคาไรด์ จะเกิดจากการปริมาณน้ำที่ลดลง การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสนี้จะพบได้ทั้งในการทำแห้งด้วยอากาศร้อน และการทำแห้งในสภาวะแช่แข็ง อุณหภูมิของการทำแห้งจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับไม่ได้นี้

2.2.4.5การหดตัวของอาหาร

กระบวนการทำแห้งทุกแบบยกเว้นการทำแห้งในสภาวะแช่แข็ง จะทำให้เกิดการหดตัวของอาหารมากน้อยต่างกันไปในแต่ละวิธี แม้อาหารที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ก็จะมีการหดตัวด้วยในช่วงต้นการหดตัวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ลดลง แต่ในช่วงปลายของการทำแห้ง การหดตัวจะลดลง อาหารจะมีขนาดและรูปร่างคงที่ก่อนที่การทำแห้งจะสิ้นสุด ความโปร่งพรุนของโครงสร้างและ bulk density ของผักแห้งจะขึ้นกับสภาวะในการทำแห้ง เมื่ออัตราการทำแห้งในตอนต้นสูง ผิวภายนอกของชิ้นอาหารจะแข็ง ปริมาตรจะคงที่อยู่ตัว ขณะที่การทำแห้งดำเนินต่อไป เนื้อเยื่อภายในจะแยกตัวเป็นโครงสร้างที่โปร่ง อาหารที่เกิดการทำแห้งในลักษณะนี้จะมี bulk density ต่ำ และคืนรูปง่าย ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการทำแห้งในตอนต้นต่ำ ชิ้นอาหารจะหดตัวทำให้มี bulk density สูง การหดตัวนี้มีผลต่ออัตราการทำแห้งเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิว (กิตติพงษ์, 2536)

การหดตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดในการทำแห้งของวัตถุดิบ เช่น ผัก และผลไม้ การเกิดลักษณะที่แข็งเกี่ยวข้องกับการหดตัว หรือเป็นผลมาจากการหดตัว ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า ผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะมีลักษณะทั่วไปที่ เรียกว่า ยากที่จะเคี้ยว เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง บางครั้งจะทำให้เกิดลักษณะอาหารที่ภายนอกแห้งและแข็ง (case hardening) ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดที่ผิวหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวอย่างที่สัมผัสกับตัวกลางที่ให้ความร้อน ได้แก่ การใช้ลมร้อนทั่วไป หรือ การใช้แสงอาทิตย์ ระดับของการเกิดลักษณะดังกล่าวที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ระยะเริ่มต้นในการทำแห้ง เนื่องจากความแตกต่างของสภาวะในการทำให้แห้ง และชนิดของสารประกอบที่เกี่ยวข้อง จะส่งผลทำให้เกิดประเภท และขนาดของการหดตัว นอกจากนั้นวัตถุดิบจำพวกคาร์โบไฮเดรตหรือที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีปริมาณน้ำมาก เมื่อทำการทำแห้งจะมีการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการ ดังนั้นปริมาตรของวัตถุดิบจะลดลง และเกิดการหดตัวขึ้น การหดตัวคือการที่ปริมาตรโดยรวมของวัตถุดิบลดลงจากวัตถุดิบเริ่มต้น (Chen and Mujumdar, 2008)

2.2.4.6ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของอาหาร

เมื่ออาหารถูกทำให้แห้ง สภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง ไม่ว่าจะเป็นการได้รับความร้อน (การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน) หรือไม่ใช้ความร้อน (การอบแห้งแบบระเหิด)ล้วนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของอาหาร ดังนั้นความสามารถของอาหารแห้งในการดูดคืนน้ำกลับเข้าไปจึงเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารหลังจากกระบวนการทำแห้ง

อาหารแห้งเมื่อนำมาตรวจสอบความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับ เพื่อให้อาหารกลับมามีความชื้นอยู่ภายใน ในกรณีที่อาหารมีการดูดคืนน้ำกลับได้มาก ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการดูดซึมน้ำของอาหารแห้ง การพองตัว และการละลายของสารที่ละลายได้ (Guizani et al., 2008) ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับยังสัมพันธ์กับระดับการถูกทำลายของเซลล์และโครงสร้างของอาหารแห้ง เนื่องจากระดับการถูกทำลายนี้เป็นสาเหตุให้เกิดโพรงหรือโครงสร้างที่เป็นทางเข้าของน้ำในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ (Akonor et al., 2006; Niamnuy et al., 2007; Guizani et al., 2008; Vega-Galvez et al., 2011)

Li et al. (2002) กล่าวว่า วิธีการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนนั้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราในการดูดกลืนน้ำกลับที่ต่ำ

การหาความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับ มีการนำตัวอย่างมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ในเวลาที่กำหนด และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังการดูดกลืนน้ำกลับ เทียบกับกรณีก่อนการดูดคืนน้ำกลับ โดยทั่วไปจะต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และดูความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับว่าเป็นกี่เท่าของตัวอย่างแห้ง

เทคนิคการอบแห้งเป็นหนึ่งในเทคนิคที่นำไปใช้ในการอบแห้งหน่อไม้ โดยเฉพาะประเทศจีน และอินเดีย โดยการอบแห้งหน่อไม้นอกจากส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างของหน่อไม้ดังกล่าวแล้ว ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้ด้วยเช่นกัน ดังแสดงรายละเอียดจากผลการทดลองของ Muchtadi and Adawiyal (1996)

2.3งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในระหว่างกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร น้ำในอาหารมีการเคลื่อนที่จากภายในมายังที่ผิว และจากที่ผิวไปสู่บรรยากาศ ลักษณะเฉพาะของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของอาหาร ได้แก่ ความหนาแน่นของอาหาร การเกิดการหดตัวของอาหาร ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับ เป็นต้น ปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพและการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wang et al (2019) ศึกษาผลของการใช้รังสีแกมมาในการยืดอายุการเก็บรักษาของหน่อไม้ โดยการนำหน่อไม้ที่ปอกเปลือกแล้วมาหั่นให้มีความยาว 10 เซนติเมตร กว้างและหนาเท่ากับ 1 และ 0.3 เซนติเมตร ตามลำดับ นำมาลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนน้ำต่อหน่อไม้เท่ากับ 3:1 โดยต้มนาน 5 นาทีทำให้เย็นและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ โดยผลการทดลองพบว่า การใช้รังสีแกมมา สามารถลดการเกิดสีน้ำตาล และปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์ในหน่อไม้ ได้แก่ PAL (phenylalanine ammonia-lyase), POD (peroxidase) และ PPO (polyphenol oxidase) ตามลำดับ

Felisberto et al. (2017) มีการใช้หน่อไม้เป็นแหล่งของไฟเบอร์และสตาร์ช โดยการนำหน่อไม้สายพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ *Dendrocalamus asper*, *Banbusa tuldoides*และ *B. vulgaris*มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผงแป้ง จากนั้นตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี โดยพบว่าผงแป้งที่ผลิตได้จากหน่อไม้ มีความชื้นน้อยกว่า 10 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง มีโปรตีน ไขมัน และเถ้า น้อยกว่า 3 กรัมต่อ100 กรัมตัวอย่าง และเมื่อตรวจสอบปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า มีน้ำตาล สตาร์ช และไฟเบอร์ เป็นองค์ประกอบไฟเบอร์สูงมากกว่า 60 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง นอกจากนี้ยังอธิบายคุณลักษณะของผงแป้งที่ผลิตได้ว่าเป็นผงสีเหลืองสว่าง มีค่า pH สูงกว่า 5.0 มีความสามารถในการละลายได้ในน้ำ ต่ำกว่า ร้อยละ 2.5 ถึง 7.5 ขึ้นกับสายพันธุ์ของหน่อไม้ที่นำมาทำผงแป้ง

