

ลักษณะการอบแห้งและการผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ

DRYING CHARACTERISTIC AND PRODUCTION OF
CRISPY FRIED BAMBOO SHOOT STICK



ทิพย์ชนก ฉัตรเที่ยง
THIPCHANOK CHATTIANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2564

KMITL-2021-FI-M-053-400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRYING CHARACTERISTIC AND PRODUCTION OF
CRISPY FRIED BAMBOO SHOOT STICK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF FOOD INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2021

KMITL-2021-FI-M-053-400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ลักษณะการอบแห้งและการผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ |
| นักศึกษา | นางสาวทิพย์ชนก ฉัตรเที่ยง |
| รหัสประจำตัว | 60608027 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์การอาหาร |
| พ.ศ. | 2560 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสธรยา เกิดพิบูลย์ |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคูณลักษณะของหน่อไม้อบแห้ง และการผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ โดยใช้หน่อไม้ไผ่รวกเป็นวัตถุดิบในการทดลอง จากการตรวจสอบปริมาณพิวรีนและกรดยูริกของหน่อไม้ไผ่รวกที่ผ่านการต้มเทียบกับหน่อไม้สด พบว่าหน่อไม้สดมีปริมาณกรดยูริก 35.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมหน่อไม้แห้ง เมื่อนำหน่อไม้มาต้มในน้ำเดือด 10 นาที ทำให้ปริมาณกรดยูริก ลดลงเหลือ 8.71 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมหน่อไม้แห้ง คิดเป็นร้อยละ 75.2 เมื่อนำหน่อไม้ไผ่รวกมาศึกษาลักษณะการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของหน่อไม้ โดยเตรียมหน่อไม้ 4 แบบ ได้แก่ หน่อไม้สด (R) หน่อไม้ต้ม (B) หน่อไม้แช่แข็ง (F) หน่อไม้แช่แข็งแล้วนำไปต้ม (FB) จากนั้นนำไปอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 - 180 นาที เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบระเหิด วิเคราะห์ลักษณะการอบแห้งและคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ พบว่าหน่อไม้มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ ได้แก่ ความชื้น การหดตัว การดูดคืนน้ำกลับ และค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลือง ที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิและเวลาการอบแห้ง จากการคัดเลือกสภาวะการทำแห้งหน่อไม้ที่เหมาะสมโดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตบสนองผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ไผ่รวก คือการใช้หน่อไม้ไผ่รวกที่ผ่านการต้ม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 67.67 นาที ในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ พบว่าได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ และในด้านประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบมากอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์นี้มีค่าความสว่างเท่ากับ 48.77 ความเป็นสีเขียว 9.73 ความเป็นสีเหลือง 25.42 และความกรอบ 2047.20 กรัม

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis | DRYING CHARACTERISTIC AND PRODUCTION OF CRISPY FRIED BAMBOO SHOOT STICK |
| Student | Miss. Thipchanok Chattiang |
| Student ID | 60608027 |
| Degree | Master of Science |
| Program | Food Science |
| Year | 2021 |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Soraya Kerdpi boon, D.Eng |

ABSTRACT

The objectives of this research were to study characteristics of dried bamboo shoot stick as well as production of crispy fried bamboo shoot stick. The raw material of this research was Thailand bamboo (*Thyrsostachys siamensis*). Determination of purine and uric of boiled and raw bamboo shoot was found that raw bamboo shoot had uric content of 35.08 mg/100 g dried bamboo shoot. However, after boiling bamboo shoot for 10 minutes, it was found that boiled bamboo shoot had uric content of 8.71 mg/100 g dried bamboo shoot. Boiling decreased uric content of bamboo shoot for 75.2%. The drying characteristics and qualities of dried bamboo shoot were study using 4 different prepared samples consisting of raw bamboo shoot (R), boiled bamboo shoot (B), frozen bamboo shoot (F) and frozen and boiled bamboo shoot (FB). Hot air tray drying conditions were temperatures of 50, 60 and 80°C for 0-180 m. The freeze-dry sample was used as reference. It was found that characteristics of dried bamboo shoot of moisture content, shrinkage, rehydration, lightness, redness and yellowness of samples were different according to their drying temperature and time. Optimization drying condition of bamboo shoot was examined using response surface methodology (RSM). It was found that drying boiled bamboo shoot of 50°C for 67.67 m. The dried samples were rehydrated and prepared fried bamboo shoot stick and it was found that sensory evaluation results had liking score higher than 7 from 9 points for every attributes. The fried bamboo shoot stick had lightness of 48.77, greenness of 9.73, yellowness of 25.42 and crispiness of 2047.20 g, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง ลักษณะการอบแห้งและการผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ จัดทำขึ้นจากการศึกษาค้นคว้า วิจัย และวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลของวิทยานิพนธ์ เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้แนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ แนะนำข้อมูล รวมถึงแนะนำเรื่องการใช้ชีวิต การทำงาน จนข้าพเจ้าได้มีการพัฒนาขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่เสียสละเวลา คอยให้คำแนะนำ ให้อภัยในข้อผิดพลาด และให้กำลังใจในการทำงานวิจัยจนสำเร็จ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสำหรับการทำวิจัย จากโครงการวิจัยเงินรายได้ คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ ให้ความรู้ ให้กำลังใจและคอยคำแนะนำอยู่เสมอ

นอกจากนี้ผู้วิจัย ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ นักวิทยาศาสตร์ และนักศึกษาปริญญาโทคนอื่นๆ ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และช่วยผลักดันจนสามารถทำเล่มวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงมาได้

ยิ่งไปกว่านั้นขอขอบคุณครอบครัวทุกคนที่ให้โอกาส สนับสนุนทั้งร่างกาย แรงใจ และทุนทรัพย์ เพื่อให้งานวิจัยลุล่วงมาโดยตลอด

หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ และหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ

ทิพย์ชนก ฉัตรเที่ยง

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญภาพ | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 หน่อไม้ | 3 |
| 2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้ | 4 |
| 2.1.2 การแปรรูปหน่อไม้ | 6 |
| 2.2 การทำแห้ง | 9 |
| 2.2.1 กระบวนการทำแห้ง | 9 |
| 2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง | 10 |
| 2.2.3 ระบบการทำแห้ง | 11 |
| 2.2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง | 12 |
| 2.3 พิวรีน | 17 |
| 2.4 กรดยูริก | 18 |
| 2.5 ไสยาไนต์ | 20 |
| 2.6 คลอรีน | 21 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 22 |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง | 25 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ | 33 |
| 4.1 ผลของการต้มที่มีต่อปริมาณพิวรีนและกรดยูริกในหน่อไม้ | 33 |
| 4.2 คุณลักษณะของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหิด | 34 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.3 ผลของการทำแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้ | 35 |
| 4.4 คุณลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้ในระหว่างการทำแห้ง | 38 |
| 4.4.1 การหดตัว | 38 |
| 4.5 ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้ง | 40 |
| 4.6 ค่าสีของหน่อไม้อบแห้ง | 42 |
| 4.7 การคัดเลือกสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) | 44 |
| 4.8 การผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ | 53 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 55 |
| บรรณานุกรม | 56 |
| ภาคผนวก ก แผนภาพการเตรียมหน่อไม้ | 62 |
| ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐานของสารพิวรีนและกรดยูริก | 64 |
| ภาคผนวก ค ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอย ของหน่อไม้อบแห้ง | 66 |
| ภาคผนวก ง ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ | 73 |
| ภาคผนวก จ แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ | 75 |
| ประวัติผู้เขียน | 77 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้สดและหน่อไม้อบแห้ง | 4 |
| 2.2 สารอาหารที่มีในหน่อไม้สายพันธุ์ <i>Bambusa tulda</i> | 5 |
| 2.3 สารอาหารที่พบในหน่อไม้สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป | 5 |
| 2.4 ความเป็นพิษเฉียบพลันที่พบในมนุษย์ซึ่งได้รับคลอรีนจากการสูดดม | 22 |
| 3.1 วิธีการอบแห้งและสภาวะที่ใช้ | 28 |
| 3.2 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยสำหรับออกแบบการทดลอง | 30 |
| 3.3 การทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) | 30 |
| 3.4 เกณฑ์ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม | 31 |
| 4.1 ปริมาณฟิวรีนและกรดยูริก ในหน่อไม้สดและหน่อไม้ต้ม | 33 |
| 4.2 คุณลักษณะของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหย | 35 |
| 4.3 การคัดเลือกสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) และค่าจริงที่ได้จากการทดลอง | 44 |
| 4.5 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค | 64 |
| 4.6 การตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ | 65 |
| ค.1 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าความชื้น | 67 |
| ค.2 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าการหดตัว | 68 |
| ค.3 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าอัตราการดูดกลืนน้ำกลับ | 69 |
| ค.4 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) | 70 |
| ค.5 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าสีแดง (a^*) | 71 |
| ค.6 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าสีเหลือง (b^*) | 72 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 หน่อไม้ไผ่รวก | 3 |
| 2.2 การเก็บรักษาหน่อไม้ไว้เพื่อการบริโภค | 6 |
| 2.3 Hydrogen cyanide generation in bamboo shoot | 7 |
| 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพิวรีนและอนุพันธ์ของพิวรีน | 18 |
| 2.5 โครงสร้างทางเคมีของกรดยูริก | 19 |
| 3.1 หน่อไม้สด พันธุ์ไผ่รวก | 25 |
| 3.2 แสดงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ 4 ตัวอย่าง | 26 |
| 3.3 หน่อไม้ดิบ หั่นเป็นแท่ง | 27 |
| 4.1 โครมาโทแกรมของพิวรีนและกรดยูริกในหน่อไม้สด (R) และหน่อไม้ต้ม (RB) | 34 |
| 4.2 ลักษณะของหน่อไม้อบแห้งแบบระเหิด | 35 |
| 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อความชื้นของหน่อไม้อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด | 36 |
| 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าร้อยละการหดตัวของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด | 38 |
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้ | 40 |
| 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าความสว่างของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ | 43 |
| 4.7 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อตแสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าความชื้นของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ | 47 |
| 4.8 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการหดตัวของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ | 48 |
| 4.9 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการดูดกลืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ | 49 |
| 4.10 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าความสว่างของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ | 50 |
| 4.11 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าสีแดงของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ | 51 |
| 4.12 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าสีเหลืองของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆ | 52 |
| 4.13 ผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ | 64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หน่อไม้ (Bamboo shoot) เป็นส่วนของหน่ออ่อนของไม้ที่สามารถรับประทานได้ (วิกิพีเดีย, 2561) โดยเป็นวัตถุดิบที่เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย ส่วนใหญ่นิยมบริโภคโดยนำมาต้ม หรือหากต้องการเก็บรักษา จะนำมาใส่ถุงที่ทนความร้อนก่อนการนำไปต้ม เก็บในที่อุณหภูมิห้อง โดยเก็บไว้ทั้งถุง หรือใส่ปี๊บและให้ความร้อนน้ำเดือด และยังเป็นที่ยอดนิยมในประเทศแถบเอเชีย โดยเฉพาะจีน ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน ฟิลิปปินส์ และอินเดีย โดยนอกจากรับประทานในรูปหน่อไม้ต้มแล้ว ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นหน่อไม้กระป๋อง หน่อไม้ดอง หน่อไม้ตากแห้ง เป็นต้น (Bal et al., 2010) หน่อไม้มีหลายสายพันธุ์ แต่ส่วนใหญ่นิยมบริโภคหน่อไม้ไผ่ตง และหน่อไม้ไผ่รวก ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลผลิตส่วนใหญ่ ทำได้ในช่วงฤดูฝน เนื่องจากในฤดูอื่น หน่อไม้จะโตขึ้นเป็นต้นไผ่ และจะไม่ค่อยแตกหน่อออกมา เนื่องจากมีอากาศที่แห้ง โดยข้อมูลจากวิกิพีเดีย (2560) ได้เพิ่มเติมอีกว่า หน่อไม้มีสาร cyanogenic glycosides ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษต่อร่างกาย การต้ม หรือผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อในระดับสเตอริไลซ์เซชันสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ในหน่อไม้ลงได้

กระบวนการแปรรูปหน่อไม้ในระดับชาวบ้าน มีการนำมาต้มในน้ำเดือด หรือการบรรจุในสภาวะปิดสนิท เช่น ถุง หรือปี๊บก่อนการนำมาต้มในน้ำเดือด และมีการเก็บรักษาในรูปแบบของถุง และปี๊บดังกล่าว อาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นพิษ หรือแม้แต่จุลินทรีย์ก่อโรคในหน่อไม้ อีกทั้งหน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรเซชันและนำมาเก็บรักษา ไม่สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum* ซึ่งพิษจากเชื้อดังกล่าวส่งผลอันตรายต่อระบบประสาท เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ดังนั้นการศึกษาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบหน่อไม้ จึงมีความสำคัญต่อการแปรรูปวัตถุดิบที่ถูกสุขลักษณะและมีความปลอดภัยในการบริโภค อีกทั้งยังส่งผลต่อการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบ และสามารถต่อยอดการผลิตให้สามารถทำได้จริงในทางการค้า

หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง กล่าวคือ ประกอบด้วยน้ำ ร้อยละ 77-94.70 (น้ำหนักเปียก) คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 2.6-5.1 และโดยเฉพาะไฟเบอร์ที่มีสูงถึง ร้อยละ 0.89-1.03 (น้ำหนักเปียก) (Satya et al., 2010) จึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและมีคุณค่าทางโภชนาการได้อีกมาก ทั้งนี้จากการที่หน่อไม้มีความชื้นสูง แนวทางในการลดความชื้นเพื่อการต่อยอดนำหน่อไม้อบแห้งไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตเพื่อทางการค้าได้ในอนาคต โดยจากข้อมูลการแปรรูปหน่อไม้ในประเทศไทยที่ผ่านมา ส่วนใหญ่

