

การอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น
และการผลิตสารเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ

VIBRATORY BED ASSISTED INFRARED DRYING OF ASPARAGUS WOODY STEMS
AND PRODUCTION OF MUSCLE MASS GAINER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

VIBRATORY BED ASSISTED INFRARED DRYING OF ASPARAGUS WOODY STEMS
AND PRODUCTION OF MUSCLE MASS GAINER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2020
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น และการผลิตสารเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ
Vibratory Bed Assisted Infrared Drying of Asparagus Woody Stems and Production of Muscle Mass Gainer

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวชุตตาภรณ์ ทิพย์เทอดธนา รหัสนักศึกษา 60010243
นางสาวณัฐธิดา เพ็ชรเม็ดใหญ่ รหัสนักศึกษา 60010306
นางสาวมูณี ชานิวาสะพงษ์ รหัสนักศึกษา 60010834

ปริญญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร
ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. จิราพร ศรีภิญโญวนิชย์ จงยิ่งเจริญ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน และการผลิตสารเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวชุตากรณ์ ทิพย์เทอดธนา	รหัสนักศึกษา	60010243
	นางสาวณัฐธิดา เพ็ชรเม็ดใหญ่	รหัสนักศึกษา	60010306
	นางสาวมณี ชานิวาสะพงค์	รหัสนักศึกษา	60010834
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ		
ปีการศึกษา	2563		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งและศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นรังสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน นอกจากนี้ยังทดลองผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูลที่มีสารเพิ่มมวลกล้ามเนื้อได้แก่ 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดโซน อยู่ ความเข้มข้นรังสีอินฟราเรดที่ใช้ในการอบแห้ง คือ $4,576 \text{ W/m}^2$ $6,036 \text{ W/m}^2$ และ $7,496 \text{ W/m}^2$ โดยมีวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นวิธีการควบคุม กำหนดปริมาณวัสดุที่ 300 g และ 500 g ลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งที่มีความหนา 3-5 mm มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ $9.92 \text{ g water/g dry matter}$ ถูกอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายเป็น $0.1 \text{ g water/g dry matter}$

จากการทดลองพบว่า ปริมาณวัสดุส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง โดยการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันสำหรับลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งปริมาณ 300 g ใช้เวลาน้อยกว่าที่ปริมาณ 500 g ถึง 1.2-1.4 เท่า แต่เนื่องจากปริมาณวัสดุมากกว่า ทำให้อัตราการอบแห้งสูงสุดที่พบในลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งปริมาณ 500 g มากกว่าปริมาณ 300 g ความเข้มข้นรังสีที่แตกต่างกันส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งและคุณภาพลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง โดยความเข้มข้นสูงที่ $7,496 \text{ W/m}^2$ ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าความเข้มข้นต่ำที่ $4,576 \text{ W/m}^2$ ถึง 1.6 เท่า ส่วนคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้งพบว่าความเข้มข้นสูงที่สุดที่ $7,496 \text{ W/m}^2$ ให้ปริมาณ 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดโซน วิตามินซี และ%การยับยั้ง สูงสุด ความเข้มข้นรังสี $6,036 \text{ W/m}^2$ ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ และเบต้าแคโรทีน สูงสุด การอบแห้งแบบลมร้อนให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี สูงสุด และดัชนีสีน้ำตาลมีค่าน้อยที่สุดที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ $4,576 \text{ W/m}^2$

จะเห็นได้ว่า วิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นรังสี 7496 W/m^2 ให้ผลดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทั้งในแง่ของการพัฒนากระบวนการและการปรับปรุงคุณภาพของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง วิธีการไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ให้ปริมาณสารเสริมฤทธิ์เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ นั่นคือ 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดโซน มากที่สุด ซึ่งมากกว่าปริมาณสารที่ได้จากวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนเกินกว่า 1.6 เท่า ซึ่งมีนัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้งไปผลิตแคปซูลเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ ด้วยวิธีการอบแห้งที่พัฒนาขึ้น สามารถผลิตแคปซูลที่มีลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง 500 mg โดยได้รับสารเสริมฤทธิ์ 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดโซน 4 mg ซึ่งรับประทาน 3 แคปซูลต่อวันจะเพียงพอต่อปริมาณโปรตีนเพิ่มมวลกล้ามเนื้อที่ต้องการในแต่ละวันได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title	Vibratory Bed Assisted Infrared Drying of Asparagus Woody Stems and Production of Muscle Mass Gainer		
Authors	Chudaporn	Thipayaterdthana	60010243
	Nuttida	Petchmedyai	60010306
	Munee	Chamnivessapong	60010834
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Jiraporn Sripinyowanich Jongyingcharoen		
Year	2020		

Abstract

The objectives of this project were to investigate the effect of input quantity on drying characteristics and to investigate the effect of radiation intensity on energy consumption and quality of asparagus woody stems subjected to vibratory bed-assisted infrared (VIR) drying. Production of dried asparagus woody stem capsules containing muscle mass gainer content, i.e., 20-hydroxyecdysone, was also conducted. The infrared intensities used in this study were 4576 W/m², 6036 W/m², and 7496 W/m². There was a hot air (HA) drying at 60°C as a control method. The material input quantities were varied at 300 g and 500 g. Asparagus woody stems with the thickness of 3-5 mm and the initial moisture content of 9.92 g water/g dry matter were dried until the final moisture content was 0.1 g water/g dry matter.

From the experiments, the material input quantity influenced drying time. The drying time of VIR drying of 300 g asparagus woody stems was 1.2-1.4 times lower than the drying time of 500 g asparagus woody stems. However, due to larger quantity of the material, the drying rate of 500 g input was higher than that of 300 g input. Different VIR intensities resulted in different energy consumption and quality of the dried asparagus woody stems as well. The highest intensity of 7,496 W/m² consumed less energy than the lowest intensity of 4,576 W/m² for about 1.6 times. VIR drying at 7,496 W/m² also provided the highest contents of 20-hydroxyecdysone, vitamin C, and % inhibition in the dried

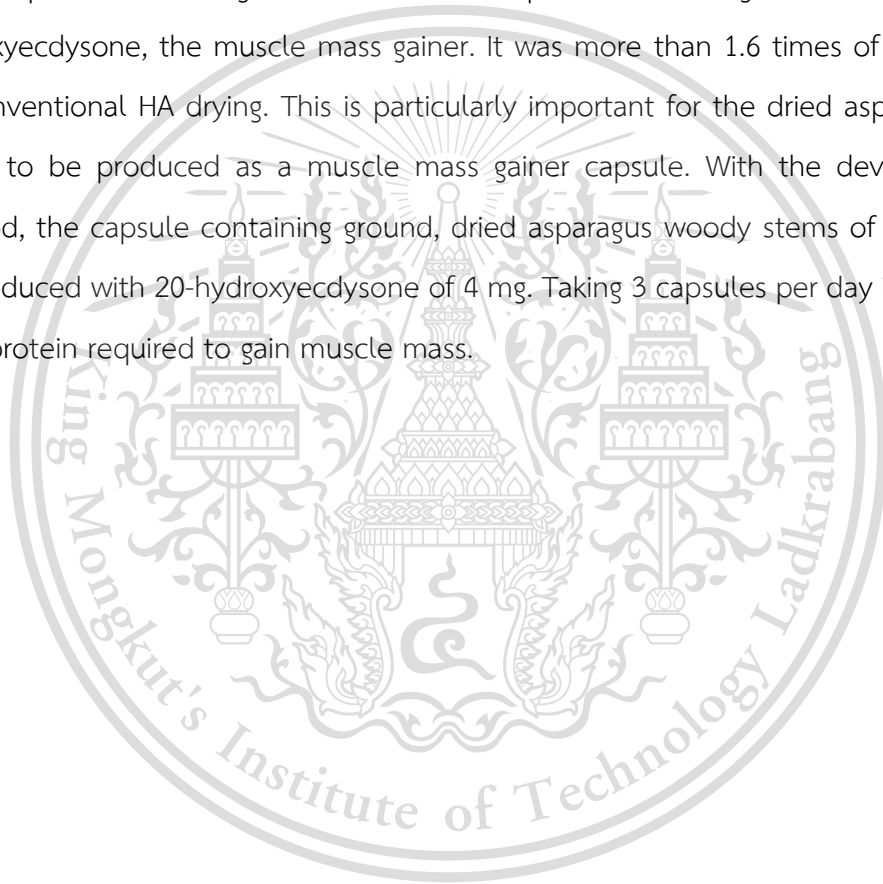
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

product. The highest carotenoid and beta-carotene contents were observed in the dried stems subjected to VIR drying at $6,036 \text{ W/m}^2$. HA drying gave the highest chlorophyll a and chlorophyll b contents. The preferable lowest browning index was obtained by VIR drying at $4,576 \text{ W/m}^2$.

VIR drying at the radiation intensity of $7,496 \text{ W/m}^2$ was advantageous in terms of process development and quality improvement of the dried asparagus woody stems. This method provided the largest amount of the important active ingredient of study, i.e., 20-hydroxyecdysone, the muscle mass gainer. It was more than 1.6 times of that obtained by conventional HA drying. This is particularly important for the dried asparagus woody stems to be produced as a muscle mass gainer capsule. With the developed drying method, the capsule containing ground, dried asparagus woody stems of 500 mg could be produced with 20-hydroxyecdysone of 4 mg. Taking 3 capsules per day is sufficient for daily protein required to gain muscle mass.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จาก ผศ.ดร.จิราพร ศรีภิญโญวัฒน์ จงย้งเจริญ ที่คอยให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาโดยตลอดรวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขปริญญาานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ศิริพร ศรีภิญโญวัฒน์ ที่กรุณาช่วยในเรื่องการวิเคราะห์สาร และให้ความรู้ทางด้านวิชาการ รวมถึงนายปฐวี วุฒิการณ์ ที่ให้การช่วยเหลือในการจัดหาวัสดุดิบ และให้คำแนะนำในกระบวนการทดลอง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ให้ความรู้ให้คำแนะนำ และแสดงความคิดเห็นในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมไปถึงภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่ให้การช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ และสถานที่ในการทำงานมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำที่ให้กำเนิด อบรมสั่งสอน และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือติชม แนะนำจนทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวชุตากรณ์ ทิพย์เทอดธนา

นางสาวณัฐธิดา เพ็ชรเม็ดใหญ่

นางสาวมูณี ชานิวเสสพะวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์จำเพาะ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หน่อไม้ฝรั่ง	4
2.2 การใช้ประโยชน์ลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง	4
2.2.1 หน่อ	4
2.2.2 ลำต้นแข็ง	5
2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง	9
2.3.1 ปริมาณความชื้น	9
2.3.2 ความชื้นสมดุล	10
2.3.3 อัตราส่วนความชื้น	10
2.3.4 อัตราการทำแห้ง	10
2.3.5 กราฟอัตราการทำแห้ง	11
2.4 ทฤษฎีรังสีอินฟราเรด	12
2.4.1 การอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด	13
2.4.2 ประโยชน์ของรังสีอินฟราเรดในการอบแห้ง	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	17
3.1 ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง	17
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	18
3.2.1 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด	18
3.2.2 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน	18
3.2.3 เครื่องวัดค่าสี	19
3.2.4 เครื่องวัดค่าพลังงาน	19
3.2.5 อุปกรณ์อื่น ๆ	20
3.3 แผนการทดลอง	20
3.3.1 อิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง ด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน	20
3.3.2 อิทธิพลของความเข้มรังสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง และคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง	22
3.3.3 การผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล	22
3.4 การวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง	24
3.4.1 ปริมาณความชื้น	24
3.4.2 อัตราส่วนความชื้น	24
3.4.3 อัตราการทำแห้ง	24
3.5 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง	25
3.6 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ	25
3.6.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีสีน้ำตาล	25
3.7 การวิเคราะห์สารสำคัญ	26
3.7.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์	26
3.7.2 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน	26
3.7.3 ปริมาณ %การยับยั้ง และวิตามินซี	27
3.7.4 ปริมาณสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กไดโนน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	31
4.1 อิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง ด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน	31
4.1.1 ความชื้นและอัตราส่วนความชื้น	31
4.1.2 อัตราการอบแห้ง	34
4.1.3 เวลาในการอบแห้ง	36
4.2 อิทธิพลของความเข้มรังสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง และคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง	37
4.2.1 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง	37
4.2.2 ค่าดัชนีสีน้ำตาล	37
4.2.3 20-ไฮดรอกซีเอกโคไดโซน และค่าสารสำคัญอื่น ๆ	39
4.2.4 ลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	45
5.1 อิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง ด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน	45
5.2 อิทธิพลของความเข้มรังสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง และคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง	45
5.3 การผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล	45
5.4 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 หน่อไม้ฝรั่ง	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของสาร 20-hydroxyecdysone	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ Chlorophyll a และ Chlorophyll b	7
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนโครงสร้างของวิตามินซีโดยเอนไซม์ในร่างกาย	8
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของ Beta-Carotene	9
รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งและความชื้นของวัสดุ	11
รูปที่ 2.7 ช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด	12
รูปที่ 2.8 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกใน 3 ส่วนของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ Refractance Window (RW), การอบแห้งแบบแช่แข็ง (FD), การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบ Spouted bed (MWSB), การอบแห้งแบบ Spouted bed (SB) และการอบแห้งลมร้อนแบบถาด (TD)	15
รูปที่ 2.9 ผลของปริมาณฟีนอลิกหลังกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อน	16
รูปที่ 2.10 ผลของปริมาณฟลาโวนอยด์หลังกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อน	16
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้ในการอบ	17
รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด	18
รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน	18
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดค่าสี	19
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดค่าพลังงาน	19
รูปที่ 3.6 แผนผังการทดลอง	21
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล	23
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง ในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั้น	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส และกำรอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 300 ฐยาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง ในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน และการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 500 g	32
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง ในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน และการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 300 g	33
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง ในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน และการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 500 g	33
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของ ลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน และการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 300 g	35
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของ ลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน และการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 500 g	35
รูปที่ 4.7 ค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบ อินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	37
รูปที่ 4.8 ค่า Browning Index (BI) ของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง ด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	38
รูปที่ 4.9 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	40
รูปที่ 4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	40
รูปที่ 4.11 ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.12 ปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	41
รูปที่ 4.13 ปริมาณวิตามินที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	42
รูปที่ 4.14 ปริมาณ %การยับยั้งที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	42
รูปที่ 4.15 ปริมาณ 20-ไฮดรอกซีเอกโดไซนที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	43
รูปที่ 4.16 บรรจุภัณฑ์หน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1 ผลของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนปลาย ส่วนกลาง และส่วนฐานของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ	14
ตารางที่ 4.1 เวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมและอัตราการอบแห้งสูงสุดของการอบแห้ง ลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน ที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกได้ดีในเมืองไทยเพราะเป็นผักที่มีราคาดี มีความต้องการในตลาดสูง เป็นผักอายุยืน เก็บผลผลิตได้ตลอดปี สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี ประกอบกับผลผลิตส่วนใหญ่ถูกส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ประเทศคู่ค้าสำคัญที่รับซื้อผลผลิตจากประเทศไทย คือ ประเทศญี่ปุ่น สหภาพยุโรป และได้หวัน ทำให้พื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในปัจจุบัน (วรรณัฐ เสนิงค์ ณ ออยุธยา, 2562) ซึ่งผลผลิตที่ต้องการนั้นคือส่วนของหน่อที่มีสีเขียว ความยาวจากยอดประมาณ 25 cm เกษตรกรจะทำการตัดในส่วนลำต้นแข็งหรือหน่อที่มีสีขาวผสมเขียวทั้งประมาณ 30-50 % เนื่องจากมีลักษณะแข็ง ไม่นิยมนำมารับประทาน แต่พบว่าส่วนของลำต้นแข็งนั้นยังมีสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กไดโซน สารประกอบฟีนอลิก สารซาโปนิน โดยสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กไดโซน ช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ ลดน้ำตาลในเลือด รวมทั้งยังมีฤทธิ์ในการต่อต้านแมลง (ปัทมา ถาวรนิธิ, ม.ป.ป) สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง (พินิจ แจ็กอิน, 2556) และสารซาโปนิน ช่วยในการลดโคเลสเตอรอลในเลือดและในหลอดเลือด (Chitrakar, 2019)

การอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด นั้นเป็นการแผ่รังสีในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดช่วงความยาวคลื่น สามารถแผ่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในเนื้อวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ส่งผลให้ผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวยุบ ได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง รังสีอินฟราเรดยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ ในการอบแห้งวัสดุขึ้นหามาใช้คลื่นรังสีอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน โดยใช้เทคนิคเชิงกลในการสั่นสะเทือน จึงทำให้วัสดุได้รับรังสีอินฟราเรดในระหว่างอบแห้งอย่างทั่วถึง และระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง มีการพิสูจน์ว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดช่วยให้ปริมาณสารสำคัญที่พบในยาสมุนไพร เช่น สารประกอบฟีนอล สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณมากขึ้น (เศรษฐวัฒน์ ถนิมกาญจน์, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่เกษตรกรส่วนใหญ่คัดทิ้งเป็นจำนวนมาก มาทำให้เกิดประโยชน์ โดยการนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเพิ่มสารสำคัญ โดยการอบแห้งลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน และทำการเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อน มีการศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุ รวมทั้งการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์จำเพาะ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาวิศวกรรมของกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเบตสันสำหรับลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง และเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน โดยมีวัตถุประสงค์จำเพาะดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน
- 2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มรังสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง
- 3) เพื่อทดลองผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) เครื่องอบแห้งสำหรับกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) ตัวแปร

2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี 7,496 6,036 และ 4,576 W/m² และลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน 2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และสมบัติของผลิตภัณฑ์อบแห้ง งานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เทคนิคการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง เพื่อใช้ในการกระตุ้นสารสำคัญ
- 2) ลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่พบสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กไดโซน เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน
- 3) ผลิตภัณฑ์ลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล

1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนดำเนินงาน

ขั้นตอนดำเนินงาน	ปี / เดือน									
	พ.ศ. 2563					พ.ศ. 2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ค้นคว้าข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง										
2.ทดลองพื้นฐานการอบแห้งลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง										
3.ศึกษาลักษณะการอบแห้งของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งในระบบการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน										
4.ศึกษาลักษณะการอบแห้งของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งในระบบการอบแห้งแบบลมร้อน										
5.วิเคราะห์คุณภาพของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง										
6.วิเคราะห์ข้อมูล										
7.สรุปผล และเขียนรายงาน										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งยังมีให้ที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารนี้ทุกครั้งที่พิมพ์หรือเผยแพร่

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หน่อไม้ฝรั่ง

หน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis*) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ Liliaceae เป็นพืชพื้นเมืองทางยุโรปและไซบีเรีย ชาวกรีกและชาวโรมันโบราณมีความเชื่อว่าหน่อไม้ฝรั่งเป็นอาหารที่รับประทานแล้วจะทำให้มีกำลังวังชาดีขึ้น จากการวิเคราะห์ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่าหน่อไม้ฝรั่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ อุดมไปด้วยวิตามินเอและวิตามินซี นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุพวกแคลเซียม กลูตาไธโอน และฟอสฟอรัส ทั้งยังมีสรรพคุณเป็นยาระบายอ่อน ๆ และช่วยขับปัสสาวะอีกด้วย แต่ถ้าบริโภคมาก ๆ จะทำให้ปัสสาวะมีกลิ่นฉุนและหน่อไม้ฝรั่งมีสารพิวรีน (Purine) ที่ทำให้เกิดอาการปวดข้อได้ (สิทธิโชค และคณะ, 2549)



รูปที่ 2.1 หน่อไม้ฝรั่ง

ที่มา: Pinterest (2020)

2.2 การใช้ประโยชน์ลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง

ในสกุลแอสพาราแกัสเป็นพืชที่มีประโยชน์ สามารถใช้เป็นยาและเป็นอาหารที่ให้ผลทางยาหรือมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เป็นสมุนไพรที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย หน่อไม้ฝรั่งมีไฟโตเคมีคอลที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากมายเช่น

2.2.1 หน่อ (Spear)

หน่อไม้ฝรั่งที่เรานำมาบริโภคกันก็มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ หน่อไม้ฝรั่งสีขาว ซึ่งเป็นชนิดที่จะเก็บเมื่อหน่อโผล่พื้นดินมาประมาณ 1 cm นิยมนำไปทำหน่อไม้ฝรั่งกระป๋องหรือครีมซูป และหน่อไม้ฝรั่งสีเขียว ซึ่งจะเก็บเกี่ยวก็ต่อเมื่อหน่ออ่อนแทงพื้นดินมาประมาณ 15-22 cm เป็นหน่อไม้ฝรั่งชนิดที่นิยม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำมาประกอบอาหาร (หมอชาวบ้าน, 2551) สารอาหารที่พบในหน่อไม้ฝรั่งมีทั้ง โปรตีน แร่ธาตุต่าง ๆ เช่น สังกะสี ทองแดง ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เซเลเนียม โฟลาซิน และกาเบียมมาก อุดมไปด้วยวิตามิน หลากหลาย มีวิตามินซี, วิตามินบี, วิตามินบี 1, วิตามินบี 2, วิตามินบี 3, วิตามินบี 6, วิตามินเค, วิตามิน บี, วิตามินเอ และโฟเลต มีสารกลูตาไธโอน มีปริมาณเกลือต่ำมาก และไม่มีไขมันหรือโคเลสเตอรอล แต่ ละก้านของหน่อไม้เปรียบเสมือนโรงงานพลังงานที่มีสารอาหารบรรจุแน่น, รสชาติหวาน และที่สำคัญ บรรจุไว้ด้วยกลูตาไธโอน

กลูตาไธโอนเป็นสารที่เซลล์ในร่างกายเราสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เอง มีคุณสมบัติเป็นโปรตีน ชนิดหนึ่ง มีหน้าที่ปกป้องเนื้อเยื่อของอวัยวะทุกส่วนโดยการต่อต้านอนุมูลอิสระที่สะสมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ และกระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกาย ที่สำคัญยังช่วยดับในการทำลายและขจัดสารพิษออกจากร่างกาย เช่น ตัวยาหรือสารพิษที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อรวมตัวกับสารกลูตาไธโอน จะช่วยให้ละลายน้ำได้และถูกกำจัดออกจากร่างกายได้ในที่สุด สารพิษจำพวกโลหะหนักหรือสารกำจัดแมลง สามารถถูกขจัดออกจากร่างกายได้ โดยการทำงานของกลูตาไธโอนร่วมกับตับ นอกจากนี้หน่อไม้ฝรั่งยังมีวิตามินซี และวิตามินอี และการวิจัย แสดงให้เห็นว่าหน่อไม้ฝรั่งยังช่วยลดการพัฒนาต่อกระจกในดวงตาอีกด้วย (นิรนาม, ม.ป.ป)

2.2.2 ลำต้นแข็ง

ลำต้นใต้ดินจะเป็นระบบรากรวมหรือเหง้า มีลักษณะเป็นแท่งคล้ายดินสอ ซึ่งยอดอ่อนหรือหน่ออ่อนที่เราสามารถรับประทานกันก็เป็นส่วนที่เจริญมาจากเหง้า และหากปล่อยให้หน่ออ่อนเจริญเติบโตไปจะ กลายเป็นลำต้นเหนือดิน มีความสูงประมาณ 1.5-2 m

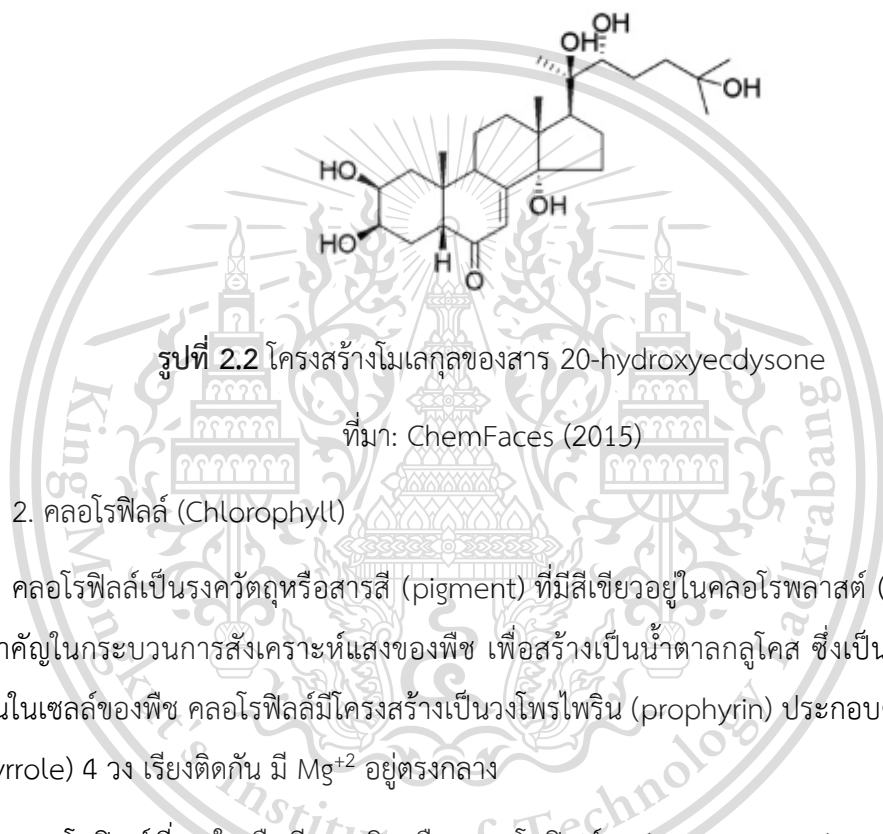
1. 20-ไฮดรอกซีเอกไดโซน (20-hydroxyecdysone)

20-hydroxyecdysone (20E) สูตรโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูป 2.2 เป็นฮอร์โมนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากตระกูล Ecdysteroids เป็นสเตียรอยด์ฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ กระตุ้นการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงตัวอ่อนของสัตว์พวกอาร์โธพอดและครัสเตเชียน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือฮอร์โมนลอกคราบจากสัตว์ (Zooecdysone) และฮอร์โมนลอกคราบจากพืช (Phytoecdysone) มี รายงานว่า ปริมาณฮอร์โมนลอกคราบที่พบสะสมในพืชมักจะสูงกว่าในสัตว์มาก คือ ค่าเฉลี่ยในสัตว์ ประมาณ 10^{-5} - 10^{-9} % ของน้ำหนักแห้ง จนกระทั่งปัจจุบันนี้มีรายงานพบว่ามีพืชประมาณ 85 วงศ์ ที่ผลิต และสะสมฮอร์โมนลอกคราบได้ ฮอร์โมนลอกคราบเป็นสารทุติยภูมิที่มีความสำคัญต่อการเกษตรมาก เช่น

ใช้เป็นยาฆ่าแมลง ผลปรากฏว่าสารในกลุ่มเอคไดสเตอรอยด์นี้มีฤทธิ์ในการต่อต้านแมลงมากกว่ายาฆ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แมลงที่สังเคราะห์ขึ้น คือ มีความจำเพาะต่อแมลงสูง และแมลงไม่สามารถปรับตัวเพื่อต่อต้านยาได้ มีการ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สารกลุ่มเอคไดสเตอรอยด์เป็นสารฆ่าหอย (molluscicides) เช่น หอยทากซึ่งเป็นศัตรูพืชที่สำคัญ เพราะมีข้อดีที่ไม่ต้องใช้ในปริมาณมาก และไม่มีพิษตกค้างต่อคนและสัตว์ นอกจากนี้ยังเป็นสารที่เพิ่มการสังเคราะห์โปรตีน ส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ ชะลอความเมื่อยล้าและอ่อนเพลีย ฟื้นตัวหลังจากออกกำลังกายได้เร็ว ช่วยซ่อมแซมบาดแผล รวมทั้งลดน้ำตาลในเลือด ลดการสะสมของไขมันและคอเลสเตอรอล (ปีทมา ถาวรนิธิ, ม.ป.ป)



2. คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

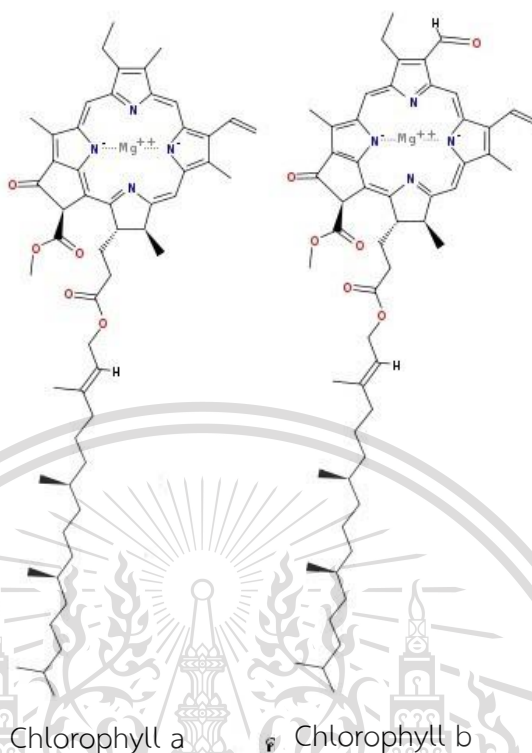
คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่มีสีเขียวอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เพื่อสร้างเป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานในเซลล์ของพืช คลอโรฟิลล์มีโครงสร้างเป็นวงโพโรไพริน (prophyrin) ประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (pyrrole) 4 วง เรียงติดกัน มี Mg^{+2} อยู่ตรงกลาง

คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) และ คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) ในอัตราส่วน 3:1 คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดมีโครงสร้างเหมือนกัน แตกต่างกันที่หมู่ในบางตำแหน่งของโครงสร้างโมเลกุล คลอโรฟิลล์ไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวน้ำตาล (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ Chlorophyll a และ Chlorophyll b

ที่มา: Siamchemi (n.d.)

3. วิตามินซี (Vitamin C)

กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) หรือแอสคอร์เบต (ascorbate) เป็นผลึกสีขาว มีรสเปรี้ยว ละลายในน้ำ มีฤทธิ์เป็นกรด มีฤทธิ์เป็นสารรีดิวซ์ที่แรงมาก และถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยออกซิเจนในอากาศเมื่อถูกออกซิไดส์แล้วจะเปลี่ยนไปเป็นดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid, DHA) ทั้งนี้จะมีเอนไซม์แอสคอร์บิกออกซิเดส (ascorbic oxidase) และกลูตาไทโอนดีไฮโดรจีเนส (glutathione dehydrogenase) ในการเปลี่ยนวิตามินซีอยู่ในสองรูปคือ กรดแอสคอร์บิก และดีไฮโดรแอสคอร์บิก

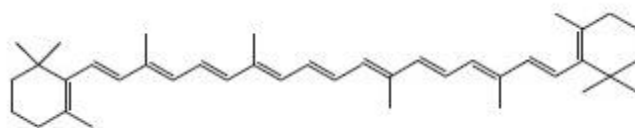
วิตามินซีที่พบมากในผักและผลไม้สด ได้แก่ มะนาว มะขามป้อม ส้ม มะม่วง แคนตาลูป มะเขือเทศ ฝรั่ง พริกหวาน และผักใบเขียว ผลไม้บางชนิดจะพบวิตามินซีที่เปลือกด้วย เช่น ฝรั่ง โดยวิตามินซีจะมีหน้าที่ ได้แก่ ช่วยในการสังเคราะห์คอลลาเจนและมิวโคโพรตีน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในเซลล์ และเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ออกซิจีเนส (ศรมน สุทิน, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(porphyrins) ที่ผิวหนัง ซึ่งจะดูดกลืนพลังงานจากแสงและทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะไปทำลายเซลล์ทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อ และการรับสารเบต้าแคโรทีนจะทำให้อาการเจ็บปวดลดลง



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของ Beta-Carotene

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ (ม.ป.ป.)