Hashim et al. (2014) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ในการอบแห้งฟักทองในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60และ70องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 ชั่วโมง โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิและความหนาของฟักทองมีผลต่อจลนพลศาสตร์ในการอบแห้ง โดยการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และการลดความหนาของตัวอย่างลงสามารถลดเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงได้

นันทวัน และ สุพิชา (2554) ได้ศึกษาคุณภาพของฟักทองอบแห้งที่ผ่านจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 60และ 70องศาเซลเซียสการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ 8 W/g และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ 8 W/g และ 9.6 W/g ที่สภาวะสุญญากาศ (13.3 kPa) พบว่าการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อน สามารถลดเวลาการอบแห้ง จากเวลาการอบแห้งที่สั้นลงทำให้ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองของฟักทองอบแห้งที่ได้จากการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสูงกว่าฟักทองจากการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟที่สภาวะสุญญากาศ ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของฟักทองอบแห้งเมื่อเทียบกับฟักทองก่อนการอบแห้งน้อยที่สุด นอกจากนี้การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ยังสามารถรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนได้มากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM) พบว่า โครงสร้างของฟักทองอบแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีความเป็นรูพรุนชัดเจน ขณะที่โครงสร้างของฟักทองอบแห้งด้วยลมร้อนมีลักษณะอัดแน่น ทำให้อัตราการคืนตัวของฟักทองอบแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสูงกว่าการใช้ลมร้อนอย่างเดียว

Bal et al. (2010) ศึกษาลักษณะการอบแห้งและการแพร่ของความชื้นในหน่อไม้แผ่นในระหว่างการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ โดยใช้ความร้อนระหว่าง 140 ถึง 350 วัตต์ โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของหน่อไม้ในระหว่งการอบแห้ง เพื่อการออกแบบการอบแห้งให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

หน่อไม้ไผ่รวก (Phai ruak)สายพันธุ์ *Thyrsostachys siamensis*จากบ้านโป่งหวาย อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรีเก็บเกี่ยวในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561 ที่ผ่านการปอกเปลือก บรรจุในถุงโพลีเอทีลีน และนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อนึ่ง นาน 30 นาที ก่อนการนำมาบรรจุถุงซ้อนอีก 1 ชั้น แขวนไว้ในที่อากาศถ่ายเท (แสดงดังภาพที่ 3.1) อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเก็บรักษานานไม่เกิน 5 เดือน

ภาพที่ 3.1 หน่อไม้ที่นึ่งแล้ว

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

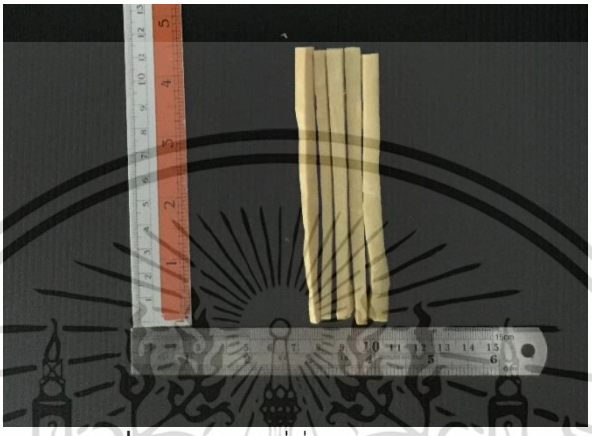
ตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) (Progress Electronic LTD., Thailand)
ตู้อบลมร้อน (UM 400, Memmert, Germany)
เครื่องอบแห้งแบบระเหิด (CoolSafe™, Scanvac, Denmark)
เครื่องวัดสี (Chroma meter CR-400, Konica Minolta, Japan)
Hot plate (22720, E.G.O., Germany)
เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (New Classic MS, Mettler Toledo, Switzerlznd)
เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable Micro Systems, TA.XT plus, UK)
อุปกรณ์ตรวจวัดคุณลักษณะทางกายภาพ เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง
อุปกรณ์ครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบในข้อ 3.1 ที่ขนส่งมาจากจังหวัดกาญจนบุรี ถึงคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นานไม่เกิน 10 วัน มาหั่นเป็นแท่ง (stick)ที่มีความกว้างและความหนา 5 มิลลิเมตร ยาว 10-12 เซนติเมตรลักษณะการตัดตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 3.2 ตัวอย่างที่ตัดแล้วจะนำใส่ในถุงซิป และเตรียมสำหรับการอบแห้งทันที



ภาพที่ 3.2 หน่อไม้ที่หั่นสำหรับการอบแห้ง

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้

การอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบระเหิด โดยนำตัวอย่างหน่อไม้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบระเหิด (CoolSafe™, Scanvac, Denmark) โดยนำตัวอย่างที่หั่นเรียบร้อยแล้ว ไปเข้าเครื่องฟรีสเซอร์อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำเข้าเครื่องอบแห้งแบบระเหิด อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จาก -40 องศาเซลเซียส จนถึง 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10 ชั่วโมง และคงอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ไว้อีก 3 ชั่วโมง ก่อนนำตัวอย่างออกมาตรวจวัดข้อมูลคุณลักษณะของตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวอย่างมาตรฐาน

การอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Progress Electronic LTD., Thailand) มีปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 0-180 นาที ในการทดลองแต่ละครั้ง จะทำการอบแห้งตัวอย่าง ครั้งละ 800 กรัม โดยสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบดังนี้

1) ความชื้นของตัวอย่าง ตามวิธีการของAOAC (2000)
2) การหดตัว (shrinkage) วัดการหดตัวของตัวอย่างก่อนการอบแห้ง และหลังการอบแห้ง โดยรายงานในรูปร้อยละการหดตัวของตัวอย่าง (% Volume shrinkage)โดยการนำตัวอย่างสดตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่เวลาใดๆ ไปแทนที่ในสารละลาย ethyl alcohol ความเข้มข้น ร้อยละ 95 และชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาปริมาตรของหน่อไม้สดและหน่อไม้อบแห้ง โดยใช้สมการ volume = mass/density
3) ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ โดยอ้างอิงตามวิธีการของ Kerdpiboonet al (2007) โดยการชั่งน้ำหนักของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งที่เวลาใดๆ (R_t)มาชั่งน้ำหนักตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งแล้วดังกล่าว ไปต้มในน้ำ อุณหภูมิ 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส นาน 10 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการดูดคืนน้ำกลับ (R_r) รายงานผลเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักตัวอย่างหลังการดูดคืนน้ำกลับต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง (R_r/R_t)

4) น้ำหนักของตัวอย่างหลังการดูดคืนน้ำกลับต่อน้ำหนักตัวอย่างสดทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการดูดคืนน้ำกลับ (R_r) เปรียบเทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างก่อนการอบแห้ง (R_0) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของหน่อไม้ที่ผ่านการดูดคืนน้ำกับหน่อไม้สด รายงานผลเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักตัวอย่างหลังการดูดคืนน้ำกลับต่อน้ำหนักตัวอย่างสด (R_r/R_0)