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นข้อมูลของหน่อไม้สด และหน่อไม้ต้ม บรรจุถุง หรือกระป๋อง แต่มีข้อมูลของหน่อไม้ที่ผ่านการแปรรูป โดยเฉพาะลักษณะผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์อบแห้งในปริมาณที่ไม่มากนัก

การอบแห้งเป็นการลดความชื้นของวัตถุดิบเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบเพื่อต่อยอดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อีกหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์อบแห้ง ผลิตภัณฑ์ทอด เป็นต้น ชนิดของเครื่องอบแห้ง และสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ส่งผลโดยตรงต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การตรวจสอบลักษณะการอบแห้งของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ และสภาวะต่างๆ จึงสามารถใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำหน่อไม้อบแห้งไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าได้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการเตรียมวัตถุดิบหน่อไม้ก่อนการแปรรูปค่อนข้างจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีการตรวจสอบปริมาณพิวรีนของหน่อไม้ที่ผ่านการเตรียมตามวิธีการต่างๆ การศึกษาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อคุณลักษณะสำคัญของหน่อไม้อบแห้ง รวมถึงการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเพื่อให้มีคุณลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมเพื่อการผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ รวมถึงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตหน่อไม้ทอดกรอบที่มีต่อการยอมรับของผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน โดยข้อมูลจากงานวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำหน่อไม้อบแห้งไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมหน่อไม้ที่มีต่อปริมาณพิวรีนและกรดยูริก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งลมร้อนในสภาวะการอบแห้งต่างๆ
- 1.2.3 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ สำหรับการเป็นวัตถุดิบในการผลิตหน่อไม้อบแห้งทอดกรอบ
- 1.2.4 เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทำให้ทราบถึงผลของการเตรียมหน่อไม้ที่มีต่อปริมาณพิวรีนและยูริกที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์
- 1.3.2 ทราบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยสภาวะการอบแห้งต่างกัน
- 1.3.3 เป็นพื้นฐานสำหรับงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง และสามารถนำผลงานที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หน่อไม้

หน่อไม้ (Bamboo shoot) มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Bambusa vulgaris* และ *Phyllostachys edulis* เป็นส่วนของหน่ออ่อนของไม้ที่สามารถรับประทานได้ (วิกิพีเดีย, 2561) มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีมากกว่า 1,250 ชนิด กว่า 75 สกุล นิยมปลูกทั่วไปในหลายประเทศ (Satya et al., 2010) ถูกจัดว่าเป็นวัชตุดิบจากป่า โดยเป็นวัชตุดิบที่เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภาคของประเทศไทย ในรูปของหน่อไม้ที่ผ่านกระบวนการต้ม และหน่อไม้กระป๋อง หน่อไม้มีมากมายหลากหลายสายพันธุ์และชนิด โดยเฉพาะหน่อไม้ที่มีในประเทศไทยเป็นที่นิยมในการบริโภค

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

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



ภาพที่ 2.1 หน่อไม้ไผ่รวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่อไม้ประกอบด้วย ส่วนราก (root) ส่วนลำต้น (ลำต้น) และใบ (leaf) โดยส่วนของลำต้น จะมีความแตกต่างกันตามสายพันธุ์ และจะมีรูตรงกลาง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว สี และ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันไป หน่อไม้จะผุดขึ้นมาจากดิน ซึ่งส่วนที่เป็นรากของหน่อไม้เมื่ออายุน้อย สามารถรับประทานได้ (Chauhan et al., 2016) ส่วนลำต้นของหน่อไม้มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 90) และส่วนอื่นๆ เช่น เรซิน แทนนิน แวกซ์ และเกลืออิน ออร์แกนิก

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้

หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง กล่าวคือ ประกอบด้วยน้ำ ร้อยละ 92.60 (น้ำหนักเปียก) สตาร์ช ร้อยละ 28.30 (น้ำหนักแห้ง) และโดยเฉพาะไฟเบอร์ที่มีสูงถึง ร้อยละ 5.20 (น้ำหนักแห้ง) (Muchtadi and Adawiyal, 1996) โดยเฉพาะโปรตีน ร้อยละ 27.80 (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีการดะมีโนมากถึง 17 ชนิดซึ่งสูงกว่าในผักบางชนิด เช่น แครอท หอม และฟักทอง นอกจากนี้ยัง ประกอบด้วยเกลือแร่ชนิดต่างๆ เช่น โครเมียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล โคบอล เป็นต้น อีกทั้งยังมีไขมันต่ำอีกด้วย (Satya et al., 2010) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยพบว่าตรวจพบกรดอะมิโนอิสระ 18 ชนิด ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย 8 ชนิด และตรวจพบไฟโตสเตอรอลต่างๆเช่น แคมพิส เตอรอล , สเตกมาสเตอรอล , เบต้า ซิโตสเตอรอล และบลาลีสกาสเตอรอล (Kusalaruk et al., 2015) หน่อไม้มีการดะมีโนติก เป็นกรดไขมันหลัก และยังมีกรดไขมันลิโนเลอิกอยู่บ้าง นอกจากนี้ ประกอบด้วยกรดอะมิโนกลูตามิก และไลซีนอยู่ด้วย (Sood et al., 2013) องค์ประกอบทางเคมีของ หน่อไม้แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ Satya et al (2010) กล่าวคือมีน้ำเป็น องค์ประกอบหลัก และเมื่อนำมาอบแห้ง พบว่าหน่อไม้มีโปรตีนที่สูงถึง ร้อยละ 21.60 อีกทั้งยังมี สตาร์ช ร้อยละ 9.20 และไฟเบอร์ร้อยละ 5.00 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้สดและหน่อไม้อบแห้ง

| องค์ประกอบทางเคมี | หน่อไม้สด | หน่อไม้อบแห้ง | %การลดลง |
|----------------------------------|-----------|---------------|----------|
| น้ำ (g/100g ตัวอย่างสด) | 92.60 | 4.60 | 95.10 |
| โปรตีน (g/100g ตัวอย่างแห้ง) | 27.80 | 21.60 | 22.20 |
| สตาร์ช (g/100g ตัวอย่างแห้ง) | 28.30 | 9.20 | 67.50 |
| ไฟเบอร์ (g/100g ตัวอย่างแห้ง) | 5.20 | 5.00 | 4.60 |
| แอสคอร์บิก (g/100g ตัวอย่างแห้ง) | 2.10 | 0.20 | 88.90 |

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

นอกจากองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานที่มีในหน่อไม้ทั่วไปแล้ว หน่อไม้บางสายพันธุ์ เช่น *Bambusa tulda* ยังมีแร่ธาตุและสารอาหารที่สำคัญอีกหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งพบว่า แร่ธาตุที่มีในหน่อไม้ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม และแมกนีเซียม เป็นต้น อีกทั้งยังมี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิตามิน ได้แก่ วิตามินซี และวิตามินอี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในหน่อไม้้อีกหลายสายพันธุ์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 สารอาหารที่มีในหน่อไม้สายพันธุ์ *Bambusa tulda*

| แร่ธาตุ | (mg/100 g) | สารอาหารอื่นๆ | (g/100g) |
|------------|------------|---------------------|----------|
| Calcium | 4.06 | Amino acids | 3.65 |
| Iron | 3.19 | Proteins | 3.69 |
| Magnesium | 8.68 | Carbohydrates | 6.92 |
| Phosphorus | 19.31 | Starch | 0.59 |
| Potassium | 408.00 | Fat | 0.48 |
| Sodium | 12.96 | Vitamin C (mg/100g) | 1.42 |
| zinc | 0.72 | Vitamin E (mg/100g) | 0.61 |
| | | Dietary fiber | 3.97 |
| | | Ash | 0.85 |
| | | Moisture | 83.60 |

ที่มา: Santosh et al., 2011

ตารางที่ 2.3 สารอาหารที่พบในหน่อไม้สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป

| สารอาหาร | <i>B. balcooda</i> | <i>B. polymorpha</i> | <i>M. bambusoides</i> | <i>D. strictus</i> | <i>D. hamiltonii</i> | <i>D. giganteus</i> | <i>B. pallida</i> |
|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Water (%) | 91.65 | 91.65 | 91.22 | 85.98 | 92.37 | 91.19 | 92.29 |
| Minerals (%) | 0.99 | 0.91 | 0.98 | 1.14 | 1.01 | 0.89 | 1.12 |
| Phosphorus (mg/100g) | 30.99 | 15.06 | 14.28 | 58.13 | 27.76 | 12.57 | 32.27 |
| Calcium (mg/100g) | 24.01 | 180.69 | 47.58 | 139.5 | 44.16 | 26.93 | 21.17 |
| Iron (mg/100g) | 1.02 | 1.53 | 0.88 | 2.92 | 1.65 | 1.06 | 1.11 |
| Hydrocyanic acid (%) | 0.07 | 0.03 | 0.06 | 0.13 | 0.07 | 0.04 | 0.11 |
| Protein (%) | 2.71 | 2.10 | 3.29 | 1.98 | 2.60 | 2.59 | 2.31 |
| Niacin (mg/100g) | 1.40 | 2.60 | 6.7 | 2.10 | 2.60 | 6.40 | 1.40 |
| Carbohydrate (%) | 3.90 | 4.86 | 3.93 | 9.94 | 4.00 | 4.78 | 3.83 |

ที่มา: Bhat et al., 2005
เอกสารนี้เป็นของลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การแปรรูปหน่อไม้

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

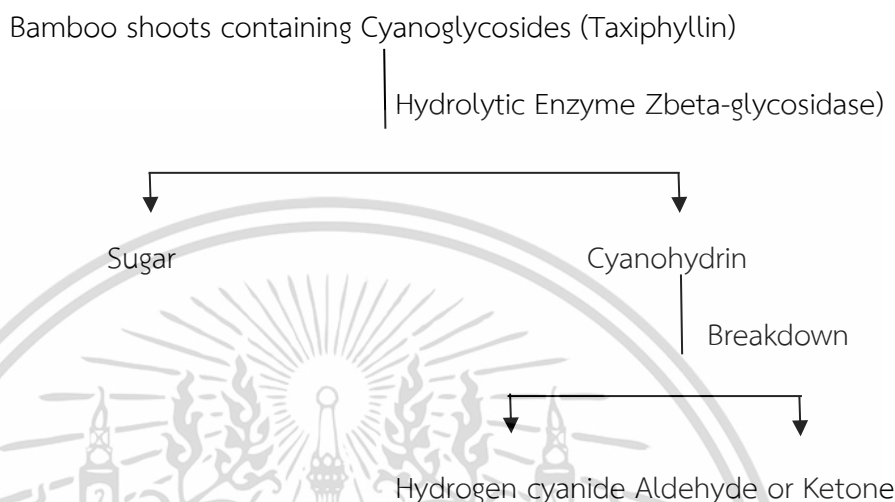
หน่อไม้พบในฤดูฝน จึงสามารถเก็บเกี่ยววัตถุดิบได้ในช่วงฤดูฝนเท่านั้น การเก็บเกี่ยวหน่อไม้ และการเก็บรักษาเพื่อการบริโภคตลอดปีนั้น มีหลายวิธี ทั้งการต้มใส่ถุง การบรรจุกระป๋อง หรือปิ้งก่อนการนำไปให้ความร้อน หรือการนึ่ง และการบรรจุ เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.2 เป็นภาพหน่อไม้ที่ปอกเปลือก บรรจุใส่ถุง ผ่านการนึ่งนาน 2 ชั่วโมง และทำให้เย็น ก่อนการบรรจุถุงอีกชั้น และแขวนไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำในระดับครัวเรือน เพื่อเก็บไว้บริโภค นาน 6-12 เดือน หน่อไม้เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการแปรรูปเพื่อการค้าที่สูง เนื่องจากวัตถุดิบหาได้ง่ายในประเทศไทย แต่มีข้อจำกัดในด้านความชื้นที่สูง แนวทางในการลดความชื้นของวัตถุดิบก่อนการนำไปแปรรูป จึงเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาของวัตถุดิบหน่อไม้ เพื่อเพิ่มช่องทางในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหน่อไม้ได้เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้การทำแห้ง เป็นวิธีการที่สะดวก และสามารถทำได้ทั้งในระดับครัวเรือน และนิยมมากในอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถลดพื้นที่ในการเก็บรักษาวัตถุดิบ และยังสะดวกในการเก็บรักษาวัตถุดิบที่ประหยัดกว่าการเก็บรักษาแบบสด หรือแบบแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 2.2 การเก็บรักษาหน่อไม้ไว้เพื่อการบริโภค

ในการแปรรูปหน่อไม้ทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรมทำได้หลายแบบ เช่น กระบวนการต้ม ซึ่งพบว่าสามารถลดหรือกำจัดปริมาณไซยาไนด์จากหน่อไม้ได้ตามระยะเวลาการต้ม (สุวรรณี และคณะ, 2554) ยังมีข้อจำกัดในด้านการเก็บรักษาเป็นเวลานาน อีกทั้งข้อจำกัดในด้านพื้นที่ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เพื่อการบริโภคตลอดปี (Wang et al., 2019) การฉายรังสีเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาล และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเสื่อมเสียของหน่อไม้ปอกเปลือก ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ผ่านการต้ม และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ เป็นต้น การอบแห้งแบบต่างๆ (Li et al., 2002; Lv et al., 2018) โดยการอบแห้งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีการใช้ต้นทุนที่ต่ำ สามารถผลิตในปริมาณมาก และยังสามารถใช้เป็นวิธีการเตรียมวัตถุดิบอบแห้งเพื่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีกมากมาย การเกิดไซยาไนด์จากหน่อไม้สด แสดงได้ดังภาพที่ 2.3 ดังนี้



ภาพที่ 2.3 Hydrogen cyanide generation in bamboo shoot

ที่มา: Satya et al (2010)