2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ การทำให้ความชื้นหรือค่ากิจกรรมของน้ำลดลง โดยการใช้การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งกำเนิดไปยังวัตถุที่มีความชื้น เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย โดยมีค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ต่ำกว่า 0.65 การอบแห้งอาหารจึงเป็นการถนอมอาหารหรือแปรรูปอาหารอย่างหนึ่ง เพื่อให้อาหารมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น

2.3.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ความชื้น คือ ปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมด ซึ่งก็คือน้ำในอาหารหรือวัสดุ มีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ Bound Water, Adsorbed Water และ Free Water น้ำที่สูญเสียไปจากการให้ความร้อนจะเป็น Free Water ส่วน Bound Water และ Adsorbed Water จะเกาะติดกับโมเลกุลของอาหารซึ่งยากที่จะแยกออกจากอาหาร จากนั้นก็สามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นได้ ปริมาณความชื้นของอาหารนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบ คือ

(1) ความชื้นฐานเปียก (Wet basis)

เป็นค่าที่นิยมใช้ในทางการค้า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$MC (\%wb) = \frac{(W_w - W_d)}{W_w} * 100 \quad (2.1)$$

(2) ความชื้นฐานแห้ง (Dry basis)

เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งเพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารคงที่ อาจบอกเป็นจำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g water/g dry matter) หรือเปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MC (\%db) = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} * 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ MC คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกหรือแห้ง (%wb, %db)

W_w คือ มวลวัสดุเริ่มต้น (g)

W_d คือ มวลวัสดุที่แห้ง (g)

2.3.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

เป็นปริมาณความชื้นของวัสดุที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับสิ่งแวดล้อมภายนอก วัสดุจะไม่มี การดูด และคายความชื้นจากอากาศรอบ ๆ มีค่าความชื้นคงที่ สภาวะสมดุลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ถ้าต้องการให้ความชื้นลดลงจากนี้ต้องเปลี่ยนสภาวะการรอบ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุ เช่น ลดขนาด

2.3.3 อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในวัสดุที่กำลังอบแห้ง เทียบกับ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในวัสดุที่สามารถระเหยได้ภายใต้สภาวะการอบแห้งหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณได้ จากสมการที่ 2.3

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ (g water/g dry matter)

M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น (g water/g dry matter)

M_{eq} คือ ความชื้นที่สมดุล (g water/g dry matter)

2.3.4 อัตราการทำแห้ง (Drying rate) คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการ ระเหยต่อหน่วยเวลาระหว่างการทำแห้ง

อัตราการทำแห้งของอาหาร ขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้ง และ สภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

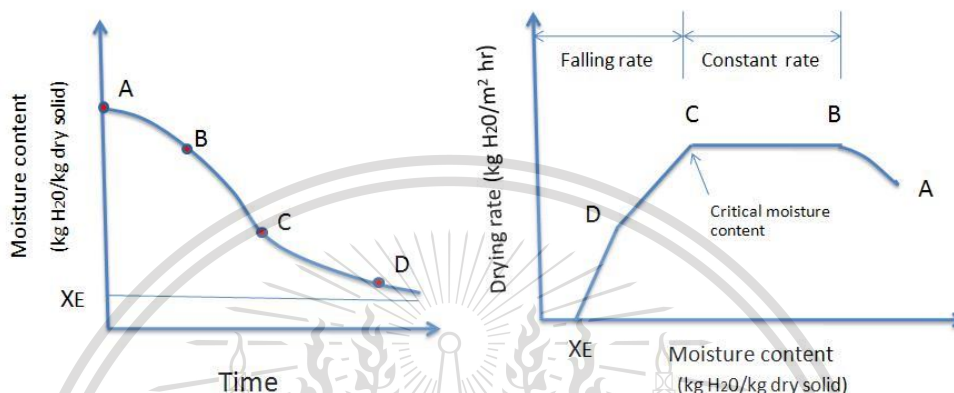
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.5 กราฟอัตราการทำแห้ง (Drying rate curve)

เป็นกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในวัสดุเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง โดยปกติอัตราการทำแห้งของวัสดุจะไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งและความชื้นของวัสดุ
ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ (ม.ป.ป.)

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period - AB) เป็นช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้นจึงมีค่าสูง ในช่วงนี้จะเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของอาหารสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสมดุลที่เงื่อนไขกำหนดในการอบแห้งเพื่อให้เกิดการถ่ายเทมวลของน้ำไปยังอากาศ อัตราการทำให้แห้งค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำให้แห้งคงที่ (Constant rate)

2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period - BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในอาหารเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า และระเหยออกไปด้วยพลังงานความร้อนอย่างต่อเนื่อง เป็นช่วงที่ความชื้นเฉลี่ยของอาหารลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้งจนถึงความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) อัตราการทำให้แห้งจะเริ่มลดลง

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าของอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง อัตราการอบแห้งและความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

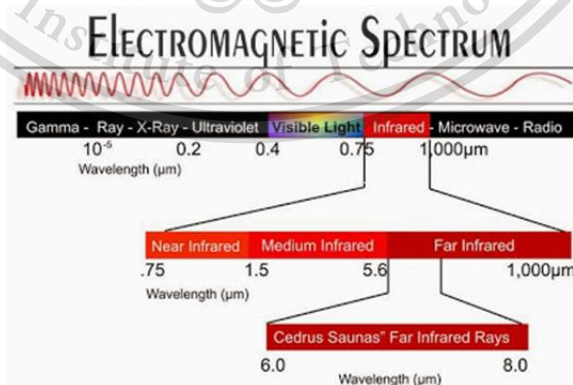
2.4 ทฤษฎีรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation, IR) ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ คือ Sir William Herschel ซึ่งได้ค้นพบรังสีอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Ray) ในปี ค.ศ. 1800 มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า รังสีใต้แดง หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นแสงมีความถี่ในช่วง 1,011 – 1,014 Hz ซึ่งเป็นย่านความถี่ในช่วงเดียวกับไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200°C ถึง $4,000^{\circ}\text{C}$ จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา คุณสมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด เช่น ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดมีการแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่1 รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Near Infra-red หรือ NIR) มีความยาวคลื่นประมาณ $0.7\ \mu\text{m}$ จนถึง $1.5\ \mu\text{m}$ สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ $2,204^{\circ}\text{C}$ ถึง $1,190^{\circ}\text{C}$ ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้สูง ความร้อนผ่านทะลุทะลวงเข้าในเนื้อวัสดุได้ลึกและรวดเร็ว

ช่วงที่2 รังสีอินฟราเรดคลื่นกลาง (Middle Infra-red หรือ mid-IR) มีความยาวคลื่นประมาณ $1.5\ \mu\text{m}$ จนถึง $5.6\ \mu\text{m}$ สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ $1,190^{\circ}\text{C}$ ถึง 458°C ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ต่ำกว่าแบบช่วงคลื่นสั้น

ช่วงที่3 รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (Far Infra-red หรือ FIR) ช่วงคลื่นยาวของรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นประมาณ $5.6\ \mu\text{m}$ ขึ้นไป สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 458°C ถึง 204°C รังสีประเภทนี้เป็นช่วงคลื่นยาว จึงมีพลังงานความร้อนไม่มากนัก นิยมใช้ในการบำบัดผู้ป่วย เช่น อาการปวดเมื่อยเรื้อรัง และผู้ป่วยที่ป่วยด้วยโรคความดันโลหิต รวมถึงการควบคุมน้ำหนัก (ธวัชชัย ธรรมชั้นแก้ว, 2555)



รูปที่ 2.7 ช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา: Thermoscan Thailand (2013)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1 การอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด

การแผ่รังสีในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดช่วงความยาวคลื่น รังสีอินฟราเรดจากแหล่งพลังงาน ความร้อนตกกระทบลงบนผิวของวัสดุแล้วทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสี ถูกวัสดุดูดกลืนเอาไว้ และทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิดสภาวะสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ขึ้นในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในโมเลกุลจะได้รับความร้อนและเกิดการแพร่ไปที่ผิวของวัสดุ ซึ่งในสภาวะดังกล่าวนี้จะสอดคล้องกับความยาวคลื่นในช่วง 2.5 – 100 μm

2.4.2 ประโยชน์ของรังสีอินฟราเรดในการอบแห้ง

รังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในเนื้อวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ส่งผลให้ผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวยุบ และได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้งและรังสีอินฟราเรดยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงานและลดระยะเวลาในการอบแห้ง แต่การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดก็มีข้อจำกัดในการใช้คือ ไม่เหมาะสมกับเนื้อวัสดุที่มีความหนามาก ๆ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การพัฒนาการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

รัฐพล แสงระยับ (2550) ได้พัฒนากระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล โดยใช้หน่อไม้ฝรั่งเป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ในแง่ของสี การหดตัว สัดส่วนการคั้นรูปของผลิตภัณฑ์อบแห้งเนื้อส้มฝัด และโครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์อบแห้ง นอกจากนี้ยังพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายอุณหภูมิและความชื้นในหน่อไม้ฝรั่งภายใต้การอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับการอบแห้งแบบสุญญากาศ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการใช้รังสีอินฟราเรดไกลร่วมกับการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศแล้ว สี การหดตัว สัดส่วนการคั้นตัวของผลิตภัณฑ์และลักษณะเนื้อส้มฝัดดีขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง ในกรณีของการทำนายอุณหภูมิและปริมาณความชื้นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ ถูกพัฒนาและทดสอบด้วยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ข้อมูลป้อนเข้าสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมคือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิที่เวลาความชื้นที่เวลา สถานะของแมกนีตรอน ระดับความดันและระดับ

เอกสารนี้เป็นพลังงานรังสีอินฟราเรดไกล จากผลการศึกษาก็จะเห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้การคำนวณที่แม่นยำได้มากกว่าการคำนวณแบบธรรมดา ถึงแม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นของหน่อไม้ฝรั่งกับปัจจัยในการอบแห้ง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจนำไปใช้ในการพัฒนาการออกแบบกระบวนการอบแห้งได้

2.5.2 ผลของการอบแห้งหน่อไม้ฝรั่งที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพและคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระ

Nindo (2003) ได้ศึกษาวิเคราะห์ผลของการอบแห้งโดยใช้การอบแห้งที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ ประกอบด้วยการอบแห้งลมร้อนแบบถาด (TD), การอบแห้งแบบ Spouted bed (SB), การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบ Spouted bed (MWSB), การอบแห้งแบบ Refractance Window (RW) และการอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) เพื่อประเมินคุณภาพทางกายภาพและสารต้านอนุมูลอิสระของหน่อไม้ฝรั่งหลังผ่านการอบแห้ง โดยใช้หน่อไม้ฝรั่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 9-12 mm ความหนา 2-4 mm ลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นทำให้แห้งจนกระทั่งความชื้นฐานแห้งน้อยกว่า 0.1 db ได้ผลสรุปการทดลองว่าหลังจากการอบแห้งทุกรูปแบบ ส่วนปลายของหน่อไม้ฝรั่งพบสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าส่วนกลางและส่วนฐาน และหลังจากการอบแห้งแบบ Refractance Window (RW) พบว่ามีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงสุด รองลงมาเป็นการอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบ Spouted bed (MWSB) การอบแห้งแบบ Spouted bed (SB) และการอบแห้งลมร้อนแบบถาด (TD) ตามลำดับ

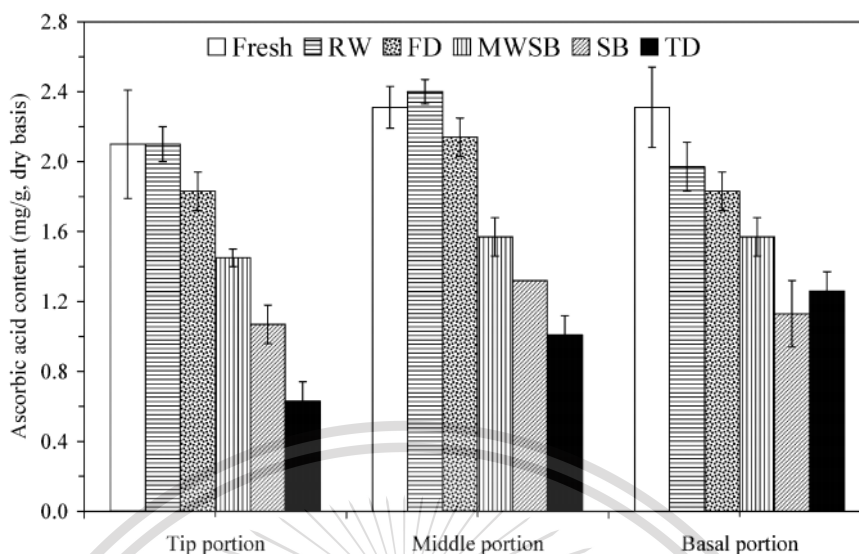
ตารางที่ 2.1 ผลของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนปลาย ส่วนกลาง และส่วนฐานของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ Nindo (2003)

Drying treatment	MW power (W/g)	Temp (°C)	Tip portion	Middle portion	Basal portion	Whole spear
Raw material	-	NA	65.5±2.1	50.1±3.5	37.7±3.0	51.1±2.9
Freeze drying	-	20 (plate)	98.4±3.7a	74.5±4.1a	55.7±3.5a	76.2±3.8a
RW	-	95 (water)	88.2±6.2a	75.2±2.6a	56.2±1.4a	73.2±3.4a
TD	-	60 (air)	67.1±4.8b	45.7±3.3b	40.6±1.7b	51.1±3.3b
SB	-	60 (air)	49.1±2.1c	42.6±1.4b	40.9±2.7b	44.2±2.1cd
MWSB	2	60 (air)	55.8±4.1bc	42.4±2.9b	37.1±1.8b	45.1±2.9cd
	4	60 (air)	56.9±6.1bc	55.2±3.2c	37.5±3.7b	49.9±4.3bc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.8 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกใน 3 ส่วนของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ Refractance Window (RW), การอบแห้งแบบแช่แข็ง (FD), การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบ Spouted bed (MWSB), การอบแห้งแบบ Spouted bed (SB) และการอบแห้งลมร้อนแบบถาด (TD)

ที่มา: Nindo (2003)

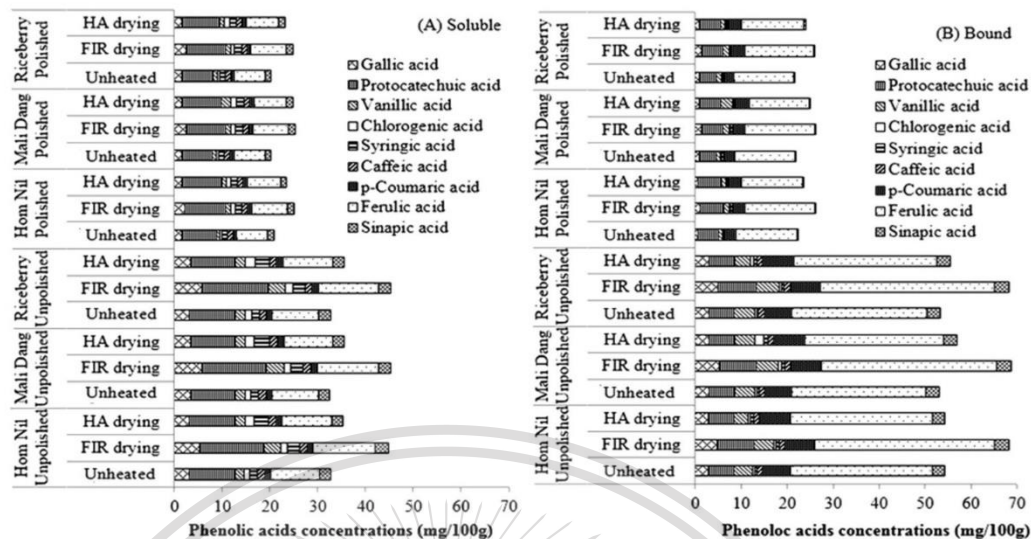
2.5.3 ผลของรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อกรดอะมิโนและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าว

Ratseewo (2019) ได้ศึกษาวิเคราะห์ผลการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อนนำไปใช้กับพันธุ์ข้าวกล้องที่ผ่านการขัดเงา หลังการจากอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลพบว่าปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน โทโคฟีรอล สารต้านอนุมูลอิสระ กรดแกลลิก กรดเฟอรูลิก เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ปริมาณควอซิทินและ Cyanidin-3-glucoside เพิ่มขึ้นหลังจากอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อน และกรดอะมิโนลดลงหลังจากการอบแห้งด้วยลมร้อนแต่น้อยกว่ารังสีอินฟราเรด ได้ผลสรุปการทดลองว่าการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อนอาจมีผลกระทบต่อโครงสร้างภายในเมล็ดข้าว ซึ่งอาจเพิ่มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

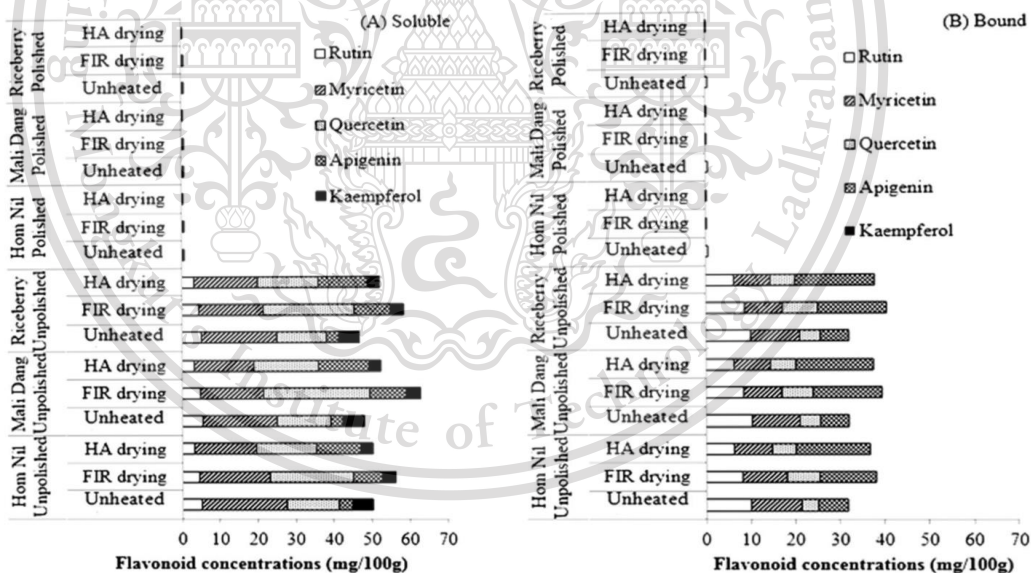
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.9 ผลของปริมาณฟีนอลิกหลังกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อน