5) ลักษณะปรากฏของตัวอย่าง โดยการถ่ายภาพ ใช้กล้องดิจิตอล Nikon รุ่น D3100 ตั้งกล้องถ่ายรูปโดยใช้ขาตั้งกล้องวางบนโต๊ะโดยกำหนดให้ตัวกล้องสูงจากตัวอย่าง 30 เซนติเมตร โดยมีการตั้งฉากไม้สีดำบังแสงรบกวนจากภายนอก 3 ด้าน มีความยาวด้าน x ด้าน 61 เซนติเมตร ติดตั้งไฟ LED สีขาว ซึ่งให้ความสว่าง 450 LM ติดตั้งตรงตำแหน่งด้านบนของฉาก

ทำการคัดเลือกสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งหน่อไม้ โดยกำหนดให้หน่อไม้อบแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 (น้ำหนักฐานเปียก) เป็นสภาวะที่มีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด และมีการหดตัวที่น้อยที่สุดตามลำดับ ไปทำการทดลองหา คุณลักษณะการดูดคืนน้ำกลับของตัวอย่าง ในข้อ 3.3.3 ต่อไป

3.3.3 การศึกษาคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งหลังการคืนรูป

ทำการอบแห้งหน่อไม้โดยใช้สภาวะการอบแห้งที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.3.2 มาศึกษาคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งหลังการคืนรูป โดยการต้มในน้ำเดือด นาน 0-10 นาที สุ่มตัวอย่างมาตรวจวัดคุณภาพทุก 1 นาที โดยตรวจวัดคุณลักษณะทางกายภาพดังต่อไปนี้

1) น้ำหนักของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการต้ม (Rehydration ratio)รายละเอียดดัง 3 . 3 . 2 ข้อ 3)

2) สี(L*, a*, b*,ΔE) ด้วยเครื่องวัดสี (Chroma meter CR-400, Konica Minolta, Japan)

โดยที่ L=100 คือ สว่างที่สุด L=0 คือ มืดที่สุด
+a คือ สีแดง –a คือ สีเขียว และ
+b คือ สีเหลือง –b คือ สีน้ำเงิน

และคำนวณค่า ΔE จากสูตร $\Delta E = \sqrt{???L^2 + ???a^2 + ???b^2}$

3) ลักษณะเนื้อสัมผัสวัดค่า shear force ดัดแปลงจาก Kirmaci and Singh (2018)

กำหนดให้ Pre-test speed 1.50 mm/sec, Test speed 2.00 mm/sec, Distance 12 mm โดยใช้ชุดอุปกรณ์การวัดแบบ Knife Edge with Slotted Insert (HDP/BS)

4) ลักษณะปรากฏของตัวอย่าง โดยการถ่ายภาพ รายละเอียดดัง 3.3.2 ข้อ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ95 ($p \leq 0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วยสองส่วนหลัก ได้แก่ การอธิบายถึงคุณลักษณะของหน่อไม้ไผ่รวกที่ผ่านการอบแห้ง ได้แก่คุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้ง การเปลี่ยนแปลงของความชื้น สี การหดตัว ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้ง เพื่อการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง สำหรับส่วนที่สอง ได้แก่ การตรวจสอบคุณลักษณะของหน่อไม้ที่อบแห้งตามสภาวะที่คัดเลือก และมีการตรวจวัดคุณลักษณะปรากฏและลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้อบแห้งที่ผ่านการดูดคืนน้ำกลับที่เวลาต่างๆ โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

4.1 คุณลักษณะของหน่อไม้และหน่อไม้อบแห้ง

จากภาพแสดงลักษณะปรากฏของหน่อไม้สด (R) ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 89.96±3.26 น้ำหนักเปียก หน่อไม้อบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (TD)และหน่อไม้ที่อบแห้งแบบระเหิด (FD) และเมื่ออบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนแบบถาดระหว่างอุณหภูมิ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที มีคุณลักษณะของหน่อไม้สด (raw, R) และหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้การอบแห้งลมร้อนแบบถาด (tray dryer, TD) และการอบแห้งแบบระเหิด (freeze dryer, FD) แสดงดังภาพที่ 4.1 โดยจากการสังเกตพบว่า ลักษณะภายนอกของหน่อไม้อบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนแบบถาดและแบบระเหิด มีคุณลักษณะภายนอกที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นกรณีด้านสีที่พบว่าหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งลมร้อนแบบถาดมีสีเข้มกว่าแบบระเหิดเล็กน้อย

R TD FD FD TD

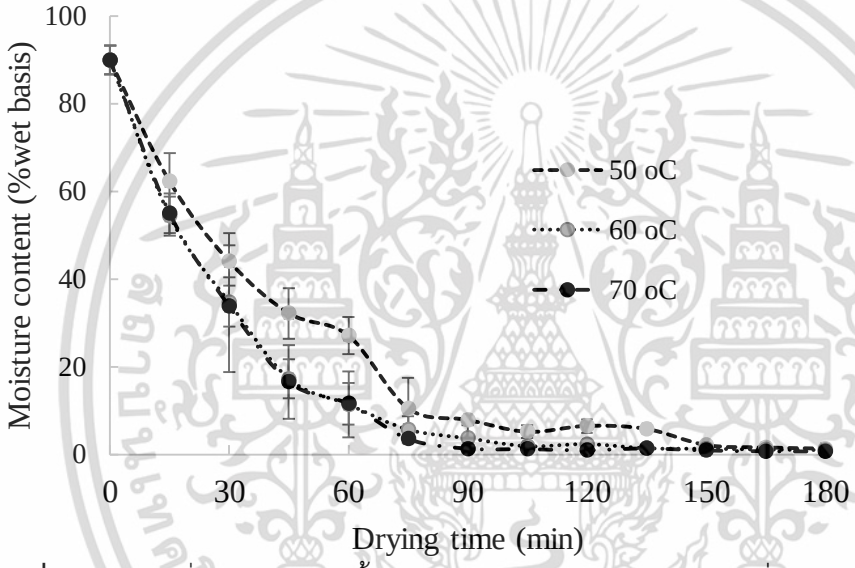
ภาพที่ 4.1 คุณลักษณะของหน่อไม้และหน่อไม้อบแห้ง

หมายุเหตุ: สัญลักษณ์ R หมายถึงหน่อไม้สด,FD หมายถึงหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหิด และ TD หมายถึงหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด

4.2 ผลของการทำแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่อไม้สด (R) ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 89.96±3.26 น้ำหนักเปียก หน่อไม้อบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (TD)และหน่อไม้ที่อบแห้งแบบระเหิด (FD) และเมื่ออบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดระหว่างอุณหภูมิ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที มีความชื้นร้อยละ 1.00±0.29 น้ำหนักเปียก และหน่อไม้ที่อบลมร้อนแบบระเหิด มีความชื้นร้อยละ 7.21±3.42 ต่อน้ำหนักเปียก ตามลำดับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.2 ผลการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิสูง (70 และ 60 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้หน่อไม้มีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่ากรณีการใช้ที่อุณหภูมิต่ำ (50 องศาเซลเซียส) โดยการอบแห้งหน่อไม้จนมีความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 7 (น้ำหนักเปียก) เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที, ที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที และที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที ส่งผลให้หน่อไม้มีความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 3.55, 5.68 และ 5.17 (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที

จากกราฟในภาพที่ 4.2 การอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส น่าจะเกิดช่วงการอบแห้งแบบคงที่ ที่เวลา 15 นาทีแรก จึงทำให้เห็นช่วงของการอบแห้งที่ 0-15 นาที เป็นช่วงการอบแห้งแบบคงที่ ที่เวลา 15-75 นาที และ 75–150 นาที เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ตามลำดับ แต่ในกรณีการอบแห้งหน่อไม้ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่สามารถสังเกตเห็นช่วงของอัตราการอบแห้งแบบคงที่ ซึ่งอาจอยู่ในช่วงแรกก่อนการเก็บตัวอย่าง จากนั้นสังเกตเห็นอัตราการอบแห้งลดลง ระหว่างการอบแห้งจนถึงเวลาประมาณ 60 นาที และอัตราการอบแห้งแบบลดลงในช่วงที่สอง จนถึง ระดับความชื้นสมดุล ที่เวลาประมาณ 90 และ 120 นาที ที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

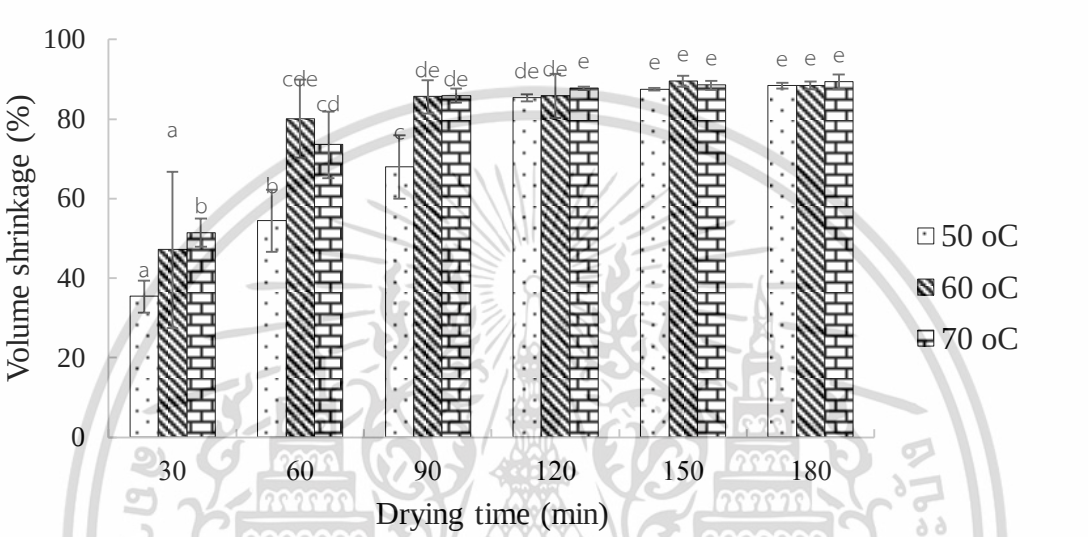
ผลการทดลองสอดคล้องกับในกรณีการอบแห้งแครอทของ Kerdpiboon (2009) ที่อบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งในเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดแก่แครอทโดยใช้อุณหภูมิสูง ส่งผลให้อาหารมีการลดลงของความชื้นที่เร็วกว่าการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้ในระหว่างการทำแห้ง

4.3.1 การหดตัว

วัตถุดิบอาหารเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้น้ำในอาหารเกิดการระเหย โครงสร้างของอาหารเกิดการหดตัว และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และขนาดตามลำดับ จากภาพที่ 4.3 แสดงค่าร้อยละการหดตัวของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และระยะเวลานาน 0-180 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3ร้อยละการหดตัวของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 0-180 นาที

หน่อไม้ที่อบแห้งนานขึ้นมีค่าร้อยละของการหดตัวที่สูงมากขึ้น อีกทั้งการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้หน่อไม้มีค่าร้อยละการหดตัวที่สูงกว่า โดยสังเกตเห็นได้ในช่วงแรกของการอบแห้ง ที่เวลา 30นาที พบว่าหน่อไม้ที่อบแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการหดตัวที่ต่ำกว่าการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่ออบแห้งนาน 60-90 นาที พบว่าหน่อไม้ที่อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส มีร้อยละการหดตัวที่ต่ำกว่า การอบแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่ออบแห้งหน่อไม้นานตั้งแต่ 120 นาที พบว่าหน่อไม้มีค่าร้อยละของการหดตัวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกช่วงอุณหภูมิของการอบแห้งทั้งนี้อาจเกิดจากการที่อาหารมีการระเหยของน้ำในช่วงอัตราการระเหยแบบลดลง ทำให้ที่ผิวของอาหารเกิดการหดตัวมาก ส่งผลให้น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกไปได้มากนัก แม้ว่าจะใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันก็ตาม

อุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อการการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอาหาร เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความชื้นในอาหารที่สูง อีกทั้งเกิดแรงสเตรส (stress)ภายในอาหาร ส่งผลให้อาหารมีระดับการหดตัวที่สูงตามลำดับ (Devahastin, 2004) อาหารจะมีคุณลักษณะ ทั้งรูปร่างและรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ จนเมื่อเวลาผ่านไป เมื่ออาหารมีการได้รับความร้อนจนถึงช่วงของอัตราการอบแห้งที่ลดลง ซึ่งหมายถึงอัตราการระเหยของน้ำในอาหารมาที่ผิวอาหาร มีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวอาหารไปสู่ระบบ จะทำให้ที่ผิวของอาหารนั้นแข็ง หรือในลักษณะที่เรียกว่า case hardening จะทำให้น้ำใน

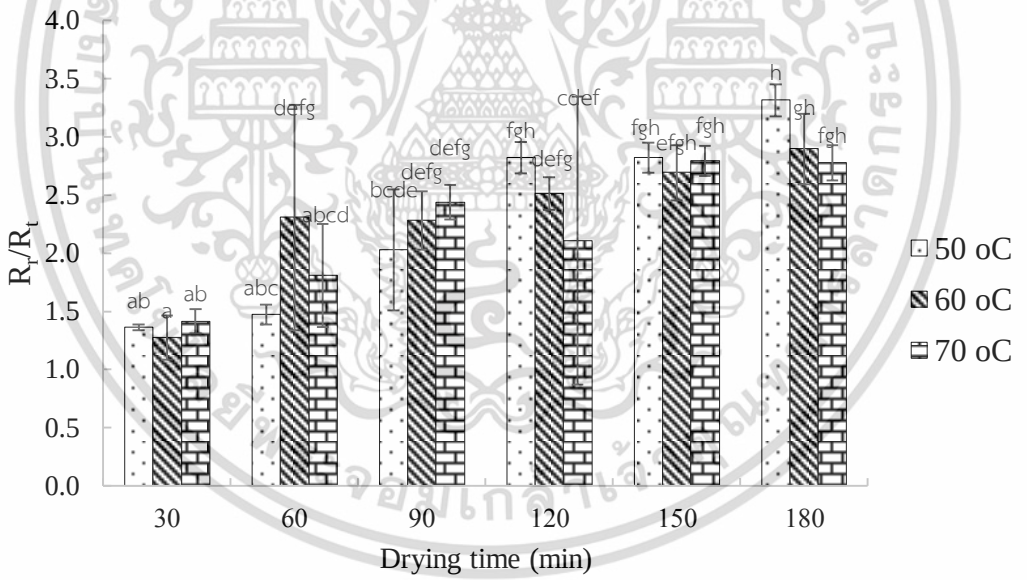
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารระเหยออกได้น้อยลง และมีค่าร้อยละการหดตัวที่ไม่แตกต่างกันมากถึงแม้ว่าจะมีการใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกันก็ตาม (Kerdpiboon, 2009)