นอกจากหน่อไม้มีสารกลุ่มพิวรีน และไซยาไนด์แล้ว หน่อไม้สดยังมีความเป็นกรดและมีรสชาติที่ขม ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยที่มีการลดความขม รวมถึงปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้มีปริมาณสารไซยาไนด์ที่แตกต่างกัน ขึ้นกับสายพันธุ์ และตำแหน่งต่างๆ ของหน่อไม้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลจากงานวิจัยที่พบว่าปริมาณสารไซยาไนด์มีค่าลดลงหลังจากการเก็บเกี่ยว (Satya et al, 2010) นอกจากนี้การลดปริมาณไซยาไนด์สามารถทำได้โดยการใช้ความร้อนในการต้ม 98-102 องศาเซลเซียส นาน 148-180 นาที (Ferreira et al, 1995) การนึ่งหน่อไม้ (Tripathi, 1998) การเปลี่ยนน้ำในระหว่างการต้ม หรือการใส่เกลือลงไปร้อยละ 2 (Bhargava et al, 1996) สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้สูงถึงร้อยละ 97 มีข้อมูลจาก FAO และ WHO ที่กำหนดให้ปริมาณการได้รับสารไซยาไนด์ของมนุษย์ในแต่ละวัน หากไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ถือว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเนื่องจากร่างกายสามารถขับออกทางปัสสาวะได้หมด โดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้ให้ข้อมูลการสำรวจหน่อไม้สายพันธุ์ต่างๆ ตามท้องตลาดใน 31 จังหวัดทั่วประเทศ สุ่มตัวอย่างทั้งหมด 496 ตัวอย่าง พบว่า หน่อไม้สด มีปริมาณไซยาไนด์เฉลี่ย 167 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าระหว่าง 18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึง 943 มิลลิกรัมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลกรัม ขึ้นกับสายพันธุ์และพื้นที่เพาะปลูก) ส่วนหน่อไม้ต้ม มีปริมาณไซยาไนด์เฉลี่ย 19.2 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม (มีค่าระหว่าง 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึง 92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (สุวรรณ และคณะ, 2554) กระบวนการแปรรูปสามารถลดปริมาณของสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ได้ โดยข้อมูล การนำหน่อไม้ไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทำให้ปริมาณไซยาไนด์ลดลงไปถึงร้อยละ 70 และเมื่อต้มนานขึ้น ปริมาณไซยาไนด์ลดลงไปได้สูงถึง ร้อยละ 96 ตามลำดับ (Ferreira et al., 1995)

โดยทั่วไป ร่างกายมนุษย์ได้รับกรดยูริก (uric acid) บางส่วนมาจากการบริโภคอาหารที่มีพิวรีน (purine) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโปรตีนในเซลล์สัตว์หรือพืช อาหารที่มีเซลล์มากหรือ เซลล์กำลังแบ่งตัวมักพบปริมาณพิวรีนสูง เช่น เครื่องใน เนื้อสัตว์ปีก ปลาอินทรี ปลาชาร์ดิน เนื้อติดมัน มันสมอง น้ำต้มกระดูก ปลาหยอดผักอ่อน เมล็ดพืชที่งอก หน่อไม้ กระถิน ชะอม ถั่วต่าง ๆ เหล้า เบียร์ ยีสต์ เป็นต้น พิวรีนที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายจะถูกเผาผลาญ (metabolization) ไปเป็นกรดยูริกสะสมในกระแสเลือด คิดเป็นร้อยละ 10 จากการกินอาหารพิวรีนสูง และร้อยละ 90 จากการเสื่อมสลายของเซลล์ในร่างกาย ปริมาณ กรดยูริกในร่างกายปกติจะมีอยู่ประมาณ 1000 มิลลิกรัม และขับออกทางปัสสาวะได้ประมาณร้อยละ 70 ต่อ วัน อาหารที่รับประทานต่อวันมีพิวรีน 600 – 1000 มิลลิกรัม สามารถแบ่งกลุ่มตามปริมาณพิวรีนต่อ 100 กรัมอาหารได้เป็น อาหารพิวรีนสูง (150 มิลลิกรัม) ปานกลาง (50 - 150 มิลลิกรัม) และต่ำ (0 - 50 มิลลิกรัม) นอกเหนือจากการบริโภคอาหารที่มีพิวรีนแล้ว ปริมาณกรดยูริกที่สูงขึ้นยังเป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ อาทิ การบริโภคน้ำตาลฟรุกโตสปริมาณมากเกินไป และการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ซึ่งส่งผลกระตุ้นให้เกิดการสร้าง กรดยูริก รวมถึงมักพบในผู้ป่วยที่มีภาวะการเสื่อมสลายของเซลล์สูงกว่าปกติ เช่น ผู้ป่วยโรคตับ มะเร็ง ความดันโลหิตสูงและไตเสื่อม ผู้มีภาวะร่างกายขาดน้ำและการได้รับผลจากอุบัติเหตุหรือการผ่าตัด ผู้ที่มีภาวะโรคอ้วน ซึ่งข้อต่อต้องรองรับน้ำหนักกดทับเป็นเวลานาน ประกอบกับกระบวนการกำจัดกรดยูริกถูกหน่วงโดยไขมัน ยิ่งไปกว่านั้น การทานยาบางประเภท เช่น ยาขับปัสสาวะ แอสไพรินหรือยารักษาวัณโรคปริมาณมากอย่าง ต่อเนื่อง ส่งผลให้ไตทำงานหนักจนเกิดการเสื่อมสลายของเซลล์ ในผู้ที่มีระดับกรดยูริกในเลือดที่สูงกว่า 6.5 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือเป็นปริมาณ 3 - 15 เท่าของคน ปกติ และร่างกายสามารถกำจัดกรดยูริกได้ลดลง เป็นกลุ่มที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคเก๊าท์ (gout attack) จากการตกผลึกสะสมบริเวณข้อ ผิวหนัง ไตหรือปลาญหู โดยพบมากกว่าในเพศชาย เพศหญิงในวัยหมดประจำเดือน และสามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรม นำมาซึ่งอาการปวดที่มักเกิดขึ้นในเวลากลางคืน และเป็นครั้งคราว บวมอักเสบ แดงร้อนบริเวณข้อต่อตามร่างกาย มีอาการไข้หนาวสั่น ปรากฏปุ่มก้อนใต้ผิวหนัง ปลาญ ใบหูหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระทั่งข้อพิการผิดรูป อย่างไรก็ตาม หากกรดยูริกปริมาณสูงยังคงละลายในเลือดและไม่ตกผลึก ก็อาจไม่ปรากฏโรคเก๊าท์แต่เพียงจัดว่าเสี่ยงต่อเกิดโรคเก๊าท์และโรคแทรกซ้อนตามมาในสภาวะที่ร่างกายอ่อนแอ (วียะดา, 2553) และมีผลจากการวิจัยว่าการต้มหน่อไม้ในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาทีขึ้นไปสามารถลดปริมาณกรดยูริกได้ถึง

(Aichayawanich et al., 2018) และการต้ม 12 นาที ยังสามารถทำลายเอนไซม์ Polyphenol

เอนไซม์เป็นอาหารที่ลงวันเมล็ดหรือการแข็งในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อรู้เหตุที่เห็นเป็นประโยชน์ในการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

oxidase (PPO), Phenylalanine ammonia-lyase (PAL) และ Peroxidase (POD) (Zheng et al., 2013) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Vamosvigyazo, 1981) นอกจากนี้ยังพบว่าการจุ่มผักผลไม้ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวัตถุดิบ และสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ (อินทิตราและชัยรัตน์, 2556)

2.2 การทำแห้ง

2.2.1 กระบวนการทำแห้ง

การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying or dehydration) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying) คำจำกัดความนี้จะไม่รวมถึงการกำจัดน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การแยกโดยทางกล การทำให้ชื้นโดยการใช้เมมเบรน การระเหย และการอบ เนื่องจากในกระบวนการเหล่านี้จะมีการกำจัดน้ำน้อยกว่าการทำแห้ง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการมักจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการทางอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องทำแห้ง คือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้ง โดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่ว ถั่วลิสง ส่วนผสมสำหรับการทำขนมปัง อาหารเข้าประเภทที่ทำมาจากธัญพืช ชา และเครื่องเทศ (วิล, 2543)

การอบแห้งอาหารต่างๆ ไป อาศัยหลักการที่ว่าน้ำหรือความชื้นที่มีในอาหารสูงๆ จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ และจากปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิด จะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษานานขึ้น เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้นอาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหารซึ่งน้ำในอาหารจะมีการเคลื่อนที่จากภายในออกมาที่ผิวหน้าเพื่อระเหยออกไปนั้นมี 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ (capillary Force) น้ำจะมีการเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างระหว่างเซลล์อาหาร ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและอีกแบบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ การแพร่ (diffusion) ผ่านเซลล์ น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่จากภายในอาหารไปยังผิวหน้าโดยการแพร่ผ่านเซลล์ของอาหารน้ำจะมีการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ การเคลื่อนที่ของน้ำแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของอาหารมีการเคลื่อนที่มาชิดกันมากขึ้นเมื่อการทำแห้งผ่านไปได้ระยะหนึ่ง

เมื่อเริ่มการทำแห้ง น้ำที่มีอยู่ในอาหารจะเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารด้วยอัตราการเคลื่อนที่ที่เร็วกว่าการที่น้ำที่ผิวอาหารเคลื่อนที่สู่ภายนอก จะทำให้สังเกตได้ว่าที่ผิวของอาหารเสมือนมีไอน้ำเกาะอยู่ ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในช่วงแรกนี้จะเรียกว่า ช่วงอัตราการแห้งแบบเริ่มต้น (initial rate period) ต่อมาระเหยของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยเคลื่อนที่จากในอาหารมาที่ผิวด้วยอัตราที่เท่ากับกับการเคลื่อนที่จากที่ผิวสู่ภายนอก จะเรียกว่าช่วงการอบแห้งแบบคงที่ (constant rate period) และช่วงสุดท้ายของการอบแห้งน้ำจะมีการเคลื่อนที่แบบการแพร่ซึ่งมีอัตราการเคลื่อนที่ที่ช้าเรียกว่า ช่วงการอบแห้งแบบลดลง (falling rate period) ดังนั้นในระหว่างการทำแห้งในช่วงแรกอัตราการแห้งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่อยๆ ช้าลงจนถึงจุดๆ หนึ่งน้ำจึงหยุดการระเหย จุดดังกล่าว ความชื้นในอาหารจะมีค่าเท่ากับ equilibrium moisture content

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

ในการทำแห้งหรือการอบแห้งนั้น ตัวอย่างอาหารมีการสูญเสียความชื้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำที่มีอยู่ในอาหาร ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารที่แตกต่างกัน จะมีผลต่ออัตราเร็วของการทำแห้งที่แตกต่างกัน อาหารแต่ละชนิดจึงมีลักษณะการทำแห้งที่แตกต่างกัน โดย ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง ดังที่สคูร์ซัน (2546) ได้อธิบายไว้ นั้น พอสรุปได้ว่ามีปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร กล่าวคือ อาหารที่มีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันย่อมมีอัตราการแห้งที่แตกต่างกัน เช่น อาหารที่มีลักษณะเนื้อที่โปร่ง น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในอาหารได้ดีกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่น หรืออาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง จะทำให้เนื้ออาหารมีความเหนียว มีสิ่งกีดขวางการระเหยของน้ำ และรวมถึงอาหารที่ผ่านกระบวนการเตรียมมาก่อนการทำแห้ง เช่น การบด การนวด การลวก ส่งผลให้เซลล์แตก ถูกทำลายบางส่วน เมื่อนำมาทำแห้ง จะทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้เร็ว อัตราการทำแห้งจึงเร็วขึ้น เป็นต้น

สำหรับขนาดและรูปร่าง เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งเช่นกัน เช่น อาหารที่มีขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิวมาก จะมีโอกาสที่อาหารมีอัตราการแห้งที่เร็ว อาหารจะแห้งเร็วกว่า อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของเครื่องอบแห้ง ประสิทธิภาพของเครื่อง รวมถึงสภาวะการทำแห้ง ยังเป็นปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อความเร็วในการทำแห้งเช่นกัน อาหารที่ถูกวางในตำแหน่งที่มีการสัมผัสกับลมร้อน รวมถึงมีความเร็วของลมร้อนที่สม่ำเสมอ และปริมาณอาหารที่มีต่อการอบแห้งในแต่ละครั้งที่เหมาะสม จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำแห้งดี อาหารใช้เวลาในการอบแห้งที่ไม่นาน เครื่องอบแห้งบางชนิดมีการดูดอากาศจากภายนอกระบบมาผ่านเครื่องให้ความร้อน (heater) ทำให้อาหารร้อนขึ้น ซึ่งเป็นระบบเปิด หากคุณภาพของอากาศในช่วงที่มีการดูดเข้ามาในเครื่องอบแห้ง นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูง หรือมีไอน้ำในอากาศที่สูง (เช่น กรณีฝนตกใหม่ๆ) จะทำให้การทำแห้งนั้นใช้เวลานานขึ้น

นอกจากนี้อุณหภูมิและความเร็วลมยังมีส่วนสำคัญในการช่วยให้การทำแห้งใช้เวลาที่น้อยลงด้วย การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความสามารถในการรับไอน้ำสูงมากขึ้น จึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย นอกจากนี้ลมร้อนยังทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากอาหาร เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น ความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.2.3 ระบบการทำแห้ง

การทำแห้งโดยให้ระบบการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้น ระบบจะต้องรักษาความแตกต่างของความดันไอ และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศและในผลิตภัณฑ์ให้ได้สูงสุด ควบคู่กับสัมประสิทธิ์การพาที่ผิวของอาหารที่มีค่าสูง จะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารได้สูง ดังนั้นการออกแบบระบบการทำแห้งในเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ จึงอาศัยหลักการดังกล่าว