ที่มา: Ratseewo (2019)



รูปที่ 2.10 ผลของปริมาณฟลาโวนอยด์หลังกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและการอบแห้งด้วยลมร้อน

ที่มา: Ratseewo (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้ในการทดลอง ซื้อมาจากสวนปลูกในจังหวัดนครปฐม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 0.8-1.3 cm ความชื้นเริ่มต้น 9.92 g water/g dry matter ลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งถูกเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-5°C เมื่อนำมาใช้ในการทดลอง เตรียมตัวอย่างลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง โดยหั่นเป็นชิ้น มีความหนาอยู่ในช่วง 3-5 mm ลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งก่อนเข้ากระบวนการอบแห้งต้องถูกพักไว้ให้มีอุณหภูมิห้องก่อน



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้ในการอบ

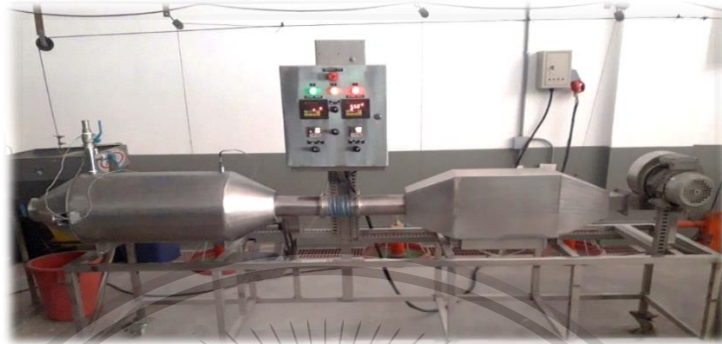
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

3.2.1 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด

3.2.2 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (UF 160, memmert, Germany) (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.3 เครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan EZ) (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดค่าสี

3.2.4 เครื่องวัดค่าพลังงาน (ยี่ห้อ Metrel รุ่น MI 2883 Energy Master) (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดค่าพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.5 อุปกรณ์อื่น ๆ

- (1) โถดูดความชื้น (desiccation)
- (2) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- (3) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- (4) moisture cans
- (5) pycnometer (ยี่ห้อ Gardo ปริมาตร 100 ml)
- (6) Digital Multimeter (ยี่ห้อ Fluke)
- (7) Vacuum machine

3.3 แผนการทดลอง

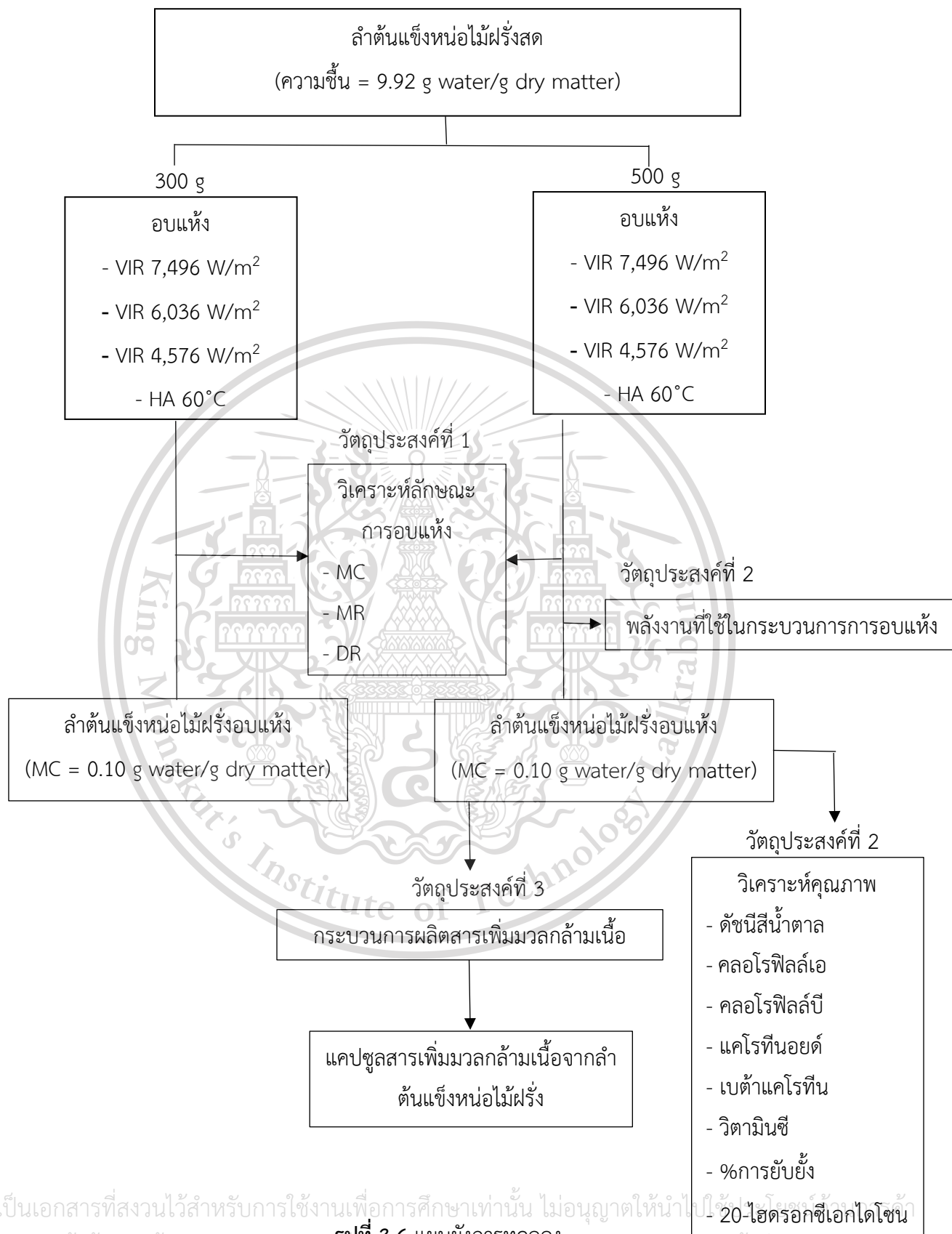
3.3.1 อิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน

ในการทดลองอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งโดยกำหนดปริมาณวัสดุที่ 300 และ 500 g และกำหนดความเข้มของรังสีอินฟราเรด 7,496 6,036 และ 4,576 W/m² และความเร็วรอบมอเตอร์ของเบตสันที่ 800 rpm ในระหว่างกระบวนการอบแห้งนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักที่ลดลงตามช่วงเวลาที่กำหนด นำข้อมูลน้ำหนักวัสดุไปคำนวณหาความชื้น และอบแห้งจนกระทั่งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 0.10 g water/g dry matter วิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง ดังหัวข้อ 3.4 และทำนายเวลาในการอบแห้งโดยทำกราฟการทำแห้ง (Drying Curve) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง แผนผังการทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์หรือการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แผนผังการทดลอง

3.3.2 อิทธิพลของความเข้มรังสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและคุณภาพของลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง

เตรียมตัวอย่างลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้งที่กระบวนการอบแห้งวัสดุปริมาณ 500 g และกำหนดความเข้มของรังสีอินฟราเรด 7,496 6,036 และ 4,576 W/m² เพื่อวิเคราะห์คุณภาพโดยการอบแห้งตามเวลาที่ได้จาก 3.3.1 ทำการวิเคราะห์พลังงาน ดังหัวข้อ 3.5 และวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ดัชนีสีน้ำตาลและวิเคราะห์สารสำคัญ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี, แคโรทีนอยด์, เบต้าแคโรทีน, วิตามินซี, %การยับยั้ง, 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซน ดังหัวข้อ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

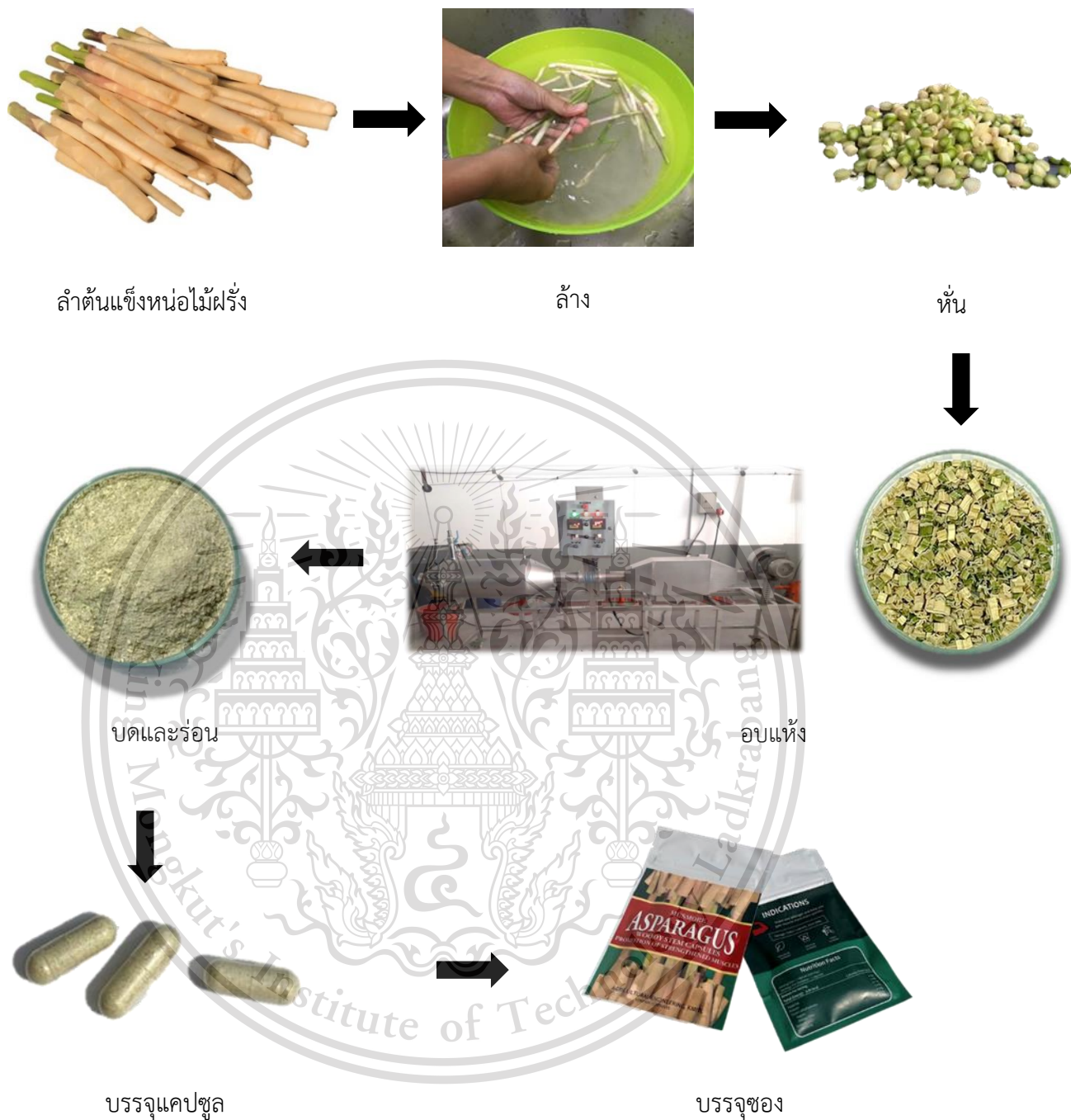
3.3.3 การผลิตลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล

เนื่องจากเป้าหมายในการอบแห้งลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งคือ เพื่อผลิตลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองผลิตแคปซูลลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่ง โดยนำลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งแห้งมาบดแล้วร่อนผ่านเครื่องร่อนที่ตะแกรงขนาด 60 mesh ในห้องปฏิบัติการ จากนั้นอัดผงลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งแห้งใส่แคปซูลไซเบอร์ 0 และบรรจุของ ขั้นตอนการผลิตลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล แสดงอยู่ในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง

3.4.1 ปริมาณความชื้น

การคำนวณหาปริมาณความชื้นของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่ง โดยการนำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล 4 ตำแหน่ง นำข้อมูลไปคำนวณหาความชื้นจากสมการที่ 3.1

$$MC = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \quad (3.1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้น (g water/g dry matter)
 W_w คือ น้ำหนักเปียก (g)
 W_d คือ น้ำหนักแห้ง (g)

3.4.2 อัตราส่วนความชื้น

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.2)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น
 M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ (g water/g dry matter)
 M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น (g water/g dry matter)
 M_e คือ ความชื้นที่สมดุล (มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากการอบแห้งแบบแผ่รังสีและเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง) (g water/g dry matter)

3.4.3 อัตราการทำแห้ง

$$DR = \frac{M_{t-dt} - M_t}{d_t} \quad (3.3)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการทำแห้ง (g water/g dry matter · min)
 M_{t-dt} คือ ความชื้นที่เวลาก่อนหน้า (g water/g dry matter)
 M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ (g water/g dry matter)
 d_t คือ ผลต่างเวลาอบแห้ง (min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

พลังงานทั้งหมดที่ใช้สำหรับการอบแห้งของแต่ละการทดลอง สามารถบันทึกข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการ ด้วยเครื่องวัดค่าพลังงานที่ต่อตรงเข้ากับแหล่งจ่ายไฟของอุปกรณ์ ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง ส่วนปริมาณน้ำที่ระเหยออกสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างน้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้งและหลังการอบแห้ง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) โดยที่ค่า SEC สามารถคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง และปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง ดังสมการที่ 3.4

$$SEC = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้า (kW} \cdot \text{h)}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออก (kg)}} \quad (3.4)$$

3.6 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

3.6.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index, BI)

เครื่องมือที่ใช้วัดสีคือเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ใช้ระบบการวัดแบบ Hunter L a b โดยกำหนดให้ L* (เป็นค่าบ่งบอกความสว่าง) a* (เป็นค่าบ่งบอกสีแดง) b* (เป็นค่าบ่งบอกสีเหลือง) โดยทำการวัดค่าสีลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง จากนั้นสามารถคำนวณหาค่า Browning Index (BI) ดังสมการที่ 3.5

$$\text{Browning Index (BI)} = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17} \quad (3.5)$$

$$\text{เมื่อ } x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*}$$

L* ใช้กำหนดค่าความสว่างของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง

L = 0 คือ สีดำ

L = 100 คือ สีขาว

a* ใช้กำหนดค่าสีแดงหรือสีเขียวของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง

+a แสดงค่าสีแดง

-a แสดงค่าสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- b* ใช้กำหนดค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง
 +b แสดงค่าสีเหลือง
 -b แสดงค่าสีน้ำเงิน

3.7 การวิเคราะห์สารสำคัญ

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญทั้งหมดที่ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

3.7.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์

ในงานวิจัยจะทำการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยดัดแปลงวิธีจาก Devesa (2007) การสกัดคลอโรฟิลล์ทำได้โดยบดลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งแห้งน้ำหนักประมาณ 0.5 g ด้วยโกร่งบด ใส่ 80% acetone ปริมาตร 20 ml แล้วเทส่วนผสมในหลอดฝาเกลียวขนาด 15 ml ปิดฝาและเก็บในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาปั่นแยกตะกอนที่ความเร็ว 4,500 rpm เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บส่วนใสนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470, 646.8 และ 663.2 นำมาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Chlorophyll a } (C_a) = 12.25(A_{663.2}) - 2.79(A_{646.8}) \quad (3.6)$$

$$\text{Chlorophyll b } (C_b) = 21.5(A_{646.8}) - 5.1(A_{663.2}) \quad (3.7)$$

$$\text{Carotenoids} = \frac{[1000(A_{470}) - 1.82(C_a) - 85 - 0.02(C_b)]}{198} \quad (3.8)$$

3.7.2 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

ในงานวิจัยจะทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ด้วยวิธีของ Negata และ Yamashita (1992) นำตัวอย่างลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งแห้งมาบด ซั่งตัวอย่างละ 1 g บรรจุในตลับยา แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C จากนั้นนำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เติม Acetone: Hexane อัตราส่วน 4:6 ปริมาตร 20 ml แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่อง Homogenizer จนละเอียด ปิดฝาหลอดทดลอง พันด้วยพาราฟิล์ม นำไปแช่ในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์หาค่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 nm นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการที่ 3.9

$$\text{Beta-Carotene (mg/100 g DM)} = 0.216(A_{663}) - 1.220(A_{645}) - 0.304(A_{505}) + 0.452(A_{453}) \quad (3.9)$$

3.7.3 ปริมาณ %การยับยั้ง และวิตามินซี

3.7.3.1 การเตรียมสารสกัด

นำลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งแห้งสดมาบดด้วยโกร่งให้ละเอียด ชั่งสารตัวอย่าง 1.00 g เติม 80% MeOH (aqueous) 20 mL นำของผสมไปคนด้วยเครื่องคน (stirrer) ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 - 30 นาที นำมากรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman no.1001 110) ล้างตะกอนด้วย 80% MeOH ปริมาตรเป็น 25 mL จะได้ความเข้มข้นประมาณ 40,000 µg/mL นำไปเตรียมเป็น stock solution เท่ากับ 400 µg/mL (คัดแปลงจาก Han et al., 2004 and Georgé S, 2005)