4.3.2 ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้ง

อาหารที่ผ่านการอบแห้ง ส่วนใหญ่จะมีการนำไปคืนรูปโดยการใส่น้ำอุ่นหรือน้ำร้อน เพื่อให้อาหารแห้งนั้นกลับมามีคุณลักษณะใกล้เคียงกับก่อนการอบแห้ง และนำไปบริโภคต่อ อาหารที่มีการถูกทำลายของลักษณะโครงสร้างที่น้อย จะมีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับเข้าไปภายในได้ดี แตกต่างจากอาหารที่มีการถูกทำลายของโครงสร้าง จะมีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับเข้าไปภายในได้ไม่ดี

จากภาพที่ 4.4 แสดงค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้เมื่อเทียบกับหน่อไม้อบแห้ง โดยในช่วงแรกของการอบแห้ง คือที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที พบว่าหน่อไม้มีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับ 1.27-1.41, 1.47-2.31 และ 2.03-2.44 เท่าของน้ำหนักแห้ง ขึ้นกับอุณหภูมิในการอบแห้งตามลำดับ อย่างไรก็ตาม หน่อไม้ที่อบแห้งที่เวลานานขึ้น และใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับมากนัก โดยหน่อไม้อบแห้งที่เวลา 120, 150 และ 180 นาที มีค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับระหว่าง 2.11-2.82, 2.69-2.82 และ 2.78-3.31 เท่าของน้ำหนักแห้งตามลำดับ



ภาพที่ 4.4ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 0-180 นาที

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้ ในบางสภาวะการทดลองนั้นมีช่วงค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้นอกจากสภาวะการทดลองแล้ว คุณลักษณะของหน่อไม้ ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ โดยเฉพาะความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับดังกล่าว โดยในการเตรียมหน่อไม้สด มีการใช้หน่อไม้ ให้มีความกว้าง และความหนา เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และกำหนดความยาว ระหว่าง 10-12 เซนติเมตร ทั้งนี้วัตถุดิบหน่อไม้ไผ่รวกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

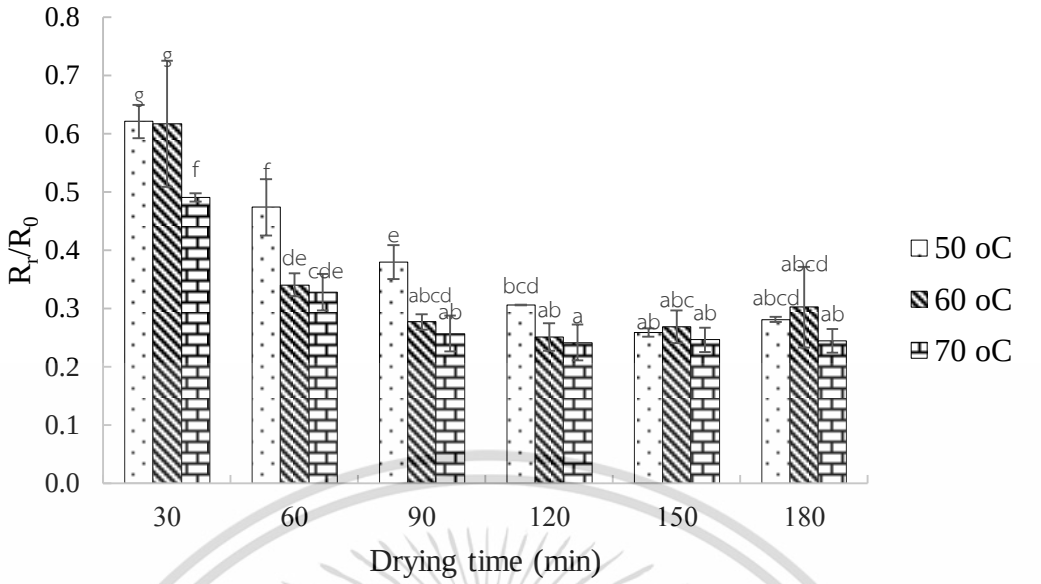
ประมาณ 3-4 เซนติเมตร และส่วนลำต้นในบางหน่อมีรูตรงกลาง พื้นที่ผิวของหน่อไม้ที่มาจากบริเวณตรงกลางหน่อมีลักษณะเรียบ ซึ่งแตกต่างจากเนื้อของหน่อไม้ ด้วยลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่มีความไม่สม่ำเสมอกัน อาจส่งผลต่อลักษณะการหดตัวของรูปร่าง และความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับได้แตกต่างกันบ้าง

การผลิตหน่อไม้อบแห้งช่วยให้สามารถเก็บวัตถุดิบไว้ได้เป็นเวลานาน เมื่อเทียบกับหน่อไม้สด เมื่อเก็บไว้เกิน 3 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านสี กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัส ทั้งนี้หน่อไม้อบแห้งที่ผลิตได้จะเป็นวัตถุดิบสำคัญในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากหน่อไม้ การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ จึงให้ความสำคัญกับการพิจารณาสภาวะที่ส่งผลให้หน่อไม้อบแห้งมีความสามารถในการดูดคืนน้ำที่สูง ซึ่งผลการทดลองจากภาพที่ 4.4 นี้ พบว่า หน่อไม้เมื่ออบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที มีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่สูงที่สุด แต่ผลการทดลองไม่แตกต่างจากกรณีการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 และ 150 นาที การอบแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 150 และ 180 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่สูง และเวลาที่นาน ส่งผลต่อการถูกทำลายของโครงสร้างผลิตภัณฑ์ โดยจากการทดลองจะพบว่า การใช้การอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้หน่อไม้มีแนวโน้มของค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำที่สูงกว่ากรณีการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในการอบแห้งตามลำดับ

4.3.3 การคืนตัวของหน่อไม้อบแห้งเทียบกับหน่อไม้ก่อนการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้งเทียบกับตัวอย่างก่อนการอบแห้ง (ตัวอย่างสด) ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4 โดยพบว่า สภาะที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดส่งผลให้หน่อไม้มีการถูกทำลายโครงสร้าง ทำให้ไม่สามารถดูดคืนน้ำกลับเข้าไปในตัวอย่างได้เหมือนเดิม โดยอัตราส่วนของน้ำหนักของหน่อไม้ที่คืนรูปต่อน้ำหนักของหน่อไม้สด อยู่ระหว่าง 0.22-0.62 เท่าของน้ำหนักตัวอย่างสด ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ทั้งนี้ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้ที่อบแห้งโดยการใช้เวลาการอบแห้งที่น้อย มีการถูกทำลายโครงสร้างที่น้อยกว่า จึงสามารถดูดคืนน้ำกลับเข้าไปในตัวอย่างได้มาก ดังจะเห็นจากผลการทดลองที่อบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีอัตราส่วนความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับเท่ากับ 0.62, 0.62 และ 0.49เท่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างสด อย่างไรก็ตาม ในช่วงการอบแห้งดังกล่าว ตัวอย่างมีความชื้นที่สูง คือ อยู่ที่ร้อยละ 62.24, 54.39 และ 55.01น้ำหนักเปียก ความชื้นดังกล่าวสูงมาก ไม่เหมาะต่อการอบแห้งหน่อไม้ที่ต้องการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li *et al* (2002) ที่อธิบายว่าหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งโดยการใช้ลมร้อนโดยทั่วๆไป ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะภายนอกที่แข็ง และมีความสามารถในการดูดคืนน้ำที่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 น้ำหนักของหน่อไม้หลังการคืนรูปเทียบกับหน่อไม้สด ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 0-180 นาที