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

สำหรับเครื่องอบลมร้อนแบบถาด เป็นเครื่องอบแห้งที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ อีกทั้งใช้เงินทุนและค่าดูแลรักษาเครื่องมือที่ต่ำ ควบคุมง่าย และสามารถผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ในคราวละมากๆ แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งอาหารแต่ละชนิด อีกทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งที่ผิวข้างนอก อาจเกิดสีน้ำตาลในอาหารแห้งบางชนิด อีกทั้งส่งผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการที่สูงเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบอื่น จึงอาจต้องมีการสลับตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ให้มีการกระจายตัวที่ดี และปรับปรุงการทำแห้งให้มีความสม่ำเสมอที่มากขึ้น

โดยหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาด จะมีอุปกรณ์ในการดูดอากาศ (blower) จากภายนอกระบบ ผ่านแหล่งความร้อน (heater) เพื่อให้เกิดลมร้อนเข้ามาสู่บริเวณที่จะทำการอบแห้ง โดยภายในเครื่องอบแห้งจะมีระบบการไหลเวียนของอากาศ เพื่อให้อากาศร้อนได้สัมผัสกับอาหาร เมื่ออาหารร้อนขึ้น จะมีการระเหยน้ำออกจากอาหาร ไปยังอากาศร้อน อากาศจะมีความชื้นอยู่ และจะถูกนำไหลเวียนออกจากระบบ เครื่องอบแห้งลมร้อนบางชนิดจะไม่มีเมื่อนำอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้อีก ทำให้น้ำที่ระเหยออกไป จะไปสู่บรรยากาศ แต่เครื่องอบแห้งลมร้อนบางชนิดจะมีการนำอากาศกลับมาใช้อีก อากาศจะผ่านเครื่องทำความร้อน และเป็นอากาศร้อน ไหลเวียนเข้าในระบบของเครื่องอบแห้งอีกครั้ง ตู้อบลมร้อนมีหลายชนิด เช่น ตู้อบลมร้อนแบบถาด ตู้อบลมร้อนแบบอุโมงค์ เป็นต้น

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง

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

2.2.4.1 การสูญเสียความชื้นในอาหาร

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

วิล (2543) อธิบายลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารไว้ว่า เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสุง จะลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกการเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี การแพร่ของของเหลว ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวทำละลายในอาหารส่วนต่างๆ การแพร่ของของเหลว ซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร และความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร ช่วงเวลาเริ่มต้นของการอบแห้งเป็นเวลาที่ทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิระเปาะเปือก จากนั้นน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ ในทางปฏิบัติผิวหน้าของอาหารจะค่อยๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้ง และอัตราการทำให้แห้ง ลักษณะที่สำคัญของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ ได้แก่ มีอุณหภูมิระเปาะเปือกสูง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และมีอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ฟิล์มอากาศที่อยู่รอบอาหารจะกีดขวางการถ่ายเทความร้อน และไอน้ำระหว่งการทำแห้ง ความเร็วของอากาศจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไป ไอน้ำจะ

เคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหาร ทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอ และอัตราการทำแห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำ หรือมีความชื้นสูง จะทำให้อัตราเร็วในการระเหย และการทำแห้งลดลง

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

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

2.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของอาหาร

ในการอบแห้งของอาหาร ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 2.2.4.1 แล้วว่า น้ำในอาหารเกิดการระเหย ความร้อนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก รวมถึงโครงสร้างของอาหาร ส่งผลให้อาหารแห้งมีขนาดและรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป อีกทั้งเมื่อนำอาหารแห้งไปผ่านการดูดกลืนน้ำกลับ ส่งผลให้อาหารที่มีการดูดกลืนน้ำกลับ มีขนาดและรูปร่างที่ไม่เหมือนเดิม เนื่องจากโครงสร้างบางส่วนถูกทำลาย ทำให้ไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนแล้ว อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการอบแห้งแบบระเหย จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างที่น้อยกว่า กรณีการอบแห้งแบบวิธีอื่น เนื่องจากมีการระเหยน้ำในอาหารอย่างรวดเร็ว อีกทั้งไม่มีการใช้ความร้อนในการทำแห้ง ทำให้อาหารมีการสูญเสียลักษณะโครงสร้างไม่มาก อีกทั้งยังคงรักษากลิ่นรส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการดูดกลืนน้ำกลับได้ดี แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาแพง และหากมีการบรรจุที่ไม่ป้องกันการเข้าออกของความชื้น และอากาศ จะส่งผลให้มีการดูดกลืนน้ำกลับเข้าไปในอาหารอย่างรวดเร็ว

2.2.4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของอาหาร

การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของอาหาร การสะท้อนแสงและสี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ เกิดจากความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำให้แห้ง โดยทั่วไปการทำแห้งที่เวลานานกว่า และอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่มากกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในอาหาร ทำให้เกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้กรดแอสคอร์บิกหรือกรดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อป้องกันการเกิดได้ นอกจากนี้ปริมาณซัลเฟอร์ที่ตกค้างอยู่ในผักผลไม้ ยังเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย (วิล, 2543)

อัตราการเกิดสีน้ำตาลในนม หรือผลิตภัณฑ์ผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของอาหาร และอุณหภูมิในการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิการทำแห้งที่สูง เมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงกว่าร้อยละ 4-5 และอุณหภูมิการเก็บรักษาเกิน 38 °C (Lea, 1958) โดย Li et al. (2002) กล่าวว่า วิธีการทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนนั้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอย่างมาก

กิตติพงษ์ (2536) อธิบายว่า สีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ในการทำให้แห้งถือได้ว่าเป็นข้อบกพร่องด้านคุณภาพ หากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นรุนแรงจะส่งผลต่อกลิ่นรส และการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ด้วย ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลนี้คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ในทางอาหารปฏิกิริยานี้มักเกิดระหว่างหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลกับหมู่อะมิโนของโปรตีน จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นพอลิเมอร์สีน้ำตาล มีลักษณะปรากฏที่ไม่ดี และเกิดการสูญเสียสารอาหารอีกด้วย อัตราเร็วของการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับปริมาณน้ำในอาหาร โดยในสารละลายที่เจือจางจะเกิดปฏิกิริยาช้า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะมีอัตราเร็วสูงสุด เมื่อมีความชื้นร้อยละ 15-20

การเปลี่ยนสีเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำให้แห้งของผักและผลไม้ ดังผลการทดลอง จุลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการทำให้แห้ง การเปลี่ยนสีเกิดได้จากหลายปัจจัย ปัจจัยสำคัญที่ได้มีการตรวจสอบวิเคราะห์คือ กระบวนการทำให้แห้ง (ผลของการใช้กระบวนการทำให้แห้งวิธีต่างๆ ที่ตรวจสอบแล้ว ได้แก่ การทำให้แห้งแบบดั้งเดิม การทำให้แห้งแบบสุญญากาศ การทำให้แห้งแบบไมโครเวฟ การทำให้แห้งแบบออสโมติก และการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง) และสภาวะในการทำให้แห้ง (Mujumdar, 2000)

Mujumdar (2000) กล่าวว่า สภาวะในการทำให้แห้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการทำให้แห้งอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้แห้งจากเทคนิคการทำให้แห้งที่เร็ว และการทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้งที่ช้า จะมีสีที่แตกต่างกันอย่างมา ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในการทำให้แห้งแบบดั้งเดิม ไม่ส่งผลต่อความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้แห้ง แต่ส่งผลต่อค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการทำให้แห้งทุกสภาวะการทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้แห้ง มีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำให้แห้งเพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง สำหรับวัตถุดิบสีเหลืองทั้งหมด โดยผลของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีแดงระหว่างการทำให้แห้งแบบดั้งเดิมนั้นรุนแรงกว่าผลของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ การเปลี่ยนสีอาจเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเมลลาร์ด สำหรับค่าสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการทำให้แห้งทุกสภาวะการทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้แห้งจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้แห้งลดลง และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น สำหรับวัตถุดิบสีเหลือง (แอปเปิ้ล มันฝรั่ง และกล้วย) ผลของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดสีเหลืองนั้นส่งผลรุนแรงกว่าผลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Mujumdar, 2000)

การเกิดสีน้ำตาลของผัก และผลไม้ในระหว่างการทำให้แห้งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ และที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำให้แห้งยังส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ เกลือ และการลวกโดยใช้ น้ำหรือไอน้ำร้อน สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ผลการทดลองให้ผลที่ใกล้เคียงกันในค่าสีทุกๆ ด้าน (Mujumdar, 2000)

2.2.4.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

เนื้อสัมผัสของอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการทำให้แห้ง เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ นอกจากนั้นยังส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผัก และผลไม้แห้งที่นำมาดูคินน้ำใหม่ อาหารที่ผ่านการลวก ทำให้สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำให้แห้งส่วนต่างๆ ของอาหารทำให้เกิดความเครียดภายใน ปัจจัยดังกล่าว จะอัดและเปลี่ยนแปลงรูปร่างเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งไปเป็นอาหารที่มีลักษณะ เหนียว ย่น อาหารจะดูดกลืนความชื้นอีกครั้งในระหว่างการดูคินน้ำอย่างช้าๆ แต่จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม

อุณหภูมิ และอัตราการทำให้แห้งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารอย่างยิ่ง การทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ และอัตราการทำให้แห้งที่ต่ำกว่า ตัวละลายจะเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวอาหารในระหว่างที่น้ำถูกกำจัดออกในขั้นตอนการทำให้แห้ง กลไก และอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะ สำหรับตัวละลายแต่ละชนิด และขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะการทำให้แห้ง การระเหยของน้ำทำให้ตัวละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้อาหาร เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าของอาหาร ทำให้อาหารเกิดลักษณะผิวแห้งแข็ง (case hardening) ส่งผลให้อัตราการทำให้แห้งลดลงเนื่องจากอาหารมีผิวหน้าที่แห้งแข็งกักเก็บน้ำภายในอาหารทำให้ไม่สามารถระเหยออกมาสู่ภายนอกได้ ทำให้อาหารมีผิวหน้าที่แห้งแต่ภายในยังคงมีความชื้น (วิล, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Li et al. (2002) กล่าวว่า วิธีการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนนั้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งอย่างมาก

กิตติพงษ์ (2536) กล่าวว่า ข้อบกพร่องของการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส คือ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปคั้นรูปพบว่าเนื้อสัมผัสที่แข็ง เหนียว และมีการสูญเสียความชุ่มน้ำ ในกรณีเนื้อเยื่อพืช การสูญเสียความเต่งของเซลล์และการตกลูกของโพลีแซ็กคาไรด์ อาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลง การตกลูกของโพลีแซ็กคาไรด์ จะเกิดจากการปริมาณน้ำที่ลดลง การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสนี้จะพบได้ทั้งในการทำแห้งด้วยอากาศร้อน และการทำแห้งในสภาวะแช่แข็ง อุณหภูมิของการทำแห้งจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับไม่ได้

2.2.4.5 การหดตัวของอาหาร

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

การหดตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดในการทำแห้งของวัตถุดิบ เช่น ผัก และผลไม้ การเกิดลักษณะที่แข็งเกี่ยวข้องกับการหดตัว หรือเป็นผลมาจากการหดตัว ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า ผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะมีลักษณะทั่วไปที่ เรียกว่า ยากที่จะเคี้ยว เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง บางครั้งจะทำให้เกิดลักษณะอาหารที่ภายนอกแข็งและแข็ง (case hardening) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดที่ผิวหน้าของตัวอย่างที่สัมผัสกับตัวกลางที่ให้ความร้อน ได้แก่ การใช้ลมร้อนทั่วไป หรือ การใช้แสงอาทิตย์ ระดับของการเกิดลักษณะดังกล่าวที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ระยะเริ่มต้นในการทำแห้ง เนื่องจากความแตกต่างของสภาวะในการทำให้แห้ง และชนิดของสารประกอบที่เกี่ยวข้อง จะส่งผลทำให้เกิดประเภท และขนาดของการหดตัว นอกจากนั้นวัตถุดิบจำพวกคาร์โบไฮเดรตหรือที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีปริมาณน้ำมาก เมื่อทำการทำแห้งจะมีการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการ ดังนั้น ปริมาตรของวัตถุดิบจะลดลง และเกิดการหดตัวขึ้น การหดตัวคือการที่ปริมาตรโดยรวมของวัตถุดิบลดลงจากวัตถุดิบเริ่มต้น (Chen and Mujumdar, 2008)

2.2.4.6 ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของอาหาร

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

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

Li et al. (2002) กล่าวว่า วิธีการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนนั้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราในการดูดกลืนน้ำกลับที่ต่ำ

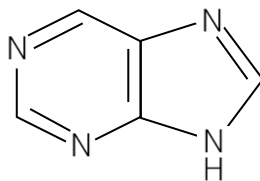
การหาความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับ มีการนำตัวอย่างมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ในเวลาที่กำหนด และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังการดูดกลืนน้ำกลับ เทียบกับกรณีก่อนการดูดคืนน้ำกลับ โดยทั่วไปจะต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และดูความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับว่าเป็นกี่เท่าของตัวอย่างแห้ง

เทคนิคการอบแห้งเป็นหนึ่งในเทคนิคที่นำไปใช้ในการอบแห้งหน่อไม้ โดยเฉพาะประเทศจีนและอินเดีย โดยการอบแห้งหน่อไม้ นอกจากส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างของหน่อไม้ดังกล่าวแล้ว ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้ด้วยเช่นกัน ดังแสดงรายละเอียดจากผลการทดลองของ Muchtadi and Adawiyal (1996)

2.3 พิวรีน

พิวรีน (purine) คือสารประกอบอินทรีย์อะโรมาติก เฮเทอโรไซคลิก ซึ่งจะประกอบด้วยวงแหวนสองวงคือไพริมิดีนหลอมรวมกับอิมิดาโซล สามารถละลายน้ำได้ นับว่าเป็นเฮเทอโรไซเคิลที่ประกอบด้วยไนโตรเจนที่มีอยู่มากตามธรรมชาติ และมีอยู่ในกรดนิวคลีอิกที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต โมเลกุลของพิวรีนมีสองโมเลกุลคือกัวนีนและอะดีนีน ซึ่งมีอยู่ในดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ กลุ่มอะมิโนและกลุ่มคีโตนจะยึดติดกับโครงสร้างพิวรีน เพื่อสร้างกัวนีนและอะดีนีน และโครงสร้างทางเคมีของพิวรีนและอนุพันธ์ของพิวรีนแสดงดังภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพิวรีน

พิวรีนเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไนโตรเจน และโมเลกุลเหล่านี้พบได้ใน DNA และ RNA ของเซลล์ ในร่างกายมนุษย์ พิวรีนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) พิวรีนจากภายใน

ประมาณ 2 ใน 3 ของพิวรีนในร่างกายเกิดจากภายในร่างกาย (Liu, 2019) พิวรีนเหล่านี้ผลิตโดยร่างกายมนุษย์และพบได้ในเซลล์ เซลล์ของร่างกายอยู่ในสถานะตายและเกิดใหม่อย่างต่อเนื่อง พิวรีนในร่างกายก็จะเสียหาย สลาย หรือตายไปด้วย

2) พิวรีนจากภายนอก

พิวรีนที่เข้าสู่ร่างกายทางอาหารเรียกว่าพิวรีนจากภายนอก พิวรีนเหล่านี้จะถูกเผาผลาญโดยร่างกายซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการย่อยอาหาร เมื่อพิวรีนจากภายในและจากภายนอกร่างกายถูกเผาผลาญก็จะสร้างผลพลอยได้ออกมาเป็นกรดยูริก โดยปกติ กรดยูริกประมาณร้อยละ 90 จะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่ร่างกายอีกครั้ง และส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระ (Rashika and Hatem, 2017)

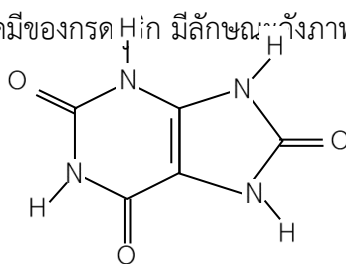
ถ้าปริมาณของพิวรีนในร่างกายไม่สมดุลกับความสามารถของร่างกายในการจัดการกับพิวรีน กรดยูริกมากเกินไปจะสะสมในเลือดของร่างกาย เรียกว่าภาวะกรดยูริกในเลือดสูง ในบางคนภาวะกรดยูริกในเลือดสูงอาจทำให้เกิดนิ่วในไตหรือนำไปสู่ภาวะข้อต่ออักเสบที่เรียกว่าโรคเกาต์ หลายคนที่มีภาวะกรดยูริกในเลือดสูงไม่มีสัญญาณหรืออาการแสดง แพทย์เรียกว่าภาวะกรดยูริกในเลือดสูงแบบไม่แสดงอาการ

2.4 กรดยูริก

กรดยูริก (Uric acid) เป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น พบได้ในเลือดและปัสสาวะ ตลอดจนในอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย กรดยูริกสามารถสร้างและก่อตัวเป็นนิ่วหรือผลึกในสภาวะของโรคต่างๆได้ (NCI, 2021)

กรดยูริกเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเผาผลาญพิวรีนในมนุษย์ การก่อตัวของกรดยูริกนั้นเกิดจากเอนไซม์ xanthine oxidase ซึ่งออกซิไดซ์ oxypurines โดยปกติร่างกายจะมีกรดยูริกอยู่เล็กน้อย แต่เมื่อมีกรดยูริกมากเกินไปในเลือดเรียกว่า hyperuricemia ซึ่งสามารถนำไปสู่การก่อตัวของโรคเกาต์และนิ่วในไต เป็นที่ทราบกันว่ากรดยูริกเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความเครียดจาก

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และด้วยเหตุนี้ กรดยูริกจึงทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในปัจจุบัน (Drug Bank, 2021) โดยโครงสร้างทางเคมีของกรด H₂Uric มีลักษณะดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของกรดยูริก

โดยทั่วไป ร่างกายมนุษย์ได้รับกรดยูริก (uric acid) บางส่วนมาจากการบริโภคอาหารที่มีพิวรีน (purine) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโปรตีนในเซลล์สัตว์หรือพืช อาหารที่มีเซลล์มากหรือ เซลล์กำลังแบ่งตัวมักพบปริมาณพิวรีนสูง เช่น เครื่องใน เนื้อสัตว์ปีก ปลาอินทรี ปลาซาร์ดีน เนื้อติดมัน มันสมอง น้ำต้มกระดูก ปลาหยอดผักอ่อน เมล็ดพืชที่งอก หน่อไม้ กระถิน ชะอม ถั่วต่าง ๆ เหล้า เบียร์ ยีสต์ เป็นต้น พิวรีนที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายจะถูกเผาผลาญ (metabolization) ไปเป็นกรดยูริกสะสมในกระแสเลือด คิดเป็นร้อยละ 10 จากการกินอาหารพิวรีนสูง และร้อยละ 90 จากการเสื่อมสลายของเซลล์ในร่างกาย ปริมาณ กรดยูริกในร่างกายปกติจะมีอยู่ประมาณ 1000 มิลลิกรัม และขับออกทางปัสสาวะได้ประมาณร้อยละ 70 ต่อ วัน อาหารที่รับประทานต่อวันมีพิวรีน 600 – 1000 มิลลิกรัม สามารถแบ่งกลุ่มตามปริมาณพิวรีนต่อ 100 กรัมอาหารได้เป็น อาหารพิวรีนสูง (150 มิลลิกรัม) ปานกลาง (50 - 150 มิลลิกรัม) และต่ำ (0 - 50 มิลลิกรัม) นอกเหนือจากการบริโภคอาหารที่มีพิวรีนแล้ว ปริมาณกรดยูริกที่สูงขึ้นยังเป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ อาทิ การบริโภคน้ำตาลฟรุกโตสปริมาณมากเกินไป และการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ซึ่งส่งผลกระตุ้นให้เกิดการสร้าง กรดยูริก รวมถึงมักพบในผู้ป่วยที่มีภาวะการเสื่อมสลายของเซลล์สูงกว่าปกติ เช่น ผู้ป่วยโรคตับ มะเร็ง ความดันโลหิตสูงและไตเสื่อม ผู้มีภาวะร่างกายขาดน้ำและการได้รับผลจากอุบัติเหตุหรือการผ่าตัด ผู้ที่มีภาวะโรคอ้วน ซึ่งข้อต่อต้องรองรับน้ำหนักกดทับเป็นเวลานาน ประกอบกับกระบวนการกำจัดกรดยูริกถูกหน่วงโดยไขมัน ยิ่งไปกว่านั้น การทานยาบางประเภท เช่น ยาขับปัสสาวะ แอสไพรินหรือยารักษาวัณโรคปริมาณมากอย่าง ต่อเนื่อง ส่งผลให้ไตทำงานหนักจนเกิดการเสื่อมสลายของเซลล์ ในผู้ที่มีระดับกรดยูริกในเลือดที่สูงกว่า 6.5 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือเป็นปริมาณ 3 - 15 เท่าของคน ปกติ และร่างกายสามารถกำจัดกรดยูริกได้ลดลง เป็นกลุ่มที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคเก๊าท์ (gout attack) จากการตกผลึกสะสมบริเวณข้อ ผิวหนัง ไตหรือปลายหุ โดยพบมากกว่าในเพศชาย เพศหญิงในวัยหมดประจำเดือน และสามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรม นำมาซึ่งอาการปวดที่มักเกิดขึ้นในเวลากลางคืน และเป็นครั้งคราว บวมอักเสบ แดงร้อนบริเวณข้อต่อตามร่างกาย มีอาการไข้หนาวสั่น ปากถูกปุ่มก้อนใต้ผิวหนัง ปลาย ไบหุหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระทั่งข้อพิการผิดรูป อย่างไรก็ตาม หากกรดยูริกปริมาณสูงยังคงละลายในเลือดและไม่ตกผลึก ก็อาจไม่ปรากฏโรคเก๊าท์แต่เพียงจัดว่าเสี่ยงต่อการเกิดโรคเก๊าท์และโรคแทรกซ้อนตามมาในสภาวะที่ร่างกายอ่อนแอ (วิยะดา, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดยูริกเกิดจากการสลายของพิวรีน พิวรีนเป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนอยู่ในเซลล์ของร่างกาย รวมทั้งดีเอ็นเอของมนุษย์ พิวรีนอาจมาจากการย่อยอาหารบางชนิด เช่น ตับ ปลาแอนโชวี ปลาแมคเคอเรล ถั่วแห้งและถั่วลันเตา และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์บางชนิด โดยเฉพาะเบียร์ กรดยูริกส่วนใหญ่จะถูกขับออกจากร่างกายโดยไตและขับออกจากร่างกายในปัสสาวะ ส่วนที่เหลือจะถูกกำจัดในอุจจาระ

หากมีกรดยูริกมากเกินไปหรือขับออกไม่เพียงพอ กรดยูริกจะสะสมในร่างกายทำให้ระดับเลือดสูงขึ้น (ภาวะกรดยูริกในเลือดสูง) การมีกรดยูริกมากเกินไปอาจทำให้เกิดโรคเกาต์ ซึ่งเป็นภาวะที่มีอาการอักเสบของข้อต่อเนื่องจากการก่อตัวของผลึกกรดยูริกในของเหลวในข้อ ข้อกรดยูริกส่วนเกินสามารถสะสมในเนื้อเยื่อ เช่น ไต ทำให้เกิดนิ่วในไตหรือไตวายได้ การสะสมของกรดยูริกในร่างกายมากเกินไปอาจเกิดจากการผลิตมากเกินไป การกำจัดไม่เพียงพอ หรือทั้งสองอย่างรวมกัน ระดับกรดยูริกที่เพิ่มขึ้นสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการตายของเซลล์เพิ่มขึ้น ดังที่เห็นได้จากการรักษามะเร็งบางอย่าง หรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย เนื่องจากมีแนวโน้มว่าจะผลิตกรดยูริกมากเกินไป การกำจัดกรดยูริกที่ลดลงมักเป็นผลมาจากการทำงานของไตบกพร่องเนื่องจากโรคไต ถ้าเราหลีกเลี่ยงอาหารที่มีพิวรีนสูงก็จะช่วยลดกรดยูริกในร่างกายได้ และให้ทานผลไม้เยอะๆ ก็จะช่วยขับกรดยูริกออกมา

2.5 ไซยาไนต์

ไซยาไนต์ (cyanide) เป็นสารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนยึดกับอะตอมของไนโตรเจนด้วยพันธะชนิด trivalent bond และพันธะที่เหลืออีกหนึ่งพันธะของคาร์บอนสามารถยึดกับอะตอมของไฮโดรเจน หรือโลหะ เช่น sodium, potassium เป็นสารประกอบอินทรีย์ของ Cyanide หรือยึดกับอะตอมของคาร์บอนเป็นสารประกอบอินทรีย์ของ cyanide หรือเรียกว่าสารประกอบ nitrile

สำหรับไฮโดรเจนไซยาไนต์ (hydrogen cyanide) เป็นก๊าซหรือของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ผสมกับน้ำได้ทุกอัตราส่วน sodium cyanide เป็นของแข็งไม่มีสีหรือมีสีขาว มีกลิ่นเฉพาะตัวดูดความชื้นได้ดี potassium cyanide เป็นผลึกไม่มีสีหรือมีสีขาว มีกลิ่นเฉพาะตัว ละลายน้ำได้ดีมาก ประโยชน์หลักของ potassium cyanide และ sodium cyanide ใช้ในการสกัดทองออกจากสินแร่โดยวิธีการที่เรียกว่า cyanidation และการชุบโลหะ (electroplating) ในสิ่งแวดล้อม hydrogen cyanide ถูกย่อยสลายโดยชีวภาพ และปฏิกิริยาอื่นที่ไม่ใช่การย่อยสลายโดยชีวภาพ (abiotic degradation) ได้อย่างช้าๆ มีค่าครึ่งชีวิตอย่างน้อย 4 สัปดาห์ กลไกการเกิดพิษเฉียบพลันของ cyanide คือการยับยั้งเอนไซม์ cytochrome Oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์สุดท้ายของกระบวนการหายใจภายในเซลล์ ทำให้ร่างกายไม่สามารถใช้ออกซิเจนได้ ปัจจุบันประเทศไทยโดยประกาศกระทรวงกลาโหม กำหนดชนิดยุทธภัณฑ์ที่ต้องขออนุญาตตามพระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ พ.ศ. 2530 กำหนดให้ hydrogen cyanide เป็นยุทธภัณฑ์สารเคมี โดยมีกระทรวงกลาโหม เป็นหน่วยงาน

รับผิดชอบ และโดยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2546

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ potassium Cyanide และ sodium cyanide ที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 1 เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 หมายความว่าการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง ต้องมีใบอนุญาตโดยมีกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมเป็นหน่วยงานรับผิดชอบ (สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย, 2549)

2.6 คลอรีน

คลอรีน (chlorine) เป็นก๊าซสีเหลืองอมเขียว มีกลิ่นฉุนแสบจมูก ละลายน้ำได้ดี พร้อมทำปฏิกิริยากับน้ำได้อย่างรวดเร็ว chlorine มีประโยชน์การใช้ที่สำคัญ คือ ใช้ผลิตสารอินทรีย์สารอนินทรีย์ ใช้ฆ่าเชื้อโรคสำหรับผลิตน้ำประปาและน้ำสะอาดสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ฆ่าเชื้อโรคในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และใช้สำหรับการฟอกขาวเยื่อกระดาษในบรรยากาศชั้น troposphere โมเลกุลของ chlorine จะถูกย่อยสลายโดยแสงได้ออนุมูลอิสระ chlorine ซึ่งมีความไวมาก จึงทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในอากาศได้อย่างรวดเร็ว