3.7.3.2 การเตรียมสารละลาย 1,000 µM, DPPH

ชั่ง DPPH (MW = 394.32, assay = 90%) 0.0111 g นำมาละลายใน 80% MeOH (aqueous) ปริมาตรเป็น 25 mL ใช้เป็น stock solution ก่อนใช้ให้เจือจางสารละลายลงไปอีก 5 เท่าจะได้ 200 µM, DPPH ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าประมาณ 1.0 ที่ 515 nm

3.7.3.3 การสร้างกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และความยาวคลื่น (wavelength) ระหว่าง 370-900 nm ของสารละลาย DPPH

การวัดค่าการดูดกลืนแสง (Abs)

1. เปิดเครื่อง Spectronic 20+ อุ่นเครื่อง 20 นาที
2. หมุนตั้งความยาวคลื่นของ Spectronic 20+ เริ่มต้นที่ 370 nm
3. ปรับ 0 %T
4. บรรจุ 80% MeOH (ใช้เป็น blank) ประมาณ 4 mL ลงใน cuvette และทำการ set 100% T
5. บีบ 202.6 µM, DPPH 4 mL ลงใน cuvette วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 370 nm ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เท่ากับ 0.52
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เปลี่ยนความยาวคลื่นจาก 370 nm เป็น 375-900 nm ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3-5
7. นำข้อมูลไปเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Abs) และความยาวคลื่น (wavelength)

3.7.3.4 การทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระกับสารละลาย DPPH

การทำ calibration curve ของ ascorbic acid กับสารละลาย DPPH

ชั่ง ascorbic acid 0.0253 g นำมาละลายด้วย 80% MeOH เจือจางให้ได้ปริมาตร 25 mL จะได้ stock solution 1,000 $\mu\text{g/mL}$ นำไปเจือจางเพื่อเตรียมความเข้มข้น 2.0, 2.4, 2.8, 3.2 และ 3.6 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ

ปิเปต 200 μM , DPPH 2.0 mL ลงใน cuvette ตามด้วย 2.0 mL, 80% MeOH นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm บันทึกค่าที่ได้ (A_c)

ปิเปตความเข้มข้น 2.0 $\mu\text{g/mL}$ จำนวน 2.0 mL ผสมกับ 200 μM , DPPH จำนวน 2 mL ทั้งหมด 3 ชุด ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงที่ 515 nm คำนวณค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ทั้ง 3 ครั้ง (A_{30}) เปลี่ยนจากความเข้มข้น 2.0 $\mu\text{g/mL}$ เป็น 2.4, 2.8, 3.2 และ 3.6 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ นำข้อมูลไปคำนวณหา % inhibition ดังสมการที่ 3.10

$$\% \text{ inhibition} = \left(\frac{A_c - A_{30}}{A_c} \right) \times 100 \quad (3.10)$$

โดยที่ A_c = ค่าการดูดกลืนแสงสารละลาย DPPH ก่อนทำปฏิกิริยา

A_{30} = ค่าการดูดกลืนแสงสารละลาย DPPH หลังทำปฏิกิริยาเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที

การทดสอบสารสกัดกับสารละลาย DPPH

ปิเปต 200 μM , 2.0 mL และ 80%, MeOH (aqueous) จำนวน 2.0 mL ลงใน cuvette นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm บันทึกเป็นค่า A_e (control) นำสารตัวอย่างที่เจือจางได้ความเข้มข้นเหมาะสม เช่น สารสกัดจากลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งแห้งให้เตรียม stock solution เท่ากับ 400 $\mu\text{g/mL}$ นำไปเตรียมเป็นความเข้มข้น 20, 24, 28, 32 และ 36 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ ปิเปตสารสกัดความเข้มข้น 20 $\mu\text{g/mL}$ จำนวน 2.0 mL ลงใน cuvette (จำนวน 3 ชุด) ไซสารละลาย 200 μM , DPPH ที่อยู่ในบิวเรตจำนวน 2.0 mL ลงไป (ใช้ 80, MeOH เป็น blank) เขย่าให้สารละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectronic 20+ ที่ความยาวคลื่น 515 nm นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (A_{30}) นำไปคำนวณหา % inhibition ดังสมการที่ 3.11
คำนวณปริมาณวิตามินซี ตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Vitamin C } (\mu\text{g/DM}) = \left(\frac{\% \text{Inhibition} + 1.9826}{\text{slope}} \right) \times \left(\frac{\text{dilution} \times \text{volume}}{1000 \times W} \right) \quad (3.11)$$

ให้ W แทน น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (g)
slope แทน ค่าความชันจาก Standard curve
volume แทน ปริมาตรของสารสกัดทั้งหมด (ml)
dilution แทน ค่าการเจือจางก่อนวิเคราะห์

3.7.4 ปริมาณสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซน (20-hydroxyecdysone, 20E)

การสกัด crude extract นำตัวอย่างแห้งของ 4 ชุดการทดลองปริมาณ 300 g บดให้ละเอียดแล้วใส่บีกเกอร์ จากนั้นเติม เอทานอล 95% ปริมาตร 1.5 L แช่ทิ้งไว้ 3 วัน จากนั้นกรองแยกกากและสารละลาย นำสารละลายที่ได้แช่เย็นที่ 4°C แล้วนำกากที่แยกมาทำการสกัดอีกครั้ง ด้วยการเติมเอทานอล 95% ปริมาตร 1.5 L แช่ทิ้งไว้ 3 วัน จากนั้นกรองแล้วนำสารละลายทั้งหมดมาผสมกันแล้วนำเข้าเครื่อง evaporator ชั่งน้ำหนักแห้งที่ได้หลังจากการระเหย จากนั้นเตรียมสารสกัดให้อยู่ที่ความเข้มข้น 20,000 $\mu\text{g/L}$ ด้วยการผสม HPLC-grade methanol อัตราส่วน 1 mL ต่อ 1 g ของการสกัด และ กรองผ่านฟิลเตอร์ละเอียด nylon membrane filter ขนาดรูพรุน 0.4 μm

การวัดปริมาณสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซนด้วยวิธี HPLC

วัดปริมาณของสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซน ที่ได้ในแต่ละชุดการทดลอง ด้วยเทคนิค HPLC โดยกรรมวิธีการสกัดดัดแปลงจาก Snogen et al (2007) ด้วยสารละลายเอทานอล จากนั้นวิเคราะห์ตัวอย่างโดยการฉีดเข้าเครื่อง HPLC ด้วยปริมาณ 20 μL ใช้อัตราการไหลผ่านคอลัมน์เท่ากับ 1 mL/min อุณหภูมิคอลัมน์ที่ 40°C สูดท้ายนำผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องตรวจวัด UV-Vis detector ในตัวอย่างสารสกัดเปรียบเทียบกับโครมาโตแกรมกับสารมาตรฐาน 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซน ทำการทดสอบชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความ

แตกต่างกันทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองอบแห้งลำตันแห้งหน่อไม้ฝรั่งโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ทางเดียว (One-way ANOVA) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) นำเสนอข้อมูลการทดลองโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ทดสอบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน

จากการอบแห้งลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่ง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เมื่อใส่ปริมาณวัสดุในห้องอบแห้งแตกต่างกัน โดยมีปริมาณวัสดุ 300 g และ 500 g ให้ผลการทดลองดังนี้

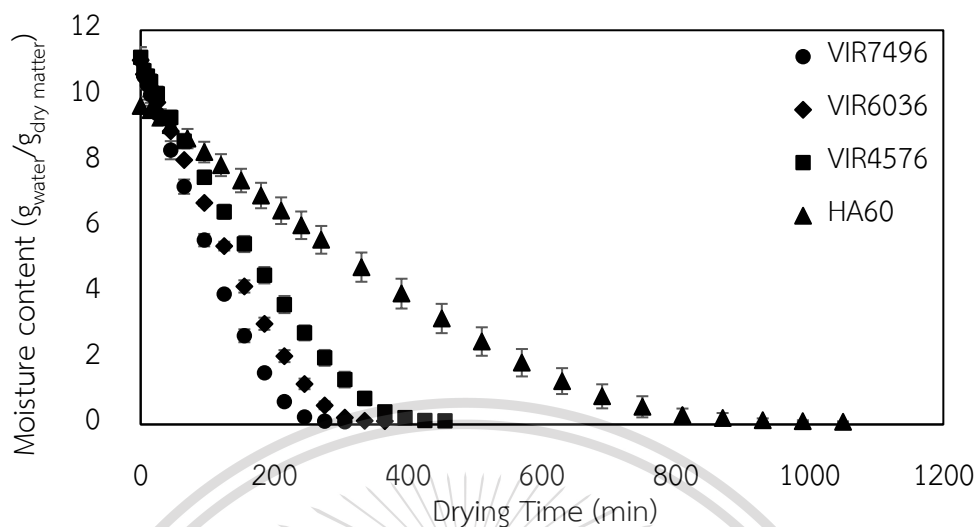
4.1.1 ความชื้นและอัตราส่วนความชื้น

ลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 9.92 ± 0.73 g water/g dry matter ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่มีปริมาณวัสดุแตกต่างกัน จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.10 g water/g dry matter อบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้ม 4576 W/m^2 , 6036 W/m^2 และ 7496 W/m^2 โดยกำหนดปริมาณวัสดุที่ 300 g และ 500 g และมีการอบแห้งแบบลมร้อนที่ปริมาณ 500 g เป็นตัวควบคุม ที่อุณหภูมิ 60°C ระดับความเร็วลมคงที่ 1 m/s พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของวัสดุที่ปริมาณ 300 g เท่ากับ 455, 365, และ 275 min ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของวัสดุที่ปริมาณ 500 g เท่ากับ 635, 515, และ 335 min ตามลำดับ โดยเวลาของการอบแห้งแบบลมร้อนเท่ากับ 990 min ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานที่สุด จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณวัสดุมากขึ้นจะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น และการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้ม 7496 W/m^2 ที่ปริมาณ 300 g และ 500 g สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน โดยใช้เวลาน้อยกว่าถึง 3.6 และ 3 เท่า ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

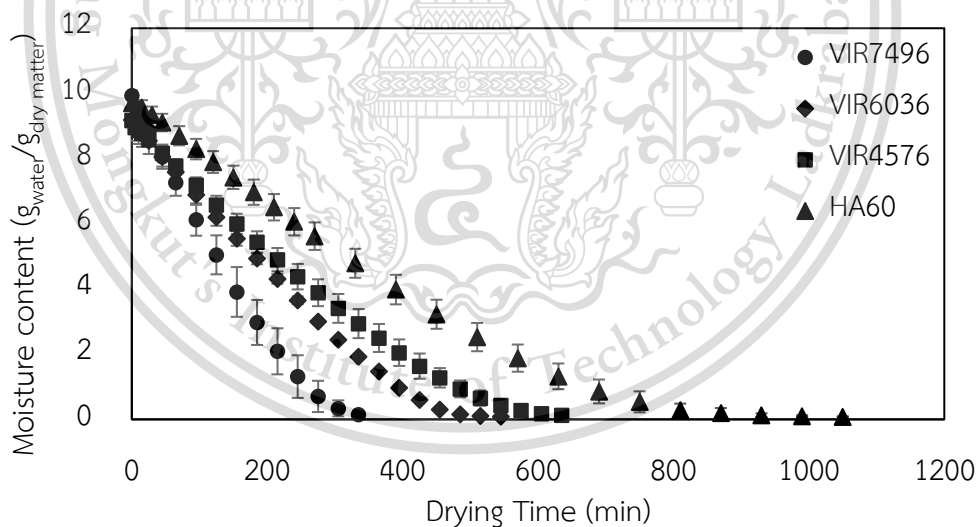
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นและการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 300 g

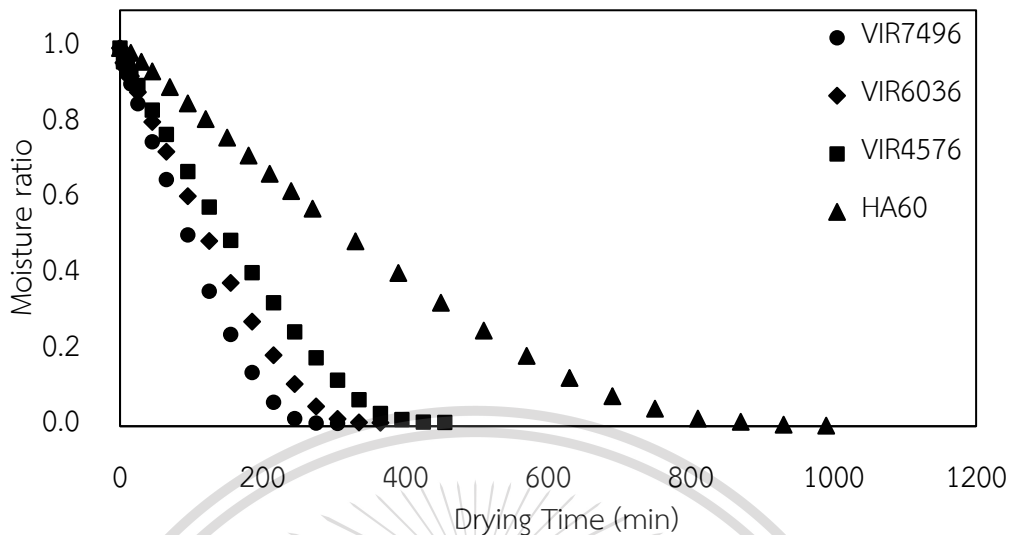


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นและการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 500 g

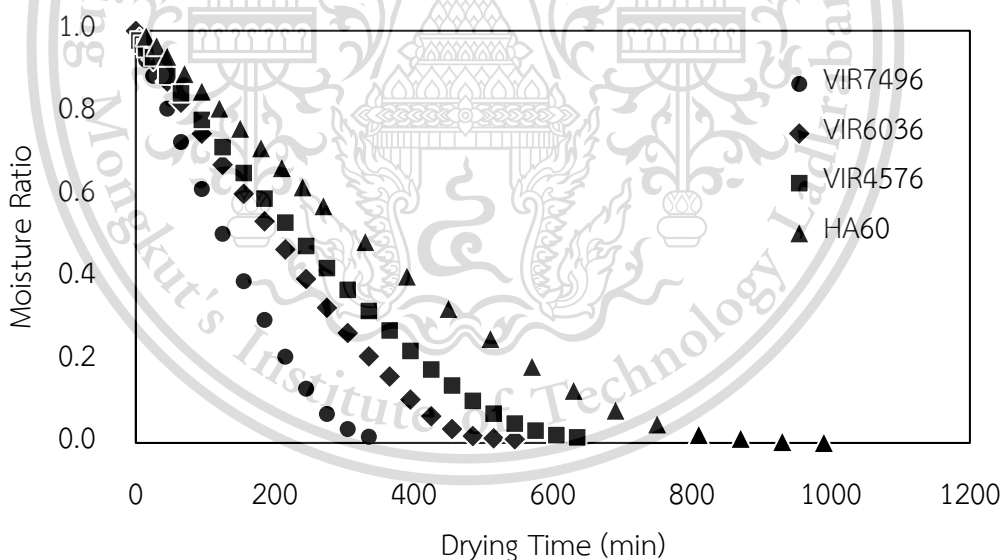
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นและการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 300 g



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นและการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 500 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 อัตราการอบแห้ง

รูปที่ 4.5, 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและอัตราส่วนความชื้น ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าช่วงอัตราการอบแห้งมี 3 ช่วง คือ ช่วงปรับสภาพ ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงครั้งที่ 1 และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงครั้งที่ 2 จะเห็นได้ว่าในแต่ละความชื้น ความชื้นจะลดลงได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ในลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งยังมีอยู่มาก

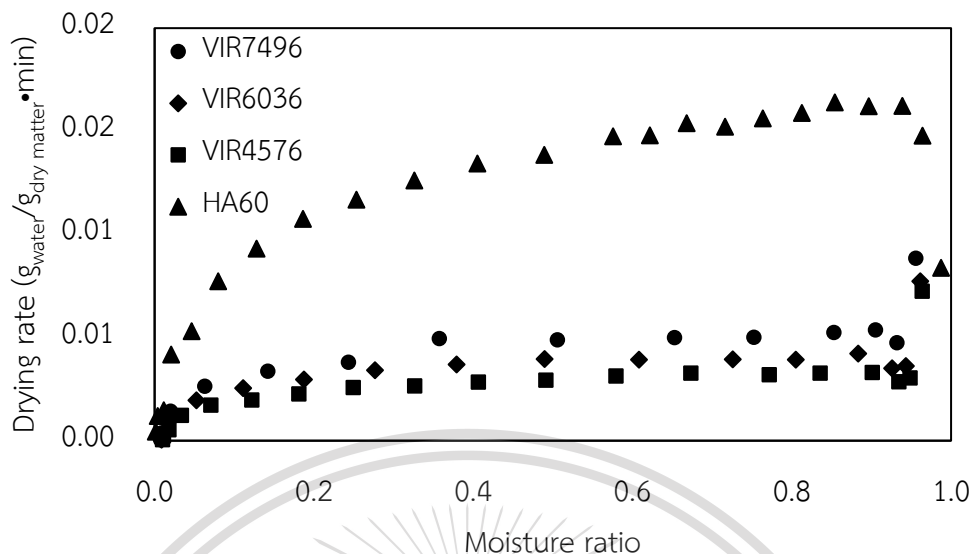
จะเห็นได้ว่าความชื้นของรังสีอินฟราเรดเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เวลาในการลดความชื้นของลำต้นแข็งของหน่อไม้ฝรั่งลดลง โดยความชื้นรังสีที่มากกว่าจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าและมีอัตราการอบแห้งมากกว่า