หมายเหตุ: R_rคือน้ำหนักของหน่อไม้อบแห้งที่คืนรูปโดยการต้มน้ำร้อนนาน 10 นาที และ R_oคือ น้ำหนักของหน่อไม้สด

ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ เพื่อการผลิตหน่อไม้อบแห้งสำหรับการนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ต่อนั้น พิจารณาจากความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้ง ที่ต่ำกว่าร้อยละ 7 (น้ำหนักเปียก) ลำดับต่อมานั้น ตัวอย่างควรมีค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับเมื่อเทียบกับของแห้งอยู่ในสัดส่วนที่สูง มีค่าน้ำหนักหลังการดูดคืนใกล้เคียงกับตัวอย่างสด รวมทั้งมีค่าร้อยละการหดตัวของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มาก ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ความชื้นของหน่อไม้อบแห้งตามหัวข้อที่ 4.2 ที่อบแห้งหน่อไม้จนมีความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 7 (น้ำหนักเปียก) เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที, ที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที และที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที ส่งผลให้หน่อไม้มีความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 3.55, 5.68 และ 5.17 (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่อุณหภูมิและเวลาการอบแห้งดังกล่าว มีค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับ เท่ากับ 1.81, 2.51 และ 2.82 เท่าของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง และมีค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับ เท่ากับ 0.33, 0.28 และ 0.38 เท่า ต่อน้ำหนักตัวอย่างสด ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าการอบแห้งหน่อไม้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที จะได้หน่อไม้อบแห้งที่มีคุณลักษณะทางกายภาพ โดยเฉพาะความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่ดีที่สุด จึงเลือกใช้สภาวะการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที ในการอบแห้งหน่อไม้ เพื่อการตรวจวิเคราะห์ระยะเวลาในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ต่อไป

4.4 ผลของระยะเวลาในการดูดคืนน้ำกลับที่มีต่อคุณภาพของหน่อไม้อบแห้ง

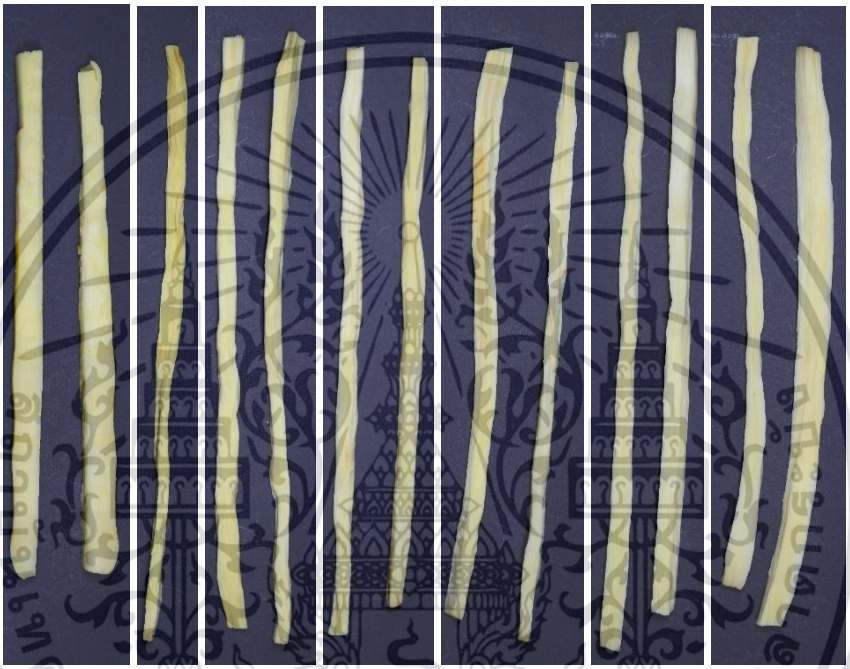
ในการผลิตอาหารอบแห้งที่มีคุณลักษณะที่ดีนั้น การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งภายใต้สภาวะที่ทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ แล้ว การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ ยังเป็นอีก 1 ปัจจัยที่ช่วยให้มีข้อมูลที่ใช้ในการแปรรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์เช่นกัน การศึกษาช่วงเวลาในการคืนรูปของหน่อไม้อบแห้งที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 คุณลักษณะของหน่อไม้ที่ดูดคืนน้ำกลับ

จากภาพที่ 4.6 แสดงคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที และมาดูดคืนน้ำกลับที่เวลา 1 ถึง 10 นาที ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของหน่อไม้ที่ดูดคืนที่ช่วงเวลาต่างๆ กับหน่อไม้สด และหน่อไม้อบแห้ง ผลการสังเกตพบว่าหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งและดูดคืนน้ำกลับในทุกช่วงเวลา ไม่สามารถคืนรูปร่างได้เหมือนกับกรณีของหน่อไม้สด



ภาพที่ 4.6 คุณลักษณะของหน่อไม้สด หน่อไม้อบแห้ง และหน่อไม้หลังการนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ โดย R1, R2, R3, ...R10 หมายถึงหน่อไม้หลังการดูดกลืนน้ำกลับที่เวลา 1,2,3,.....10 นาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

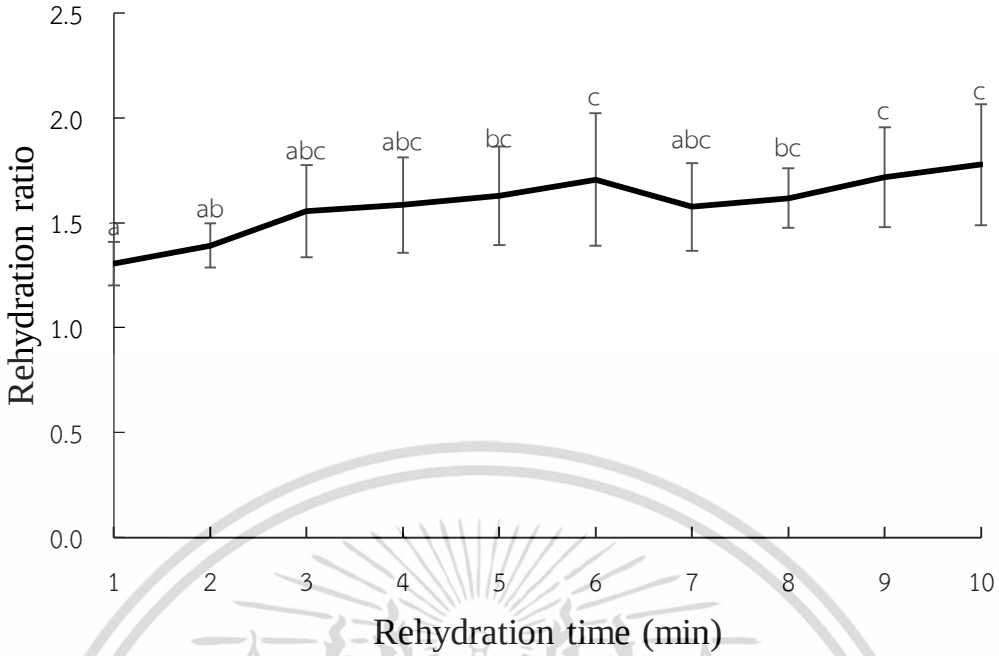
R6 R7 R8 R9 R10

ภาพที่ 4.6 (ต่อ) คุณลักษณะของหน่อไม้สด หน่อไม้อบแห้ง และหน่อไม้หลังการและนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ โดย R1, R2, R3, ...R10 หมายถึงหน่อไม้หลังการดูดกลืนน้ำกลับที่เวลา 1,2,3,.....10 นาที ตามลำดับ