คลอรีนเป็นสารที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลันอย่างรุนแรงต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา ผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ และทำให้เสียชีวิตได้ ความรุนแรงของความเป็นพิษขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ chlorine และระยะเวลาที่ได้รับสาร การศึกษาในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่า chlorine ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของการสืบพันธุ์ ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ไม่เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ การศึกษาทางระบาดวิทยาในคนงานโรงงานผลิตสารเคมี ซึ่งได้รับ chlorine โดยการสูดดมไม่พบว่า chlorine ก่อให้เกิดมะเร็งของอวัยวะใด ๆ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) กำหนดให้ chlorine เป็นสารเคมีในกลุ่ม A4 คือไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (not classifiable as a human carcinogen) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2546 ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 กำหนดให้ chlorine เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 หมายความว่าวัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับใบอนุญาตจากหน่วยงานรับผิดชอบ โดยมีกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นหน่วยงานรับผิดชอบ สำหรับการใช้งาน chlorine ทางอุตสาหกรรม ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อประโยชน์แก่การควบคุมป้องกัน กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ ปรสิตร ีพิษ หรือสัตว์อื่น โดยมีกรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นหน่วยงานรับผิดชอบ และ chlorine and chlorine releasing substances ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบ้านเรือน โดยมีสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข เป็นหน่วยงานรับผิดชอบ นอกจากนี้ประกาศกระทรวงกลาโหมเรื่องกำหนดยุทธภัณฑ์ที่ต้องขออนุญาต ตามพระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ พ.ศ. 2530 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ พ.ศ. 2530 ได้กำหนดให้ chlorine เป็นยุทธภัณฑ์สารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมของวัตถุระเบิด (สำนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดการกากของเสียและสารอันตราย, 2554) โดยระดับความเข้มข้นและความเป็นพิษของคลอรีน แสดงได้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษเฉียบพลันที่พบในมนุษย์ซึ่งได้รับคลอรีนจากการสูดดม

| ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม) | ความเป็นพิษ |
|---------------------------|---|
| 1-3 | ทำให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อเยือก และมนุษย์สามารถทนได้นานที่สุด เท่ากับ 1 ชั่วโมง |
| > 5 | ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา |
| > 15 | ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อคอหอย |
| 15 – 30 | ทำให้เกิดอาการไอ หายใจไม่ออก รู้สึกผิวหนังไหม้ ปวดหน้าอก |
| > 50 | ปอดอักเสบ |
| 430 | ทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 30 นาที |
| > 1000 | ทำให้เสียชีวิตได้ในเวลาน้อยกว่า 30 นาที |

ที่มา: ATSDR, 2010; Toxnet, 2021

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hashim et al. (2014) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ในการอบแห้งฟักทองในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 ชั่วโมง โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิและความหนาของฟักทองมีผลต่อจลนพลศาสตร์ในการอบแห้ง โดยการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และการลดความหนาของตัวอย่างลงสามารถลดเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงได้

นันทวัน และ สุพิชา (2554) ได้ศึกษาคุณภาพของฟักทองอบแห้งที่ผ่านจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ 8 W/g และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ 8 W/g และ 9.6 W/g ที่สภาวะสูญญากาศ (13.3 kPa) พบว่าการใช้ไมโครเวฟ ร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อน สามารถลดเวลาการอบแห้ง จากเวลาการอบแห้งที่สั้นลงทำให้ค่า ความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองของฟักทองอบแห้งที่ได้จากการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสูงกว่า ฟักทองจากการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟที่สภาวะสูญญากาศ ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของฟักทองอบแห้งเมื่อเทียบกับฟักทองก่อนการอบแห้งน้อยที่สุด นอกจากนี้ การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ยังสามารถรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนได้มากกว่าการอบแห้งด้วยลม ร้อน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM) พบว่า โครงสร้างของฟักทองอบแห้งด้วย การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีความเป็นรูพรุนชัดเจน ขณะที่โครงสร้างของฟักทองอบแห้งด้วยลม ร้อนมีลักษณะอัดแน่น ทำให้อัตราการคินตัวของฟักทองอบแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสูง กว่าการใช้ลมร้อนอย่างเดียว

Bal et al. (2010) ศึกษาลักษณะการอบแห้งและการแพร่ของความชื้นในหน่อไม้แผ่นใน ระหว่างการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ โดยใช้ความร้อนระหว่าง 140 ถึง 350 วัตต์ โดยข้อมูลที่ได้จาก การทดลองสามารถใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้ง เพื่อการออกแบบการอบแห้งให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการได้

Queentasari et al. (2013) ได้ศึกษาการเตรียมขั้นต้นของหน่อไม้โดยการนำมาลวกใน สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้นต่างๆ (ร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5) ที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปอบแห้ง พบว่าการลวกหน่อไม้ในสารละลายโซเดียม เมตาไบซัลไฟต์ทำให้ค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง และอัตราส่วนการดูดน้ำกลับของหน่อไม้ มีค่าสูงขึ้น ตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่เพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิ การอบแห้งลดลง

Yang et al. (2010) ได้ศึกษาผลของไนตริกออกไซด์ต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลใน หน่อไม้ที่ปอกเปลือก โดยการแช่หน่อไม้ในสารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์ ความเข้มข้น 0.5 mM เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ พอลิฟีนอลออกซิเดส เพอร์ออกซิเดส และฟีนีลอะลานีน แอมโมเนีย ไลเอส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล สามารถใช้ เป็นข้อมูลการเตรียมหน่อไม้เบื้องต้นได้

Kerdpi boon et al. (2007) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและ การเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพของแครอท ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง 3 ชนิด ได้แก่ เครื่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งแบบอากาศร้อน เครื่องอบแห้งแบบประเหิด และเครื่องอบแห้งแบบใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีการหดตัวน้อยกว่า และมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับมากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำในกรณีที่ใช้เครื่องอบแห้งชนิดเดียวกัน จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพของตัวอย่างในระหว่างการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อน แบบประเหิด และแบบใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำโดยการใช้ค่ามิติแฟรคทัล (Fractal dimension, เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย) พบว่าค่ามิติแฟรคทัลเป็นดัชนีที่สามารถใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในตัวอย่างและมีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละของการหดตัวและความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นสูง ($R^2 > 0.95$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

หน่อไม้สด พันธุ์ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) จากบ้านโป่งหวาย ต.ด่านแม่แฉลบ อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี เก็บเกี่ยวในช่วงเดือน พฤษภาคม 2562



ภาพที่ 3.1 หน่อไม้สด พันธุ์ไผ่รวก

3.2 อุปกรณ์

- | | |
|------------------------------------|---|
| 3.2.1 เครื่องบรรจุสุญญากาศ | Zhejiang dongfeng packing machine Co.,LTD (DZQ-400B), China |
| 3.2.2 ตู้แช่แข็ง | Haier (HCF 428H-2), Thailand |
| 3.2.3 ตู้อบลมร้อนแบบถาด | Progress electronic (BWS-30), Thailand |
| 3.2.4 เตาอบลมร้อน | Memmert (UM400), Germany |
| 3.2.5 เครื่องอบแห้งแบบระเหิด | SCANVAC (coolsafe), Denmark |
| 3.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง | OHAUS (AR2140), USA |
| 3.2.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง | OHAUS (ARC120), USA |
| 3.2.8 เตาไฟฟ้า | EGO, Germany |
| 3.2.9 หม้อทอด | Fritel, Belgium |
| 3.2.10 เครื่องหมุนเหวี่ยง | Centrikon (T-42K, Italy) |

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพหน่อไม้

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 3.3.1 เครื่องวิเคราะห์แยกสารประสิทธิภาพสูง (HPLC) | Agilent (1100 Series), USA |
| 3.3.2 เครื่องวัดสี | Minolta Chroma-meter (CR400), Japan |
| 3.3.3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส | Texture analyzer (TA-XT plus), UK |

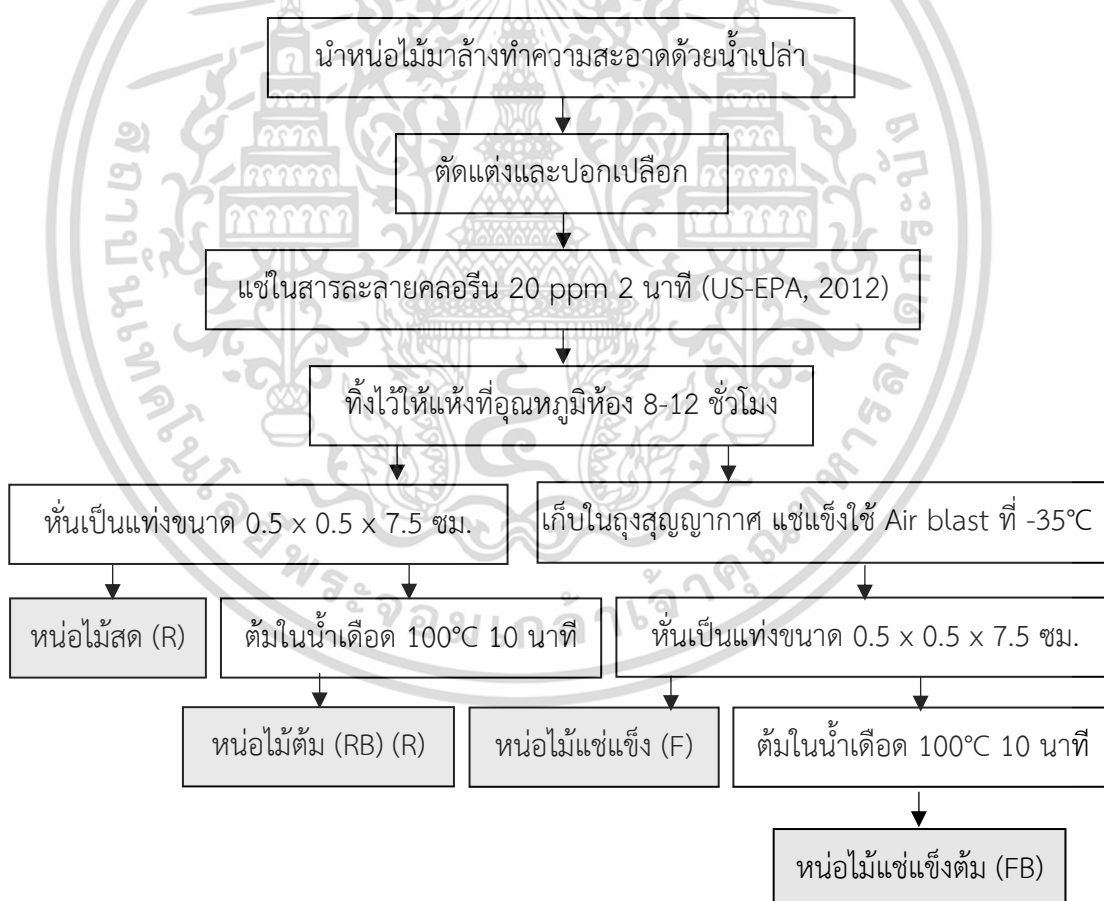
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบหน่อไม้สดและหน่อไม้ต้ม มีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 3.2 โดยมีการนำหน่อไม้สดและหน่อไม้ต้มที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้ว บรรจุในถุงลามิเนตโพลีเอทิลีนในสถานะที่ไม่มีอากาศ สำหรับกรณีหน่อไม้สดและหน่อไม้ต้ม มีการเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นานไม่เกิน 1 สัปดาห์ ส่วนการเตรียมหน่อไม้แช่แข็งและหน่อไม้แช่แข็งต้ม หลังจากการบรรจุในถุงลามิเนตโพลีเอทิลีนในสถานะที่ไม่มีอากาศเรียบร้อยแล้ว จะนำตัวอย่างไปทำการแช่แข็ง โดยนำตัวอย่างไปเก็บไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส (ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง) จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส ที่ห้องเย็นทำบ้าน พิชเซอร์ จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ โดยเก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ไม่เกิน 12 เดือน ลักษณะของหน่อไม้ที่หั่นแต่งเป็นดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ 4 ตัวอย่าง คือหน่อไม้สด (R), หน่อไม้ต้ม (RB), หน่อไม้แช่แข็ง (F) และหน่อไม้แช่แข็งต้ม (FB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 ภาพหน่อไม้หั่นแท่งขนาด $0.5 \times 0.5 \times 7.5$ ซม.