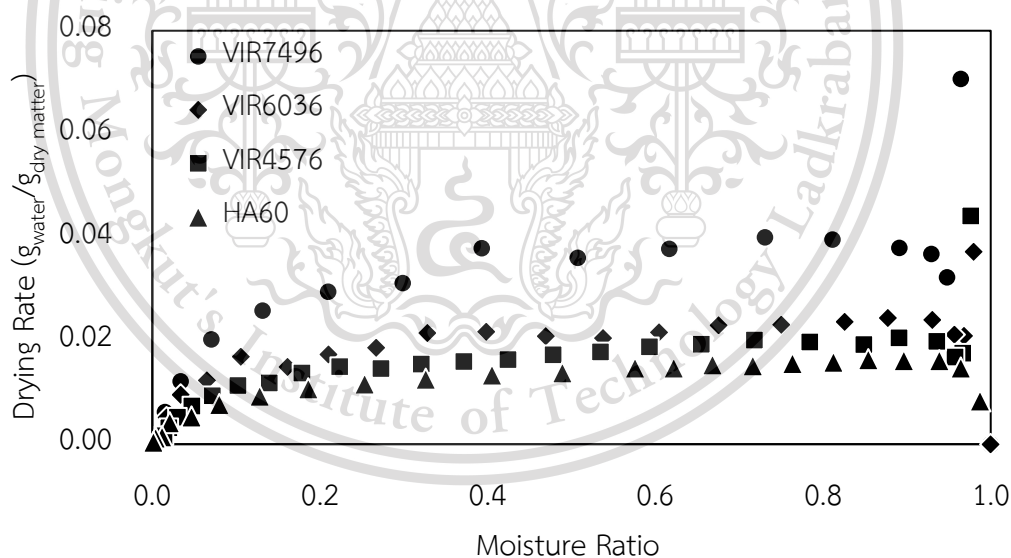
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันและการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 300 g



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันและการอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อปริมาณวัสดุเข้าอบ 500 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.3 เวลาในการอบแห้ง

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งสูงสุดของของการอบแห้งลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่มีความเข้มรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ดังตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าและมีอัตราการทำให้แห้งที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยที่ปริมาณวัสดุ 300 g ใช้เวลาน้อยกว่าถึงเกือบ 3.6 เท่า และที่ปริมาณวัสดุ 500 g ใช้เวลาน้อยกว่าถึงเกือบ 3 เท่าและมีอัตราการอบแห้งสูงสุดมากกว่าถึง 4.3 เท่า ซึ่งพบว่าวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่มีความเข้มรังสีต่างกันมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งด้วย โดยที่ความเข้มรังสีสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งก็จะลดลง และอัตราการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.1 เวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมและอัตราการอบแห้งสูงสุดของการอบแห้งลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่มีความเข้มรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน

Treatment	ปริมาณวัสดุ (g)	Drying time (min)	Maximum drying rate (g water/g dry matter· min)
VIR 7,496 W/m ²	300	275	0.0088±0.000014
	500	335	0.0707±0.0316
VIR 6,036 W/m ²	300	365	0.0077±0.0006
	500	515	0.0373±0.0194
VIR 4,576 W/m ²	300	455	0.0073±0.0015
	500	635	0.0442±0.0366
HA 60 °C	500	990	0.0164±0.0008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

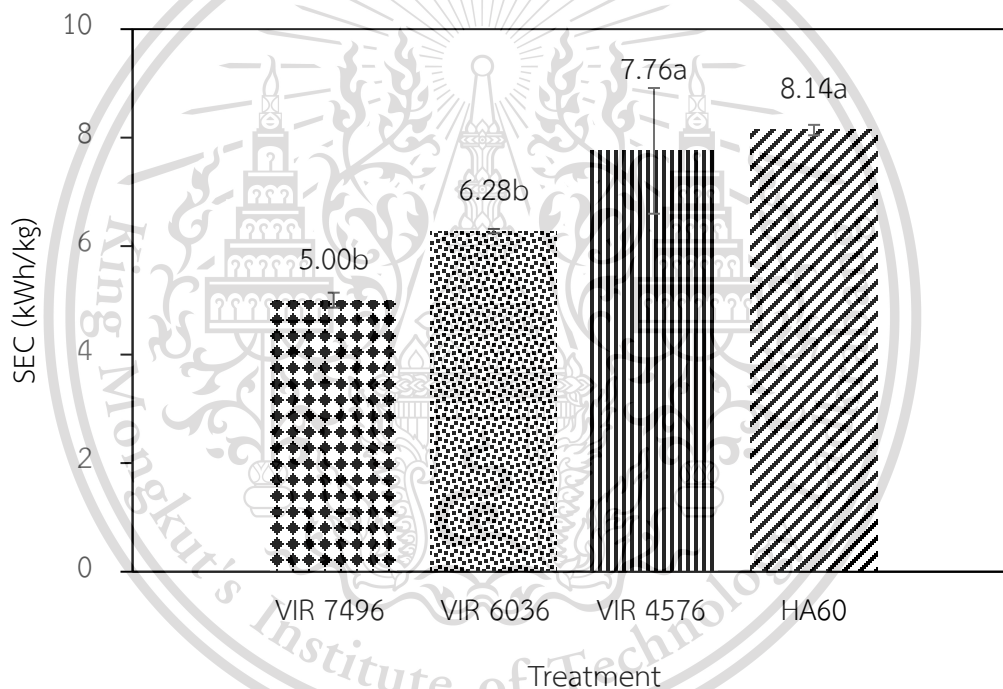
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 อิทธิพลของความเข้มรังสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง

4.2.1 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

มีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ จากรูปที่ 4.7 เห็นได้ว่าพลังงานที่ใช้มีค่าแปรผกผันกับความเข้มรังสีในการอบแห้งนั่นคือ ค่าความเข้มรังสีที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า SEC นั้นลดลง โดยการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้ม 7496 W/m² มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด



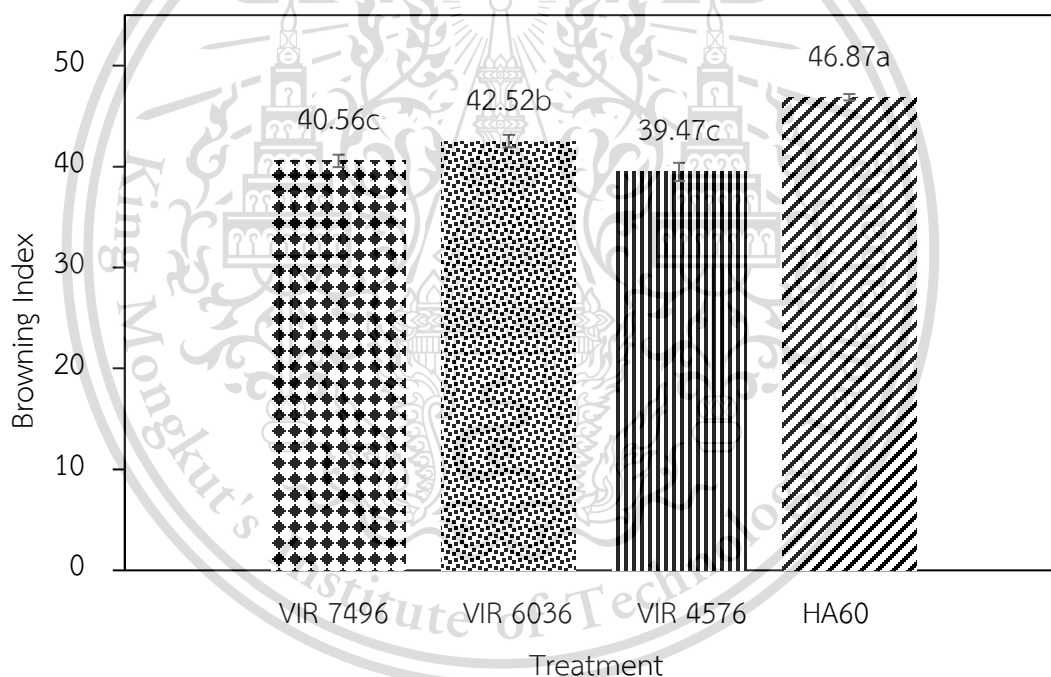
รูปที่ 4.7 ค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน

4.2.2 ค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index, BI)

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงค่าดัชนีสีน้ำตาลที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งจะพบว่า

ค่า ดัชนีสีน้ำตาลที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันนั้นมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน และหากพิจารณาที่ความเข้มรังสีพบว่าที่ความเข้ม 4576 W/m² มีค่าดัชนีสีน้ำตาลน้อยที่สุด

เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) กับกรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะสีที่คล้ำ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551) โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, pH, ปริมาณความชื้นของวัสดุ และเวลาในการอบแห้ง โดยจะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (วารินทร์ พิมพา, 2551) ซึ่งการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี แผ่มาที่เนื้อวัสดุโดยตรง จึงใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า และอุณหภูมิที่ผิวไม่ได้มีการสะสมมากเหมือนกับการอบแห้งแบบลมร้อนที่เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน ทำให้ผิววัสดุได้รับความร้อนเร็วกว่าภายในวัสดุ จึงทำให้เกิดการสะสมอุณหภูมิที่บริเวณผิววัสดุมากกว่า และใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน จึงมีโอกาสทำให้ผิววัสดุมีสีเข้มขึ้นหรือคล้ำขึ้นได้



รูปที่ 4.8 ค่า Browning Index (BI) ของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

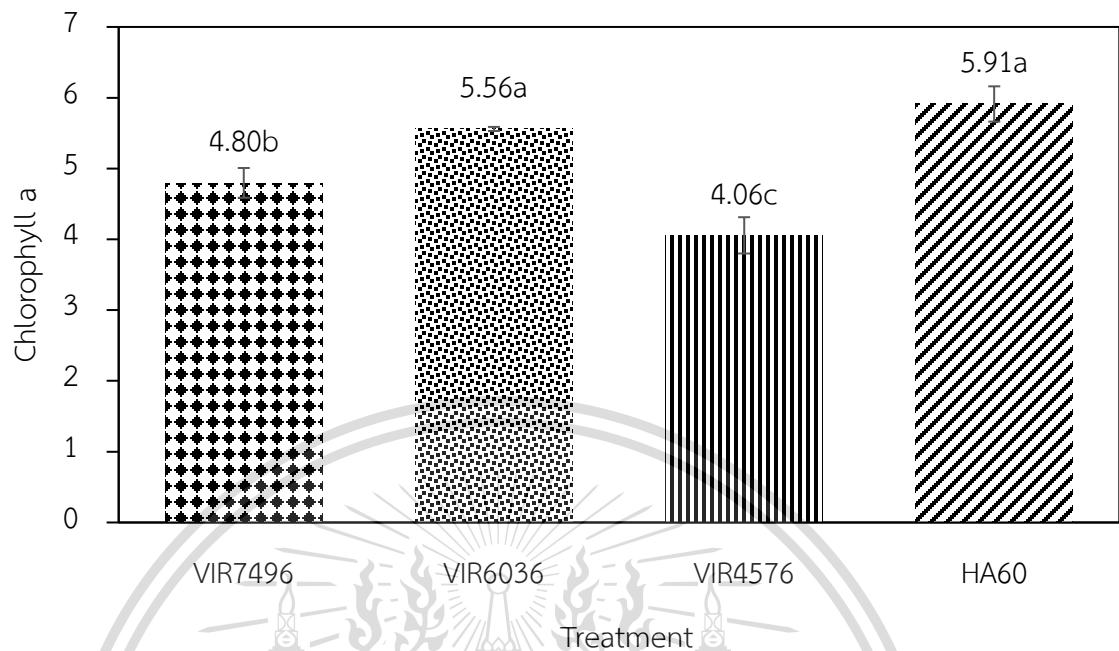
4.2.3 20-ไฮดรอกซีเอกโตโซน และค่าสารสำคัญอื่น ๆ

จากรูปที่ 4.9 ถึง 4.15 แสดงให้เห็นผลของการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี, แคโรทีนอยด์, เบต้าแคโรทีน, วิตามินซี, %การยับยั้ง, 20-ไฮดรอกซีเอกโตโซน ของลำต้น แข็งหน่อไม้ฝรั่งที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับเบดส์และอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งพบว่าความเข้มข้นอินฟราเรดที่แตกต่างกัน ปริมาณสารสำคัญที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปริมาณสารคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีปริมาณสูงสุดที่กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน แต่ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ และเบต้าแคโรทีน สูงสุดที่กระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่ความเข้มข้น 6036 W/m² และมีปริมาณวิตามินซี, %การยับยั้ง และ 20-ไฮดรอกซีเอกโตโซน สูงสุดที่กระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่ความเข้มข้น 7496 W/m² ซึ่งจากผลการวิจัยของ Ho Sik Rho (2010) รังสีอินฟราเรดช่วยเพิ่มปริมาณสารสำคัญในพืชสมุนไพร โดยกระตุ้นให้สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เกิดการแตกพันธะเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งสามารถทำให้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น จากที่กล่าวมาข้างต้นสาร 20-ไฮดรอกซีเอกโตโซน มีปริมาณมากที่สุดที่ความเข้มข้น 7496 W/m² ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ งานวิจัยนี้จึงเลือกกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่ความเข้มข้น 7496 W/m² มาใช้ในการผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้บด บรรจุแคปซูล

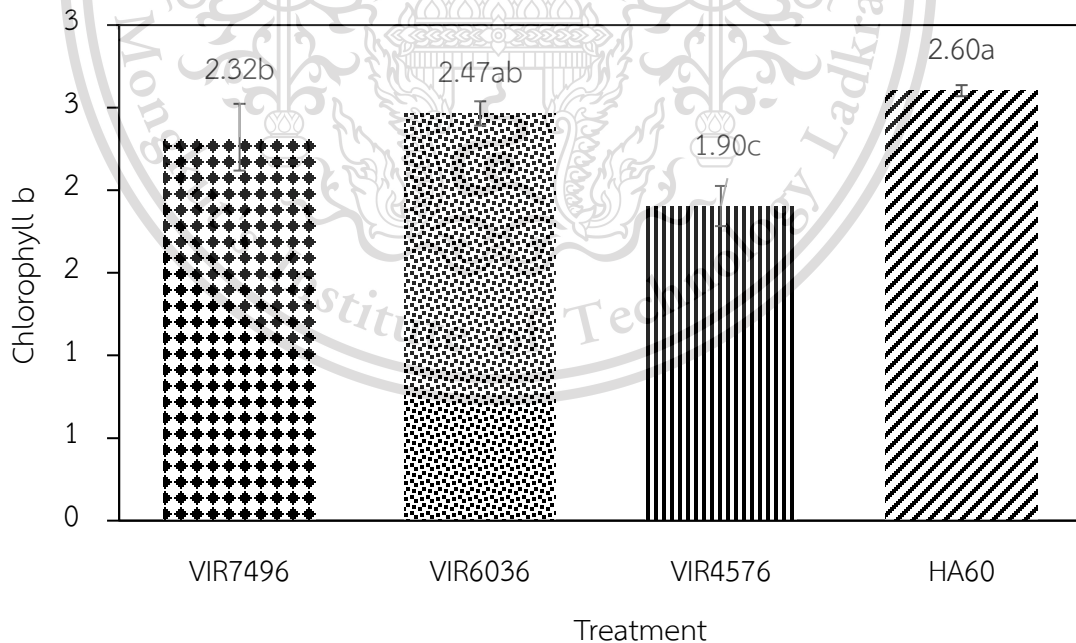
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ทำกรอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน

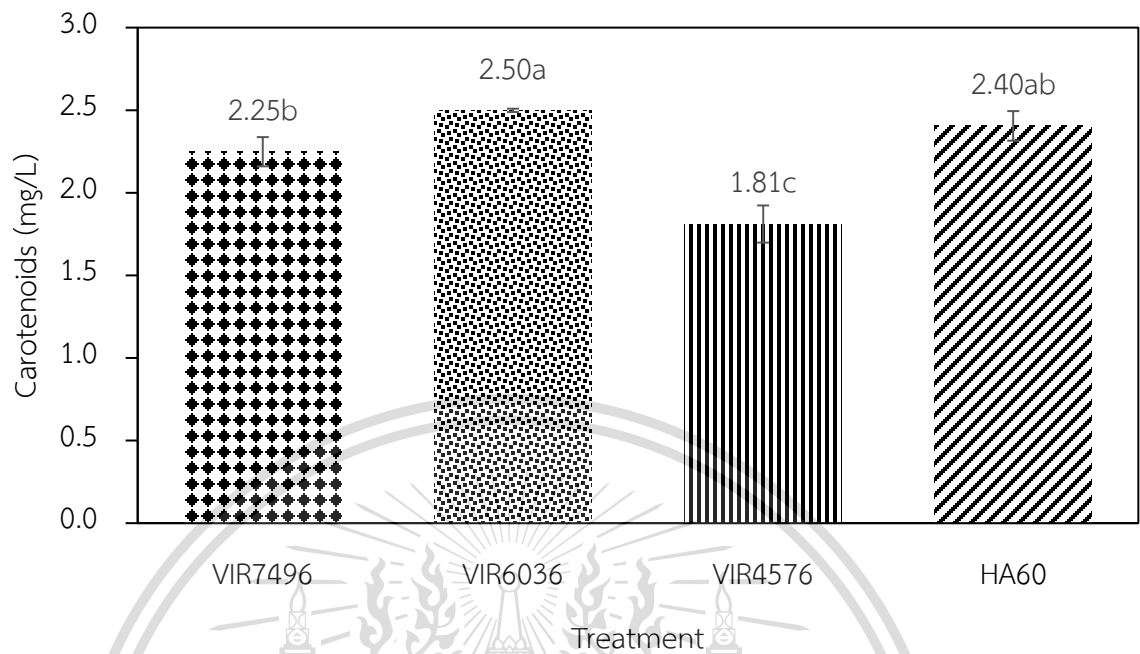


รูปที่ 4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่ทำกรอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน

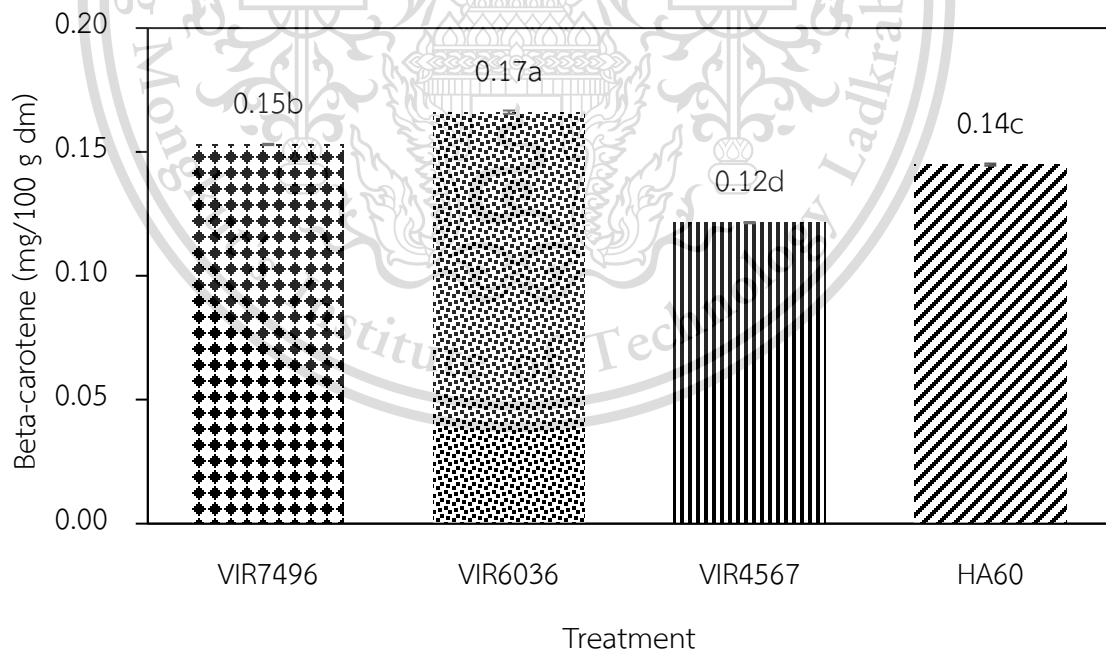
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

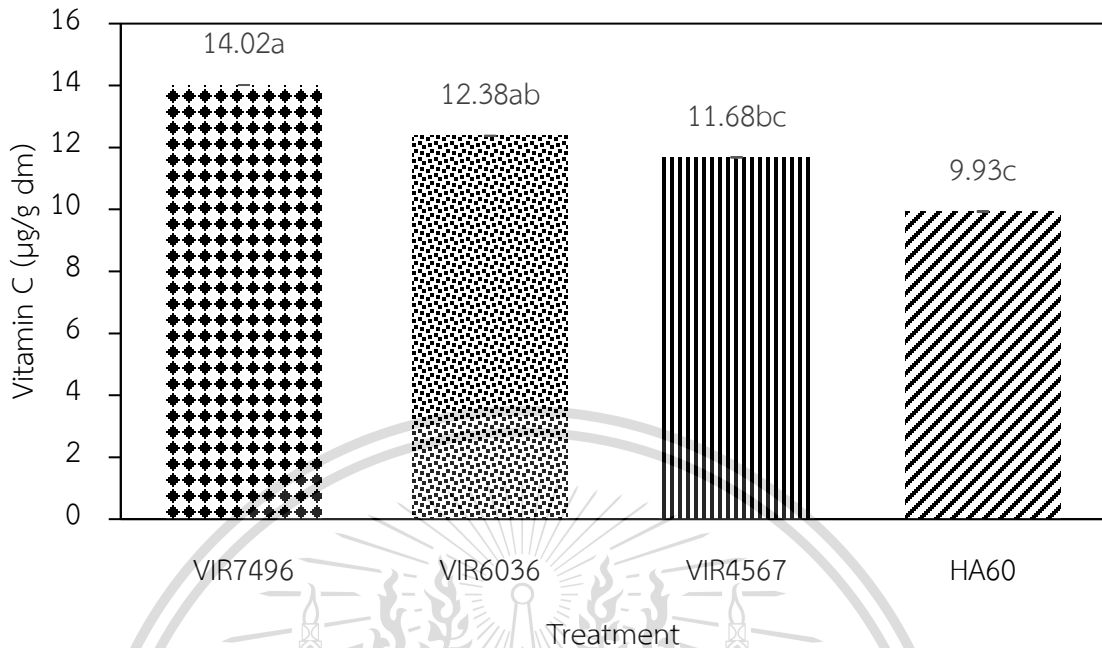
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



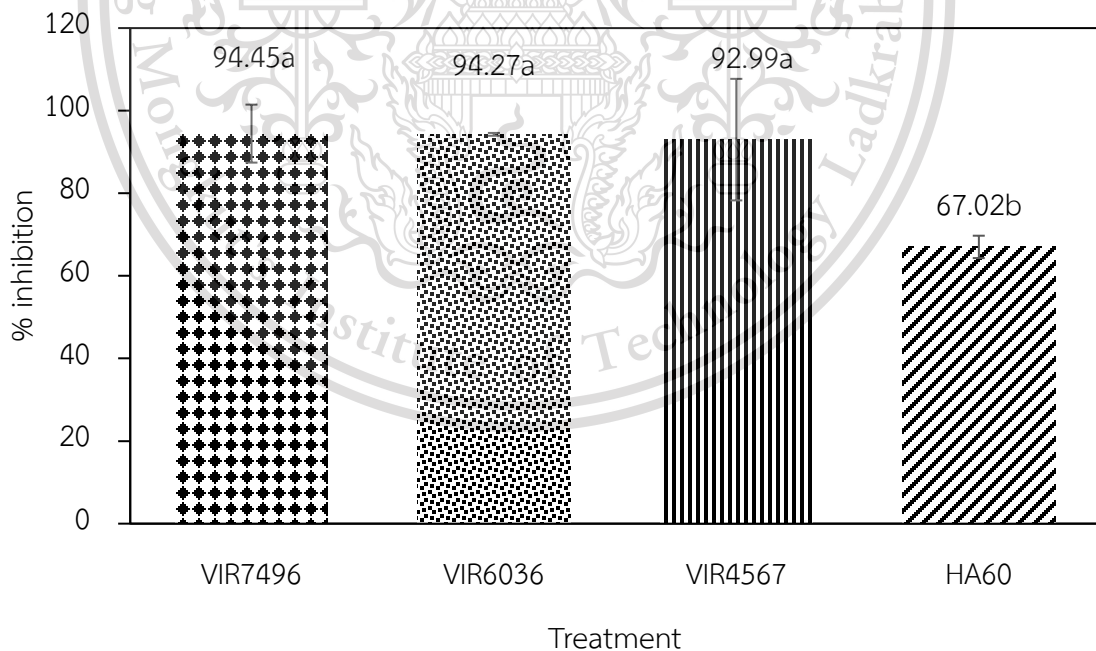
รูปที่ 4.11 ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่มีความเข้มรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน



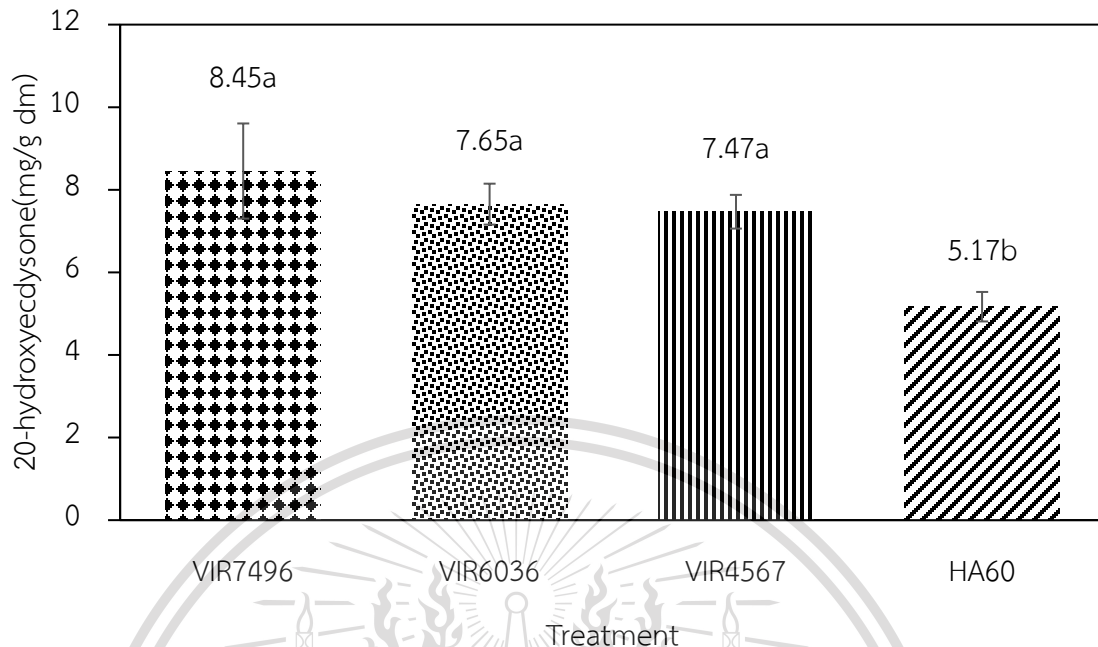
รูปที่ 4.12 ปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่มีความเข้มรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน



รูปที่ 4.13 ปริมาณวิตามินซีที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่มีความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน



รูปที่ 4.14 ปริมาณ %การยับยั้งที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดส์ที่มีความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน



รูปที่ 4.15 ปริมาณ 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซนที่ทำกรอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ และการอบแห้งแบบลมร้อน

4.2.4 ลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ากระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี 7496 W/m² มีปริมาณสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซนสูงที่สุด งานวิจัยนี้จึงเลือกกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี 7496 W/m² มาใช้ในการผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบด ที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh แล้วนำมาอัดบรรจุแคปซูล ซึ่งบรรจุ 500 mg ต่อแคปซูล ในแต่ละแคปซูลมีปริมาณสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซน 4 mg โดยรับประทานครั้งละ 1 แคปซูล 3 เวลาหลังอาหาร จึงจะได้รับสารเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ 12 mg ครบตามที่ร่างกายต้องการ ซึ่งผลการวิจัยของ Davis (2020) กล่าวว่ารับประทานสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซนอย่างน้อย 12 mg ต่อวัน ก็มีประสิทธิภาพที่สามารถเพิ่มมวลกล้ามเนื้อให้ร่างกายได้ เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน ปริมาณสาร 20-ไฮดรอกซีเอ็กโดไซนที่เพียงพอต่อการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อต้องรับประทานถึง 5 แคปซูลต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 บรรจุภัณฑ์หน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 อิทธิพลของปริมาณวัสดุต่อลักษณะการอบแห้งลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน

จากการวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง ปริมาณวัสดุส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง โดยการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันสำหรับลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งปริมาณ 300 g ใช้เวลาน้อยกว่าที่ปริมาณ 500 g ถึง 1.2-1.4 เท่า เนื่องจากปริมาณวัสดุมากกว่า ทำให้อัตราการอบแห้งสูงสุดที่พบในลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งปริมาณ 500 g มากกว่าปริมาณ 300 g ถึง 4-8 เท่า

5.2 อิทธิพลของความเข้มข้นสีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและคุณภาพของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง

จากการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นสีที่ต่างกัน ความเข้มข้นสีที่ 7,496 W/m² ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าความเข้มข้นต่ำที่ 4,576 W/m² ถึง 1.6 เท่า ส่วนคุณสมบัติของลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งอบแห้ง พบว่าความเข้มข้นสีสูงสุดที่ 7,496 W/m² ให้ปริมาณ 20 ไฮดรอกซีเอกไโดโซน วิตามินซี และการยับยั้ง สูงสุด ความเข้มข้นสี 6,036 W/m² ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ และเบต้าแคโรทีน สูงสุด การอบแห้งแบบลมร้อนให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี สูงสุด ส่วนดัชนีสีน้ำตาลมีค่าน้อยที่สุดที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ 4,576 W/m²

5.3 การผลิตลำต้นแข็งหน่อไม้ฝรั่งบรรจุแคปซูล

ปริมาณบรรจุ 500 mg ต่อแคปซูลเหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณสาร 20 ไฮดรอกซีเอกไโดโซน 4 mg ต่อแคปซูล เมื่อรับประทานครั้งละ 1 แคปซูล 3 ครั้งต่อวัน หลังมื้ออาหาร ทำให้ได้รับสารเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ 12 mg ครบตามที่ร่างกายต้องการในแต่ละวัน

5.4 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทำการทดลองซ้ำมากกว่าสองตัวอย่างและเพิ่มความหลากหลายของตัวอย่างให้มากขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เพื่อความแม่นยำทางการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผล ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

ชาลีตา บรมพิชัยชาติกุล. (2555, เมษายน). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 35 : ฉบับที่ 2. หน้า 269-282 .

ธวัชชัย ธรรมชั้นแก้ว และวีระ ฟ้าเพ็ญวิทยากุล. “การประเมินสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้กับวัสดุเกษตร”. ในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, วันที่ 4-5 เมษายน 2555, ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่, หน้า 612.

ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2560). ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผักสด. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ [Online]. Available: https://kjna.ubru.ac.th/j_files/document/J1527258058.pdf (วันที่สืบค้น 3 พฤษภาคม 2564)

นิรนาม. (ม.ป.ป). ประโยชน์ของหน่อไม้ฝรั่ง. [Online]. Available: <https://www.laservisionthai.com/health-corner/ประโยชน์ของหน่อไม้ฝรั่ง> (วันที่สืบค้น 28 กรกฎาคม 2563)

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2551). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3 โอเดียนโตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 324.

ปัทมา ถาวรนิธิและอุทัยพรรณ ประเสริฐสม. (ม.ป.ป). การศึกษาศักยภาพของการผลิตฮอร์โมนลอกคราบเบตา-เอคโตโซน โดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเซลล์พืชไข่ม้วน. [Online]. Available: https://cuir.car.chula.ac.th/dspace/bitstream/123456789/17285/5/Pana_Lo_ch1.pdf (วันที่สืบค้น 28 กรกฎาคม 2563)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). ความชื้น. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0830/moisture-content-ความชื้น>. (วันที่สืบค้น 21 มิถุนายน 2563)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). คลอโรฟิลล์. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1341/chlorophyll> (วันที่สืบค้น 3 พฤษภาคม 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). **อัตราการทำให้แห้ง**. [Online].

Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate-อัตราการทำให้แห้ง>. (วันที่สืบค้น 21 มิถุนายน 2563)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). **เครื่องทำให้แห้งอินฟราเรด**. [Online].

Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3006/infrared-เครื่องทำให้แห้งอินฟราเรด>. (วันที่สืบค้น 21 มิถุนายน 2563)

พินิจ แจกอิน และโสธยา แก้วลา. (2556). **การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก และข้าวกล้องงอก**. โครงการงานวิจัยครุศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

รัฐพล แสงระยับ. (2550). **การพัฒนาการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล**. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

วารินทร์ พิมพ์. (2551). **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่องการผลิตเทคโนโลยีการทำแห้งของกล้วยน้ำว้าต่อการคงคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ**. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร. หน้า 31.

วรรณัฐ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา และ ดร.วรรณภา สนั่นพานิชกุล. (2562). **หน่อไม้ฝรั่งไทยกระจายไกลไปทั่วโลก ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช**. [Online].

Available: https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_74713 (วันที่สืบค้น 4 สิงหาคม 2564)

เศรษฐวัฒน์ ถนิมกาญจน์. (2562). **การอบแห้งเพชรสังฆาตด้วยอินฟราเรดร่วมกับการสั่นสะเทือนภายใต้สภาวะสุญญากาศ**. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศรมน สุทิน. (2559) **“วิตามินกับอนุมูลอิสระ.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ**. ปีที่2, ฉบับที่ 1:88-89. [Online].

Available:<http://scijournal.hcu.ac.th/data/Vol2%20Issue%201%20Vitamins.pdf> (วันที่สืบค้น 3 พฤษภาคม 2564)

สิทธิโชค ศรีโซ, ันยธรรณ นาราเต็มทรัพย์, จิรัฏฐ์ ฉายะจินดาวงศ์, สุทิษา เหวียนระวี. (2549). **กินผักอย่างไรให้ปลอดภัย**. นิตยสาร Health and cuisine 67: 26.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หมอชาวบ้าน. (2551). **หน่อไม้ฝรั่งผัดกุ้ง**. [Online].

Available: <https://www.doctor.or.th/article/detail/5633>

(วันที่สืบค้น 28 กรกฎาคม 2563)

Bimal Chitrakara, Min Zhanga, Benu Adhikarid. (2019). **Asparagus (*Asparagus officinalis*):**

Processing effect on nutritional and phytochemical composition of spear and hard-stem byproducts. Food Science and Technology, Jiangnan University.

Bradley Davis. (2020). **Ecdysterone Explained: The 5 Biggest Benefits Revealed.** [Online].

Available: <https://nectac.org/ecdyserone-explained/> (วันที่สืบค้น 20 มีนาคม 2564)

C.I. Nindoa, T. Sunb, S.W. Wangb, J. Tanga, J.R. Powersb. (2003). **Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus.**

Biological Systems Engineering Washington State University.

Costache, M.A., G. Campeanu, and G. Neata. (2012). **Studies concerning the extraction of chlorophyll and total carotenoids from vegetables.** *Romanian Biotechnological Letters*. 17(5), 7702–7708.

Dumbravă, D.-G., C. Moldovan, D. Raba, and M.-V. Popa. (2012). **Vitamin C, chlorophylls, carotenoids and xanthophylls content in some basil (*Ocimum basilicum* L.) and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaves extracts.** *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 18(3), 253–258.

J.Ratseewo, N.Meeso, S.Siriamornpun. (2019). **Changes in amino acids and bioactive compounds of pigmented rice as affected by far-infrared radiation and hot air drying.** Engineering, Mahasarakham University.

Phan-Thi, H., Durand, P., Prost, M., Prost, E. and Waché, Y. (2016). **Effect of heat-processing on the antioxidant and prooxidant activities of β -carotene from natural and synthetic origins on red blood cells.** *Food Chemistry* 190: 1137– 1144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.1 ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี 7,496 W/m² ที่ปริมาณวัสดุ 500 g

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
	0	9.9370	0.1574	0.9997	0.0000	0.0000
5	9.5837	0.2140	0.9642	0.0157	0.0707	0.0316
10	9.4222	0.2258	0.9479	0.0166	0.0323	0.0023
15	9.2382	0.2452	0.9294	0.0173	0.0368	0.0047
25	8.8584	0.2675	0.8911	0.0189	0.0380	0.0024
45	8.0657	0.3100	0.8113	0.0229	0.0396	0.0022
65	7.2653	0.4055	0.7307	0.0329	0.0400	0.0048
95	6.1311	0.4954	0.6165	0.0437	0.0378	0.0034
125	5.0484	0.5985	0.5076	0.0554	0.0361	0.0036
155	3.9102	0.7632	0.3928	0.0725	0.0379	0.0063
185	2.9746	0.6908	0.2988	0.0666	0.0312	0.0037
215	2.0885	0.7072	0.2096	0.0691	0.0295	0.0006
245	1.3131	0.6544	0.1316	0.0646	0.0258	0.0020
275	0.7045	0.4793	0.0705	0.0476	0.0203	0.0059
305	0.3383	0.2450	0.0338	0.0244	0.0122	0.0079
335	0.1512	0.0664	0.0151	0.0065	0.0062	0.0061

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.2 ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี $6,036 \text{ W/m}^2$ ที่ปริมาณวัสดุ 500 g

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
0	9.1863	0.4128	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	9.0000	0.4493	0.9796	0.0115	0.0373	0.0194
10	8.8952	0.4446	0.9682	0.0115	0.0210	0.0010
15	8.7893	0.4299	0.9567	0.0121	0.0212	0.0039
25	8.5485	0.4074	0.9305	0.0124	0.0241	0.0025
45	8.0598	0.3714	0.8774	0.0124	0.0244	0.0019
65	7.5863	0.3558	0.8258	0.0139	0.0237	0.0013
95	6.8923	0.3097	0.7503	0.0127	0.0231	0.0015
125	6.2023	0.2629	0.6753	0.0121	0.0230	0.0016
155	5.5520	0.2254	0.6045	0.0110	0.0217	0.0013
185	4.9361	0.1787	0.5375	0.0094	0.0205	0.0016
215	4.3082	0.1479	0.4692	0.0133	0.0209	0.0019
245	3.6556	0.1187	0.3982	0.0136	0.0218	0.0013
275	3.0091	0.0766	0.3278	0.0122	0.0216	0.0015
305	2.4481	0.0468	0.2668	0.0122	0.0187	0.0013
335	1.9260	0.0443	0.2099	0.0104	0.0174	0.0002
365	1.4777	0.0518	0.1612	0.0122	0.0149	0.0028
395	0.9698	0.0332	0.1057	0.0052	0.0169	0.0026
425	0.5979	0.0138	0.0652	0.0028	0.0124	0.0006
455	0.3100	0.0057	0.0338	0.0018	0.0096	0.0003
485	0.1552	0.0100	0.0170	0.0018	0.0052	0.0003
515	0.1052	0.0027	0.0115	0.0008	0.0017	0.0002
545	0.0872	0.0017	0.0095	0.0004	0.0006	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.3 ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี $4,576 \text{ W/m}^2$ ที่ปริมาณวัสดุ 500 g

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
0	9.1720	0.1407	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	8.9511	0.0444	0.9763	0.0199	0.0442	0.0366
10	8.8629	0.0789	0.9667	0.0235	0.0176	0.0113
15	8.7786	0.1127	0.9575	0.0271	0.0169	0.0108
25	8.5791	0.1338	0.9358	0.0290	0.0200	0.0116
45	8.1665	0.1700	0.8908	0.0323	0.0206	0.0120
65	7.7801	0.2051	0.8487	0.0355	0.0193	0.0112
95	7.1870	0.2386	0.7840	0.0381	0.0198	0.0114
125	6.5817	0.2795	0.7181	0.0416	0.0202	0.0117
155	6.0013	0.3097	0.6548	0.0439	0.0193	0.0112
185	5.4352	0.3358	0.5931	0.0458	0.0189	0.0109
215	4.8987	0.3599	0.5346	0.0475	0.0179	0.0103
245	4.3784	0.3911	0.4779	0.0500	0.0173	0.0100
275	3.8859	0.4120	0.4242	0.0515	0.0164	0.0095
305	3.4045	0.4430	0.3717	0.0540	0.0160	0.0093
335	2.9381	0.4454	0.3208	0.0535	0.0155	0.0090
365	2.4976	0.4295	0.2728	0.0510	0.0147	0.0085
395	2.0471	0.4067	0.2236	0.0478	0.0150	0.0087
425	1.6330	0.3881	0.1784	0.0451	0.0138	0.0080
455	1.2762	0.2982	0.1394	0.0347	0.0119	0.0072
485	0.9354	0.2587	0.1022	0.0298	0.0114	0.0066
515	0.6536	0.2342	0.0715	0.0266	0.0094	0.0055
545	0.4321	0.1756	0.0473	0.0199	0.0074	0.0045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.3(ต่อ) ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี $4,576 \text{ W/m}^2$ ที่ปริมาณวัสดุ 500 g

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
	575	0.2739	0.1181	0.0300	0.0133	0.0053
605	0.1782	0.0606	0.0195	0.0069	0.0032	0.0023
635	0.1278	0.0201	0.0140	0.0024	0.0017	0.0014



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.4 ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี $7,496 \text{ W/m}^2$ ที่ปริมาณวัสดุ 300 g

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
	0	11.0947	0.3938	1.0000	0.0000	0.0000
5	10.6041	0.3756	0.9558	0.0001	0.0088	0.00001
10	10.3402	0.3604	0.9320	0.0006	0.0048	0.00011
15	10.0419	0.3408	0.9051	0.0014	0.0054	0.00016
25	9.4610	0.3692	0.8527	0.0030	0.0052	0.00044
45	8.3491	0.2767	0.7526	0.0018	0.0050	0.00024
65	7.2390	0.2183	0.6525	0.0035	0.0050	0.00009
95	5.6115	0.1891	0.5058	0.0009	0.0049	0.00009
125	3.9634	0.0412	0.3574	0.0090	0.0049	0.00027
155	2.7000	0.1974	0.2432	0.0092	0.0038	0.00060
185	1.5764	0.0806	0.1421	0.0022	0.0034	0.00023
215	0.6994	0.0262	0.0630	0.0001	0.0026	0.00007
245	0.2230	0.0287	0.0201	0.0019	0.0014	0.00006
275	0.0981	0.0152	0.0088	0.0011	0.0004	0.00003
305	0.0822	0.0067	0.0074	0.0009	0.00005	0.00006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.5 ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี $6,036 \text{ W/m}^2$ ที่ปริมาณวัสดุ 300 g

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
	0	11.0906	0.0363	1.0000	0.0000	0.0000
5	10.6625	0.0696	0.9614	0.0031	0.0077	0.00063
10	10.4618	0.0212	0.9433	0.0012	0.0036	0.00086
15	10.2677	0.0342	0.9258	0.0001	0.0035	0.00025
25	9.7989	0.0520	0.8835	0.0018	0.0042	0.00017
45	8.9269	0.0308	0.8049	0.0054	0.0039	0.00036
65	8.0509	0.0131	0.7259	0.0035	0.0039	0.00009
95	6.7463	0.0888	0.6083	0.0100	0.0039	0.00021
125	5.4305	0.1332	0.4897	0.0136	0.0040	0.00012
155	4.2024	0.1869	0.3789	0.0181	0.0037	0.00015
185	3.0660	0.1852	0.2765	0.0176	0.0034	0.00002
215	2.0807	0.1826	0.1876	0.0171	0.0030	0.00002
245	1.2342	0.1611	0.1113	0.0149	0.0025	0.00007
275	0.5818	0.1183	0.0525	0.0108	0.0020	0.00014
305	0.2110	0.0352	0.0190	0.0032	0.0011	0.00025
335	0.1151	0.0069	0.0104	0.0007	0.0003	0.00009
365	0.0986	0.0007	0.0089	0.0001	0.0001	0.00002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.6 ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบตสันที่ความเข้มรังสี $4,576 \text{ W/m}^2$ ที่ปริมาณวัสดุ 300 g

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
	0	11.1778	0.3077	1.0000	0.0000	0.00000
5	10.7712	0.2138	0.9638	0.0074	0.00725	0.00148
10	10.6011	0.2086	0.9485	0.0074	0.00304	0.000008
15	10.4414	0.2209	0.9342	0.0059	0.00286	0.00030
25	10.0712	0.2162	0.9011	0.0055	0.00331	0.00005
45	9.3408	0.2161	0.8357	0.0037	0.00327	0.00009
65	8.6246	0.2244	0.7716	0.0012	0.00321	0.00013
95	7.5268	0.1999	0.6734	0.0006	0.00327	0.00002
125	6.4746	0.2183	0.5792	0.0036	0.00314	0.00014
155	5.4930	0.2455	0.4913	0.0084	0.00293	0.00016
185	4.5427	0.2493	0.4063	0.0111	0.00284	0.00009
215	3.6508	0.2603	0.3264	0.0143	0.00266	0.00011
245	2.7885	0.2297	0.2493	0.0137	0.00257	0.00002
275	2.0278	0.2409	0.1812	0.0166	0.00227	0.00010
305	1.3662	0.2391	0.1220	0.0180	0.00197	0.00005
335	0.7898	0.2057	0.0704	0.0165	0.00172	0.00005
365	0.3798	0.1621	0.0338	0.0136	0.00122	0.00010
395	0.2031	0.0670	0.0181	0.0055	0.00052	0.00027
425	0.1244	0.0166	0.0111	0.0012	0.00023	0.00014
455	0.1091	0.0033	0.0098	0.00003	0.00005	0.00004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.7 ความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งแบบลมร้อน

เวลา (นาที)	Moisture content (g water/g dm)		Moisture ratio		Drying rate (g water/g dm · min)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
	0	9.6985	0.1889	1.0000	0.0000	0.0000
15	9.5728	0.2202	0.9873	0.0033	0.0084	0.0021
30	9.3510	0.2458	0.9641	0.0064	0.0148	0.0017
45	9.1075	0.2687	0.9388	0.0093	0.0162	0.0015
70	8.7020	0.2944	0.8965	0.0128	0.0162	0.0010
95	8.2921	0.3140	0.8538	0.0157	0.0164	0.0008
120	7.8948	0.3346	0.8125	0.0187	0.0159	0.0008
150	7.4259	0.3575	0.7636	0.0220	0.0156	0.0008
180	6.9695	0.3870	0.7161	0.0261	0.0152	0.0010
210	6.5079	0.4054	0.6680	0.0289	0.0154	0.0006
240	6.0639	0.4194	0.6218	0.0313	0.0148	0.0005
270	5.6210	0.4224	0.5757	0.0325	0.0148	0.0001
330	4.7893	0.4449	0.4891	0.0366	0.0139	0.0004
390	3.9830	0.4536	0.4051	0.0392	0.0134	0.0001
450	3.2257	0.4460	0.3263	0.0399	0.0126	0.0001
510	2.5246	0.4335	0.2533	0.0401	0.0117	0.0002
570	1.8793	0.4172	0.1862	0.0397	0.0108	0.0003
630	1.3205	0.3942	0.1280	0.0385	0.0093	0.0004
690	0.8567	0.3661	0.0798	0.0365	0.0077	0.0005
750	0.5378	0.3220	0.0466	0.0326	0.0053	0.0007
810	0.2869	0.1971	0.0206	0.0201	0.0042	0.0021
870	0.1980	0.1505	0.0114	0.0154	0.0015	0.0008
930	0.1258	0.0597	0.0040	0.0061	0.0012	0.0015
990	0.0999	0.0278	0.0013	0.0029	0.0004	0.0005
1050	0.0823	0.0119	-0.0005	0.0012	0.0003	0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	n	ปริมาณน้ำที่ระเหยออก (kg)	พลังงาน (kW-h)	SEC (kW·h/kg)
VIR7496	1	0.4476	2.2840	5.1025
	2	0.4447	2.1820	4.9067
VIR6036	1	0.4458	2.7860	6.2491
	2	0.4558	2.8740	6.3055
VIR4576	1	0.4447	3.8140	8.5758
	2	0.4502	3.1230	6.9374
HA60	1	0.4490	3.6850	8.2079
	2	0.4502	3.6340	8.0726

ตารางที่ ก.9 ค่าสีของลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งสด

ครั้งที่	L*	a*	b*	x
1	62.16	-2.69	28.13	0.4027
2	62.13	-2.90	30.19	0.4120

ตารางที่ ก.10 ค่าสีของลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งของการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้น 7,496 W/m²

ครั้งที่	L*	a*	b*	x
1	79.57	-1.59	27.76	0.3782
2	78.61	-1.55	27.88	0.3797

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.11 ค่าสีของลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งของการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นสี 6,036 W/m²

ครั้งที่	L*	a*	b*	x
1	72.46	-3.48	27.75	0.3830
2	71.68	-3.67	27.16	0.3815

ตารางที่ ก.12 ค่าสีของลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งของการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นสี 4,576 W/m²

ครั้งที่	L*	a*	b*	x
1	75.48	-2.12	26.66	0.3782
2	75.16	-2.33	26.01	0.3760

ตารางที่ ก.13 ค่าสีของลำต้นแห้งหน่อไม้ฝรั่งของการอบแห้งแบบลมร้อน

ครั้งที่	L*	a*	b*	x
1	72.41	-1.17	28.25	0.3893
2	72.71	-1.16	28.57	0.3901

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.