4.4.2 ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้ง

จากการตรวจวัดค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสนาน 120 นาที และดูดคืนน้ำกลับที่เวลาต่างๆ พบว่า หน่อไม้อบแห้ง เมื่อนำมาดูดคืนน้ำกลับ มีค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ที่คงที่ตั้งแต่การแช่ตัวอย่างในน้ำเดือดนาน 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

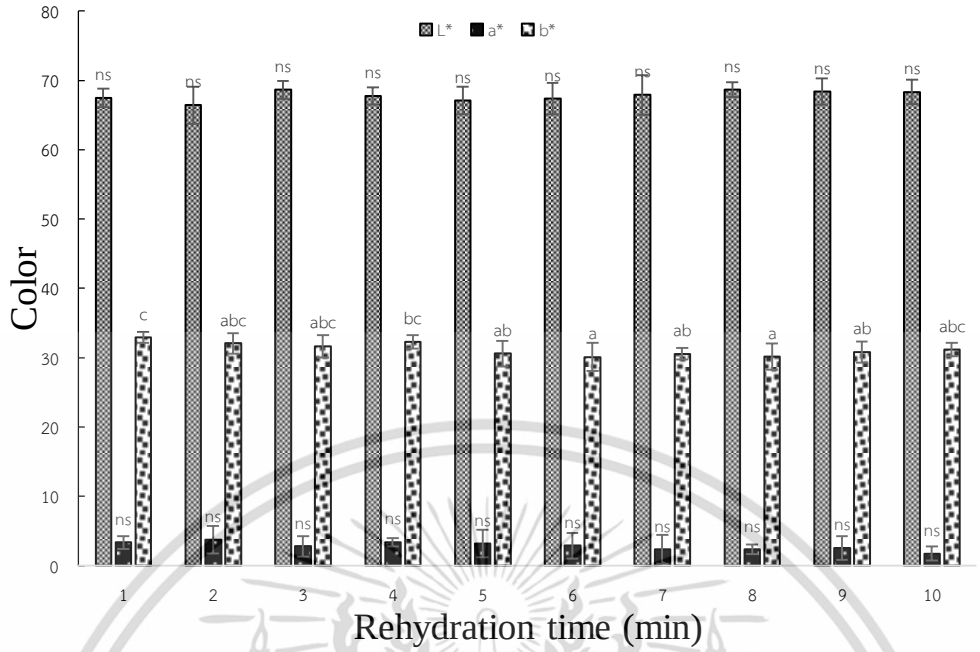


ภาพที่ 4.7ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และนำมาและนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

4.4.3 ค่าสีของหน่อไม้หลังการดูดคืนน้ำกลับ

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของหน่อไม้อบแห้งที่ดูดกลืนน้ำร้อนที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.8 โดยจากผลการทดลองพบว่าความสว่าง และค่าความเป็นสีแดง ของหน่อไม้อบแห้งที่ดูดคืนน้ำกลับที่ระยะเวลาต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)ยกเว้นกรณีของค่าความเป็นสีเหลืองที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มที่ลดลงตั้งแต่การดูดคืนน้ำกลับในนาทีที่ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำและความร้อนมีส่วนช่วยในการละลายวิตามินและสารให้สีที่อยู่ในหน่อไม้ โดยสังเกตเห็นสีเหลืองที่เกิดขึ้นหลังจากการต้มหน่อไม้ไปในระยะเวลาหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

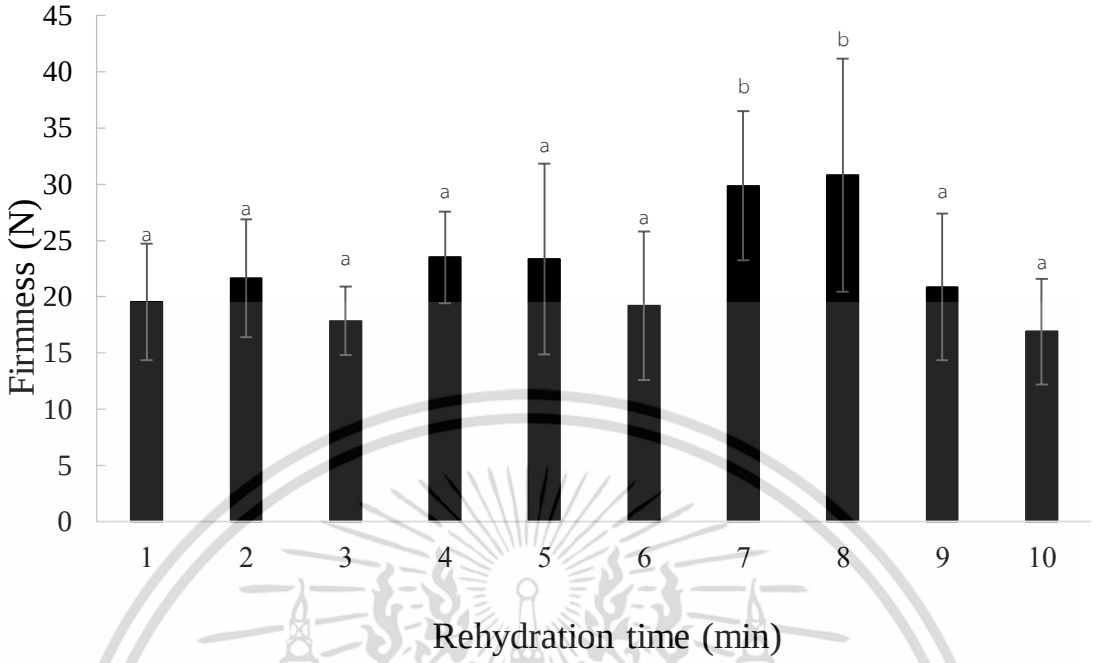


ภาพที่ 4.8 สีของหน่อไม้อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และนำมาและนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ โดยแท่งแรกแสดงค่าความสว่าง แท่งที่สองแสดงค่าความเป็นสีแดง และแท่งที่สามแสดงค่าความเป็นสีเหลือง

4.4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของหน่อไม้หลังการดูดคืนน้ำกลับ

หน่อไม้อบแห้งเมื่อจะนำมาบริโภค จะมีการนำมาดูดคืนน้ำกลับโดยการต้มในน้ำเดือด โดยจากการตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อของหน่อไม้อบแห้งที่มีการดูดคืนน้ำกลับที่เวลาต่างๆ พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของหน่อไม้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามช่วงเวลาการดูดคืนน้ำ ($p>0.05$) แต่จากข้อมูลพบว่าหน่อไม้มีค่าความแน่นเนื้อในช่วงเวลาการต้ม 6 นาทีแรก ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หลังจากนาทีที่ 7-8 ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9ค่าความแน่นเนื้อของหน่อไม้อบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้พบว่า การอบแห้งหน่อไม้โดยใช้อุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้หน่อไม้มีความชื้นที่ลดลง มีการสูญเสียของลักษณะโครงสร้าง ทำให้เกิดการหดตัว และมีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่ลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ภายใต้ขอบเขตของการทดลองนี้พบว่า การใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที ส่งผลให้หน่อไม้มีความชื้นที่เหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 7 (น้ำหนักฐานเปียก) และมีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่สูงกว่ากรณีการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอื่น และระยะเวลาอื่นตามลำดับเวลาที่ใช้ในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้ ที่ทำให้หน่อไม้มีความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