3.4.2 การตรวจปริมาณพิวรีนและกรดยูริก

อ้างอิงจากวิธีการของ Aichayawanich (2018) ก่อนนำตัวอย่างไปหาปริมาณพิวรีนและยูริก ควรนำหน่อไม้สดและหน่อไม้ต้ม นำไปอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) โดยการเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่าง จาก -30 ถึง 25°C ที่ความดัน 0.4 มิลลิบาร์ ระยะเวลาในการเพิ่มของอุณหภูมิตัวอย่าง จนถึงสุดการอบแห้ง นาน 27 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปบดละเอียดให้ได้ตัวอย่างปริมาณ 1 กรัม เริ่มสกัดพิวรีนและกรดยูริกด้วยเมทานอล (HPLC grade) ปริมาณ 50 มล. นำไปแช่เย็นเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปกรองผ่านสุญญากาศแยกเฉพาะของเหลวที่อยู่เหนือตะกอน นำไประเหยเมทานอลออกด้วยเครื่อง Evaporator ต่อมานำมากรองผ่าน cellulose acetate syringe filter บรรจุลงในขวดสีชาปริมาณ 2 กรัม แล้วนำเข้าสู่เครื่อง HPLC โดยการแยกแบบ isocratic ชนิดเฟสกลับ คอลัมน์ C18 (150×4.6 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 2.6 ไมครอนและขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม) ซึ่งการเตรียมเฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยอะซิเตตบัฟเฟอร์และเมทานอลในอัตราส่วน 97 ต่อ 3 ปริมาตรต่อปริมาตร โดยเตรียมอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ จากการผสม 0.01M โซเดียมอะซิเตต ปริมาณ 0.93 กรัม กับ 0.04M กรดอะซิติกปริมาณ 2.32 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร ปรับ pH ให้เท่ากับ 4.0 ด้วย 0.01M กรดไฮโดรคลอริกและ 0.01M โซเดียมไฮดรอกไซด์ เฟสเคลื่อนที่ที่ถูกเตรียมวันต่อวันผ่านกระดาษกรองรูพรุน 0.45 ไมครอน ภายใต้สุญญากาศ ก่อนการวิเคราะห์ด้วย HPLC ให้นำเฟสเคลื่อนที่ไปทำการกำจัดฟองอากาศ โดยผ่านการ sonicate ก่อนทำฉีดวิเคราะห์โดยใช้ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 30°C โดยมี injection volume $20 \mu\text{L}$, stop time 35 นาที, post time 10 นาที และ flow rate 0.5 มล./นาที สร้างกราฟมาตรฐานได้ดังภาคผนวก ค และคำนวณหาปริมาณพิวรีนและกรดยูริก ได้จาก

ปริมาณพิวรีนทั้งหมด = ผลรวมของ (อะดีนีน, กัวนีน, กัวโนซีน ไฮโปแซนทีน และแซนทีน) ... (1)
(ไมโครโมลต่อ 100 กรัมตัวอย่างอาหาร)

ปริมาณกรดยูริกทั้งหมด = [(มวลโมเลกุล 168.1 กรัม/โมล)(ปริมาณพิวรีนทั้งหมด ไมโครโมลต่อ ... (2)
(มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างอาหาร) 100 กรัมตัวอย่างอาหาร)]/1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การศึกษาลักษณะการอบแห้ง

3.4.3.1 สภาวะการอบแห้งที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.1 วิธีการอบแห้งและสภาวะที่ใช้

| วิธีการอบแห้ง | อุณหภูมิที่ใช้ | เวลาที่ใช้ | หมายเหตุ |
|--|----------------|------------|--|
| เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) | -30 ถึง 25°C | 27 ชั่วโมง | ที่ความดัน 0.4 mbar (ใช้เป็น control) |
| ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) | 50°C | 0-180 นาที | นำออกมาวิเคราะห์ทุก 15 นาที |
| | 60°C | 0-180 นาที | |
| | 70°C | 0-180 นาที | |

ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง 2 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่มีผลต่อความชื้น การหดตัว การดูดกลืนน้ำกลับ และสีของหน่อไม้หลังจากอบแห้ง

3.4.3.2 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.4.3.2.1 วัดสี (L^* , a^* , b^* , ΔE) ด้วยเครื่อง Minolta รุ่น CR400

โดยที่ $L=100$ คือ สว่างที่สุด $L=0$ คือ มืดที่สุด
 $+a$ คือ สีแดง $-a$ คือ สีเขียว
 $+b$ คือ สีเหลือง $-b$ คือ สีน้ำเงิน

3.4.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงขนาด อ้างอิงจากวิธีการของ Kerdpi boon et al (2007) จากร้อยละการหดตัวของหน่อไม้ โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของเอทานอล ความหนาแน่น 0.789 g/cm^3 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มล. จากนั้นใส่ตัวอย่างหน่อไม้ 1 ชิ้น วัดปริมาตรหน่อไม้ก่อนและหลังการอบ วัดตัวอย่างละ 5 ชิ้น คำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างจากสูตร

$$V = V_f - \frac{M_{f+s} - M_f - M}{\rho_s} \quad \dots\dots\dots(3)$$

V_f คือ ปริมาตรของขวดรูปชมพู่ (cm^3)

M_{f+s} คือ น้ำหนักของขวดรูปชมพู่ ตัวอย่าง และของเหลว (กรัม)

M_f คือ น้ำหนักของขวดรูปชมพู่ (กรัม)

M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของเอทานอล (กรัม/ cm^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาร้อยละการหดตัวจากสูตร

$$\text{Shrinkage} = \frac{V_i - V}{V_i} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

V_i คือ ปริมาตรตัวอย่างก่อนอบ (ซม³)

V คือ ปริมาตรตัวอย่างหลังอบ (ซม³)

3.4.3.2.3 การดูดกลืนน้ำกลับ อ้างอิงจากวิธีการ Kerdpi boon et al (2007) โดยการแช่ตัวอย่างแห้งในน้ำร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ชั่งน้ำหนักก่อน และหลังการแช่ในน้ำร้อน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหาอัตราการดูดกลืนน้ำกลับจากสูตร

$$R = \frac{M}{M_0} \quad \dots\dots\dots(5)$$

M_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนแช่น้ำร้อน (กรัม)

M คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำร้อน (กรัม)

3.4.3.2.4 ความชื้น ตามวิธีการของ AOAC 930.04 (2000) การทดลองคือ อบถั่วยอลูมิเนียมอบความชื้นพร้อมฝาทที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ลงในถั่วยอลูมิเนียมอบความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักโดยละเอียด นำถั่วยอลูมิเนียมอบความชื้นที่มีตัวอย่างเข้าในเตาอบลมร้อน พร้อมเปิดฝาทออกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถั่วยอลูมิเนียมอบความชื้น ออกโดยปิดฝาทันที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots(6)$$

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่าง+ถั่วยอลูมิเนียมอบความชื้นพร้อมฝาทก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่าง+ถั่วยอลูมิเนียมอบความชื้นพร้อมฝาทหลังอบ (กรัม)

3.4.4 การคัดเลือกสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้ง

นำหน่วยไม่อบแห้งตามสภาวะการอบแห้งที่ได้จากข้อ 3.4.3 เลือกสถานะที่เหมาะสมโดยใช้ เกณฑ์ในการคัดเลือกคือหน่วยไม่อบแห้งที่มีความชื้นต่ำ การหดตัวต่ำ อัตราการดูดกลืนน้ำกลับสูง และ สීමีการเปลี่ยนแปลงน้อย โดยใช้โปรแกรม Design expert เวอร์ชัน 7.0.0 ในการหาสมการโมเดล พื้นผิวตอบสนอง (RSM) ใช้ในการกำหนดสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งจากการเตรียมจาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่อไม้สด หน่อไม้สดนำไปต้ม หน่อไม้แช่แข็ง และหน่อไม้แช่แข็งนำไปต้ม โดยใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) โดยกำหนด 2 factor คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 50-70 องศาเซลเซียส (X_1) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 0-180 นาที (X_2) ใช้ Alpha face center = 1.0 โดยมีปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยสำหรับออกแบบการทดลอง

| ปัจจัย | ระดับ | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------|------------|
| | ต่ำ (-1) | กลาง (0) | สูง (1) |
| อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (X_1) | 50 °C | 60 °C | 70 °C |
| เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (X_2) | 0 นาที | 90 นาที | 180 นาที |

กำหนดให้ Alpha face center = 1.0

ระดับในการทดลอง (Level) 3 ระดับ

จากการออกแบบโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ มีจำนวนตัวอย่างในการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง ดังตารางที่ 3.3 โดยหน่อไม้อบแห้งที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าความชื้น ร้อยละการหดตัว อัตราการดูดกลืนน้ำกลับ และสี (L^* , a^* , b^*) เพื่อหาสมการโมเดลในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเพื่อให้หน่อไม้อบแห้งมีลักษณะที่ดีตามเกณฑ์ที่ระบุในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 การทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM)

| การทดลอง | อุณหภูมิ (°C) | เวลา (min) |
|----------|---------------|------------|
| 1 | 60.00 (0) | 0.00 (-1) |
| 2 | 70.00 (1) | 90.00 (0) |
| 3 | 50.00 (-1) | 0.00 (-1) |
| 4 | 60.00 (0) | 90.00 (0) |
| 5 | 50.00 (-1) | 90.00 (0) |
| 6 | 60.00 (0) | 90.00 (0) |
| 7 | 60.00 (0) | 90.00 (0) |
| 8 | 60.00 (0) | 90.00 (0) |
| 9 | 70.00 (1) | 0.00 (-1) |
| 10 | 60.00 (0) | 180.00 (1) |
| 11 | 50.00 (-1) | 180.00 (1) |
| 12 | 60.00 (0) | 90.00 (0) |
| 13 | 70.00 (1) | 180.00 |

ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม

| คุณลักษณะ | เกณฑ์ |
|------------------------|----------------|
| อุณหภูมิ | In range 50-70 |
| เวลา | In range 0-180 |
| ความชื้น | In range 0-14 |
| การหดตัว | Minimize |
| อัตราการดูดกลืนน้ำกลับ | Maximize |
| L* | Maximize |
| a* | Minimize |
| b* | Maximize |

3.4.5 การผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ

นำหน่อไม้แห้งอบแห้งที่ได้จากการคัดเลือก นำมาคืนรูปโดยการต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที มาคลุกแป้ง เครื่องปรุง และทอดแบบ deep fried ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วินาที และอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

- การตรวจสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบชิมที่มีความรู้ ความเข้าใจในการประเมินด้านประสาทสัมผัส จำนวน 40 คน โดยเป็นนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่มีช่วงอายุ 19 – 21 ปี ทำการประเมินความชอบและการยอมรับของผลิตภัณฑ์แบบ 9-point Hedonic Scale ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวม ใช้คะแนนการ ประเมิน 1-9 คะแนน โดย 1 คือคะแนนชอบน้อยที่สุด และ 9 คือคะแนนชอบมากที่สุด ทั้งนี้หากผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านใดมีคะแนนยอมรับน้อยกว่า 7ให้นำผลิตภัณฑ์มาปรับใหม่ ก่อนการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสในครั้งต่อไป จนผู้บริโภคมีคะแนนการยอมรับด้วยคะแนนเกิน 7 คะแนนขึ้นไป

- การตรวจสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส โดยวัดความกรอบของผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT.plus ทดสอบโดยวัดแรงกด ใช้หัวกดแบบตัด ใช้ความเร็วในการกด 2 mm/s พิจารณาจากค่าความแข็ง (hardness)

- วัดสี (L*, a*, b*) ด้วยเครื่อง Minolta รุ่น CR400

โดยที่ L=100 คือ สว่างที่สุด L=0 คือ มืดที่สุด

+a คือ สีแดง -a คือ สีเขียว

+b คือ สีเหลือง -b คือ สีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมเอกสารให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ทำการทดลอง 3 ชั้น นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรมสำเร็จรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของการต้มที่มีต่อปริมาณพิวรีนและกรดยูริกในหน่อไม้

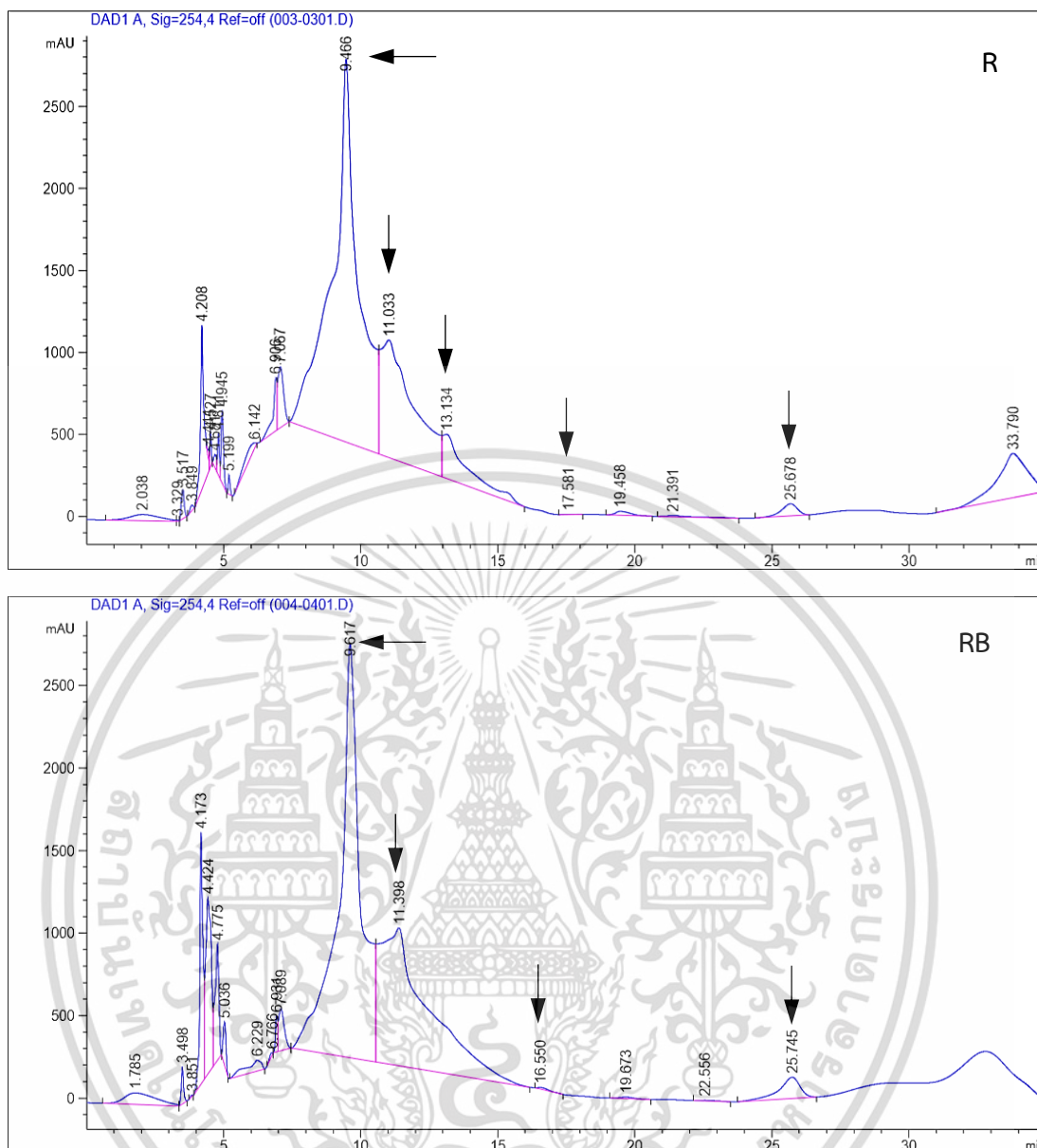
สารพิวรีนเป็นสารที่มีรสขม (Satya, 2010) เมื่อร่างกายได้รับพิวรีนและย่อยเป็นกรดยูริก จะทำให้เกิดภาวะกรดยูริกในเลือดสูง ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ เช่น โรคเกาต์ โรคไต โดยปริมาณสารพิวรีนในหน่อไม้มีความแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ ตำแหน่งต่างๆ ของหน่อไม้ จากข้อมูลการตรวจสอบใน ตารางที่ 4.1 พบว่าหน่อไม้สดที่ไม่ได้ผ่านการต้ม มีปริมาณกรดยูริก 35.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมหน่อไม้แห้ง ซึ่งหากคำนวณน้ำหนักเทียบกับในกรณีที่เป็นตัวอย่างสดแล้ว ปริมาณกรดยูริกมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Halevi (2018) ที่ระบุว่าหน่อไม้จัดอยู่ในกลุ่มที่มีพิวรีนต่ำ คือมีกรดยูริกประมาณ 29 mg/100 g ทั้งนี้กรดยูริกในหน่อไม้สามารถทำให้มีปริมาณลดลงได้โดยการใช้ความร้อนในการต้ม การนึ่ง (Ferreira et al., 1995; Tripathi, 1998) โดยจากผลการตรวจสอบพบว่าการใช้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้มีปริมาณกรดยูริก 8.71 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมหน่อไม้แห้ง ลดลงจากกรณีที่ไม่ได้ผ่านการต้ม ถึงร้อยละ 75.2 สอดคล้องกับปริมาณพิวรีนที่ลดลงจาก 208 ไมโครโมลต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง เหลือ 51.81 ไมโครโมลต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณพิวรีนและกรดยูริก ในหน่อไม้สดและหน่อไม้ต้ม