หน่อไม้อบแห้ง สามารถเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปอาหารหลากหลายเมนู โดยเฉพาะเมนูที่อาศัยการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ เช่น แกงส้ม ซุปหน่อไม้ หรือการบดเป็นผงเพื่อใส่ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ทั้งนี้จากข้อมูลการทดลองยังพบว่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้ เมื่อเทียบกับหน่อไม้สดยังมีค่าที่ค่อนข้างน้อย กล่าวคือ สามารถคืนรูปผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 0.4 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างสด งานวิจัยที่น่าจะดำเนินการต่อไปคือการปรับกระบวนการอบแห้ง หรือมีการใช้กระบวนการแปรรูปอื่นร่วมกับการอบแห้ง ในการเพิ่มความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงกับหน่อไม้ก่อนการอบแห้งให้เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2536. กระบวนการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นันทวัน เทอดไทย และ สุพิชา กระจ่างเมธีกุล. 2554. “ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง”. หน้า 133-140. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต.2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์.

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพฯ : ท้อป

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2546. กระบวนการทำแห้งอาหาร. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรงเทพฯ : 164-172.

สุวรรณี ธีรภาพธรรมกุล, เสกสรร ทองโพธิ์, วีระพร แจ่มศรี, พฤศชัย พรหมประสิทธิ์, จิราภา อุณหเลขกะ และปิ่นนรี ชินวรรธนางศ์. 2554. การประเมินความเสี่ยงของสารไซยาไนด์จากการบริโภคหน่อไม้ของคนไทย. วารสารกรมวิทยาศาสตร์ พ. 53(2): 67-79.

วิกิพีเดีย. 2560. หน่อไม้. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89.

วิกิพีเดีย. 2561. ไผ่รวก. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%81.

วิไล รังสาดทอง.2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ เท็กซ์แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

Akonor, P., T., Ofori, H., Dziedzoave, N.T. and Kortei, N.K. 2016. Drying characteristics and physical and nutritional properties of shrimp meat as affected by different traditional drying techniques. International Journal of Food Science. 1-5.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th eds. The Association of Official Analytical Chemists. Maryland. Method 950.46.

Bal, L.M., Kar, A. Satya, S. and Naik, S.N. 2010. Drying kinetics and effective moisture diffusivity of bamboo shoot slices undergoing microwave drying. International Journal of Food Science & Technology. 45(11): 2321-2328.

Bhargava, A. Kumbhare, V., Srivastava, A. and Sahai, A. 1996. Bamboo parts and seeds for additional source of nutrition. Journal of Food Science and Technology. 33(2): 146-146.

Bhat, B.P., Singh, K. and Singh, A. 2005. Nutritional values of some commercial edible bamboo species of the North Eastern Hamalayan region. India Journal Bamboo Rat an. 4(2): 111-124.

Chauhan, O.P., Unni, L.E., Kallepalli, C., Pakalapati, S.R. and Batra, H.V. 2016. Review Paper Bamboo shoots: composition, nutritional value, therapeutic role and product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

development for value addition. International Journal of Food Fermentation Technology. 6(1): 1-12.

Chen, X.D., Mujumdar, A.S. 2008. Drying technologies in food processing. Chichester : Blackwell.

Devahastin, S., Suvarnakuta, P., Soponronnarit, S. and Mujumdar, A.S. 2004. A Comparative Study of Low-Pressure Superheated Steam and Vacuum Drying of a Heat-Sensitive Material. Drying Technology.22(8): 1845-1867.

Felisberto, M.H.F., Miyake, P.S.E., Beraldo, A.L. and Clerici, M.T.P.S. 2017. Young bamboo culm: Potential food as source of fiber and starch. Food Research International. 101: 96-102.

Ferreira, V.L.P., Yotsuyanagi, K. and Carvalho, C.R.L. 1995. Elimination of cyanogenic compounds from bamboo shoots (Dendrocalamus giganteus Munro). Tropical Science, 35: 342-346.

Guizani, N., Al-Shoukri, A.O., Mothershaw, A., and Rahman, M.S. 2008. Effects of salting and drying on shark (*Carcharhinus sorrah*) meat quality characteristics. Drying Technology. 26: 705-513.

Hashim, N., Daniel, O. and Rahaman, E. 2014. A Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (Cucurbita Moschata) in a Convective Hot Air Dryer. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 2: 345-352.

Kerdpiboon, S., Devahastin, S. and Kerr, W.L. 2007. Comparative fractal characterization of physical changes of different food products during drying. Journal of Food Engineering. 83: 570-580.

Kirmaci, B. and Singh, R.K. 2018. Process severity affects texture and color of potato strips baked in pilot-scale infrared Radiant Wall Oven. LWT-Food Science and Technology. 97:261-268.

Lea, C. 1958. Fundamental Aspects of the Dehydration ofFoodstuffs, Society of Chemical Industry, 178-196.

Li, Q., Qiu, H. and Yang, Y. 2002. The dloping situation and counter easure of freeze drying food in China. Journal Guangxi University (Natural Science Edition), 27: 21-24.

Lv, H., Chen, X., Liu, X., Fang, C., Liu, H., Zhang, B. and Fei, B. 2018. The vacuum-assisted microwave drying of round bamboos: Drying kinetics, color and mechanical property. Materials Letters. 223: 159-162.

Muchtadi, T.R. and Adawiyah, D.R. 1996. Bamboo shoot drying technology. In P.M. Ganapathy, J.A. Janssen and C.B. Sastry (Eds.), Engineering and utilization : 239–245.

Mujumdar, A.S. 2000. Drying technology in agriculture and food sciences. Enfield, NH : Science.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Niamnuy, C., Devahastin, S., Soponronnarit, S. 2007. Effects of process parameters on quality changes of shrimp during drying in a jet-spouted bed dryer. Journal of Food Science. 72: 553-563.

Nirmala, C., Bisht, M. and Laishram, M. 2014. Bioactive compounds in bamboo shoots: health benefits and prospects for developing functional foods. International Journal of Food Science and Technology. 49(6): 1425-1431.

Santosh, O., Bajwa, K., Bisht, M.S. and Nirmala, C. 2011. Bamboo shoot for food fortification: analysis of nutrients and bioactive compounds in juvenile shoot of two bamboo species. Development of Economies Through Innovation & Sustainable Growth: Vision 2020.

Satya, S., Bal, L.M., Singhal, P. and Naik. S.N. 2010. Bamboo shoot processing: food quality and safety aspect (a review). Trends in Food Science and Technology. 21: 181-189.

Sood, S., Walia, S., Gupta, M. and Sood, A. 2013. Nutritional characterization of shoots and other edible products of an edible bamboo. Dendrocalamushsmiltonii. Current Research Nutrition Food Science. 2(4): 257-261.

Tripathi, Y.C. 1998. Food and nutrition potential of bamboo. MFP-News. 8(1): 10-11.

Vega- Galvez, A., Miranda, M., Claveria, R., Quispe, I., Vergara, J., Uribe, E., Paez, H. and Di Scala, K. 2011. Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). LWT-Food Science and Technology. 44:16-23.

Wang, J., Jiang, J., Wang, J., Wang, Z., Yang, X. and Jia, L. 2019. The influence of gamma irradiation on the storage quality of bamboo shoots. Radiation Physics and Chemistry. 159: 124-130.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้