| ตัวอย่าง | Purine (mmol/100g dried sample) | Uric acid content (mg/100g dried sample) |
|-------------|------------------------------------|---|
| หน่อไม้สด | 208.00 | 35.08 |
| หน่อไม้ต้ม* | 51.81 | 8.71 |

* ต้มหน่อไม้ในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

ในสารสกัดตัวอย่าง ประกอบไปด้วยสารประกอบต่างๆ โดยสามารถแยกสารที่ต้องการได้จาก retention time ซึ่งสารแต่ละชนิดก็จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ นับจากเวลาเริ่มต้นของการวิเคราะห์ ถึงตำแหน่งที่ detector อ่านค่าสัญญาณสูงสุดหรือพีคได้ ซึ่งโครมาโทแกรมของพิวรีนและกรดยูริกในตัวอย่างหน่อไม้สด และหน่อไม้ต้มมีลักษณะดังภาพที่ 4.1

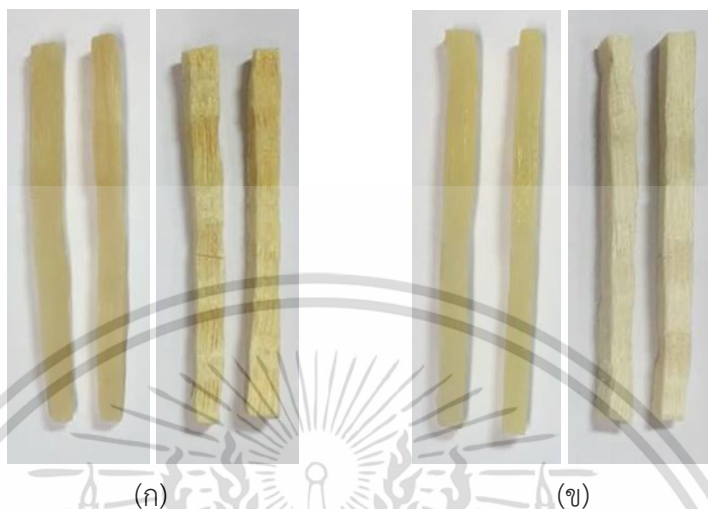


ภาพที่ 4.1 โครมาโทแกรมของพิวรีนและกรดยูริกในหน่อไม้สด (R) และหน่อไม้ต้ม (RB) ลูกศรแสดงตำแหน่งของพิวรีนและกรดยูริกเพื่อใช้พื้นที่ใต้กราฟในการหาปริมาณของพิวรีนและกรดยูริกในตัวอย่างหน่อไม้

4.2 คุณลักษณะของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหิด

ในการตรวจสอบคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งนั้น ด้วยกระบวนการดึงน้ำออกจากอาหาร โดยใช้การอบแห้งแบบระเหิด เป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าการอบแห้งแบบระเหิด ส่งผลให้ตัวอย่างอาหารมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้าง คุณลักษณะทางกายภาพ รวมถึงสารอาหารที่น้อยกว่าการอบแห้งแบบอื่นๆ จึงได้ทำการอบแห้งหน่อไม้โดยใช้การระเหิดเป็นวิธีการมาตรฐาน โดยจากผลการทดลอง พบว่าการอบแห้งแบบระเหิด ส่งผลให้หน่อไม้มีคุณลักษณะที่ดี และใกล้เคียงกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่อไม้ที่ไม่ผ่านการแปรรูป โดยคุณลักษณะของหน่อไม้สดและหน่อไม้แช่แข็งหลังจากผ่านการอบแห้งแบบระเหิดแสดงดังภาพที่ 4.2 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสม ซึ่งคุณลักษณะของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหิดแสดงดังตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของหน่อไม้สด (ก ซ้าย) หน่อไม้สดที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหิด (ก ขวา) หน่อไม้แช่แข็ง (ข ซ้าย) และหน่อไม้แช่แข็งที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหิด (ข ขวา)

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งแบบระเหิด

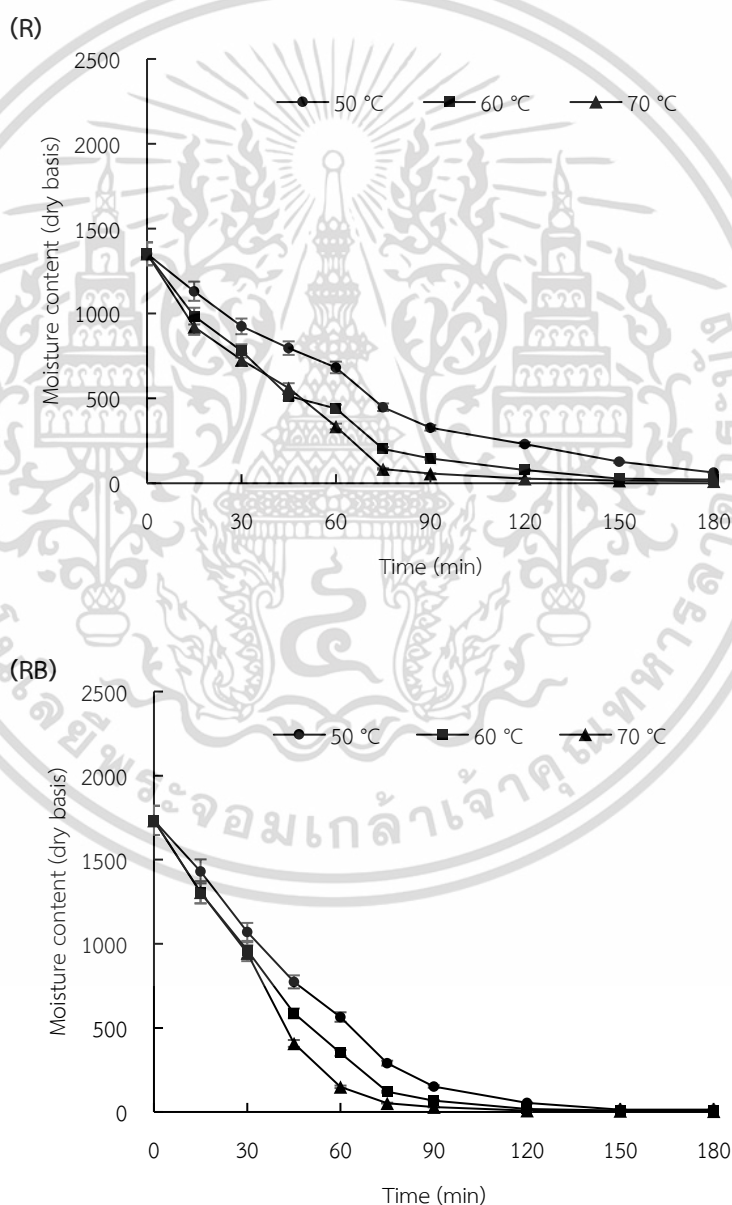
| คุณลักษณะ | ตัวอย่าง | | t-test |
|---|---------------------------|---------------------------|--------|
| | หน่อไม้สด (R) | หน่อไม้แช่แข็ง (F) | |
| ความชื้น (น้ำหนักเปียก) | 12.11% ^a ±0.02 | 14.49% ^b ±0.03 | 0.02 |
| การหดตัว (%) ^{ns} | 58.43%±0.06 | 15.39%±0.11 | 0.05 |
| อัตราการดูดกลืนน้ำกลับ ^{ns} | 6.06±0.13 | 4.77±0.09 | 0.34 |
| สี (ความสว่าง) | 75.62 ^a ±0.01 | 85.07 ^b ±0.02 | 0.01 |
| ปริมาณกรดซูริก ^{ns} (mg/100g) | 35.08±0.44 | 34.97±0.28 | 0.01 |

a, b: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$); ns: not significant

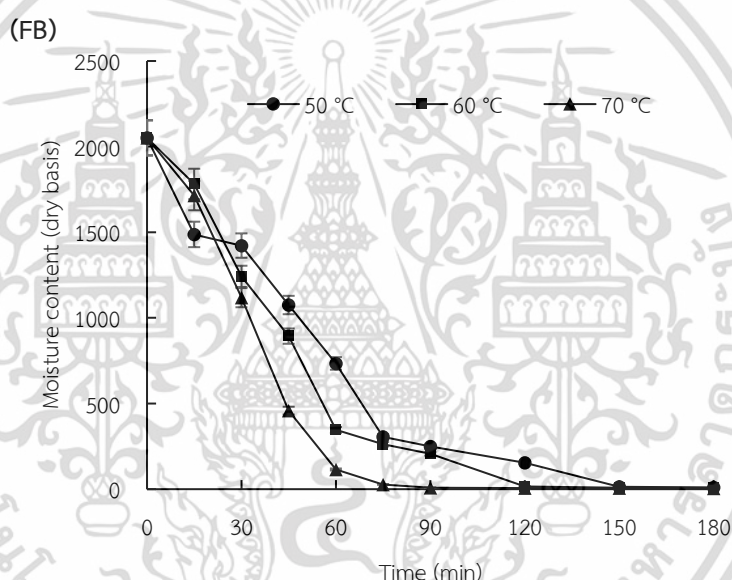
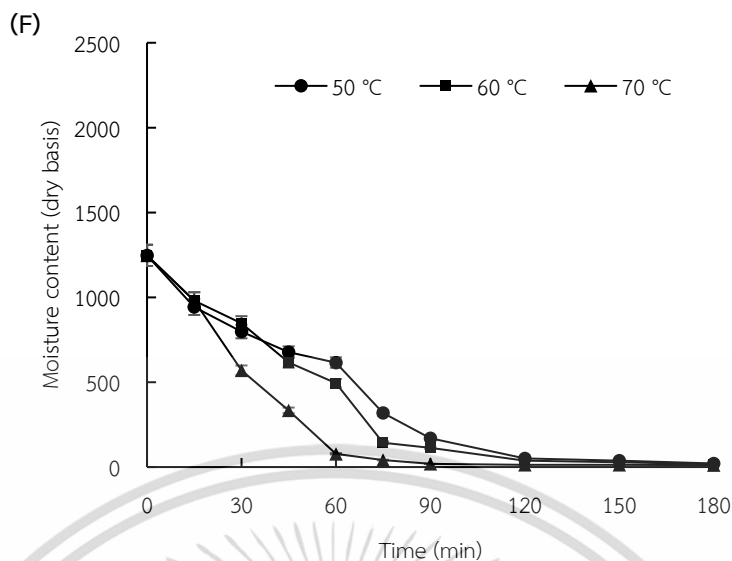
4.3 ผลของการทำแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้

หน่อไม้จัดเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 90 (Silva, 2020) โดยข้อมูลจากผลการทดลองในภาพที่ 4.3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหน่อไม้ในระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบกดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิสูง (70 และ 60 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้หน่อไม้มีอัตราการแห้งที่เร็วกว่ากรณีการใช้ที่อุณหภูมิต่ำ (50 องศาเซลเซียส) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบความชื้นของหน่อไม้อบแห้งที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากัน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเวลา 180 นาที จะเห็นได้ว่าหน่อไม้ที่ผ่านการเตรียมต่างกันจะมีความชื้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีการถูกทำลายของโครงสร้างไม้เท่ากัน โดยหน่อไม้ที่ผ่านการต้มก่อนการนำไปอบแห้งจะทำให้มีความชื้นต่ำกว่าหน่อไม้ที่ไม่ผ่านการต้ม และหน่อไม้แช่แข็งเมื่อนำไปอบแห้งจะมีความชื้นน้อยกว่าหน่อไม้สด เป็นเช่นนี้เพราะการต้มและการแช่แข็งทำให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ (Greve, 1994) นอกจากนี้โครงสร้างบางอย่างเช่น เนื้อเยื่อ ผนังเซลล์ อาจเกิดการย่อยสลายและมีการเปลี่ยนแปลงของสารเพกทินในผนังเซลล์ในระหว่างการอบแห้ง (Hafez, 2017) ทำให้เกิดการถ่ายเทน้ำออกมาได้มากกว่าหน่อไม้ที่ไม่ผ่านการต้มและแช่แข็งก่อนนำมาอบแห้ง และการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อความชื้นของหน่อไม้อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด โดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

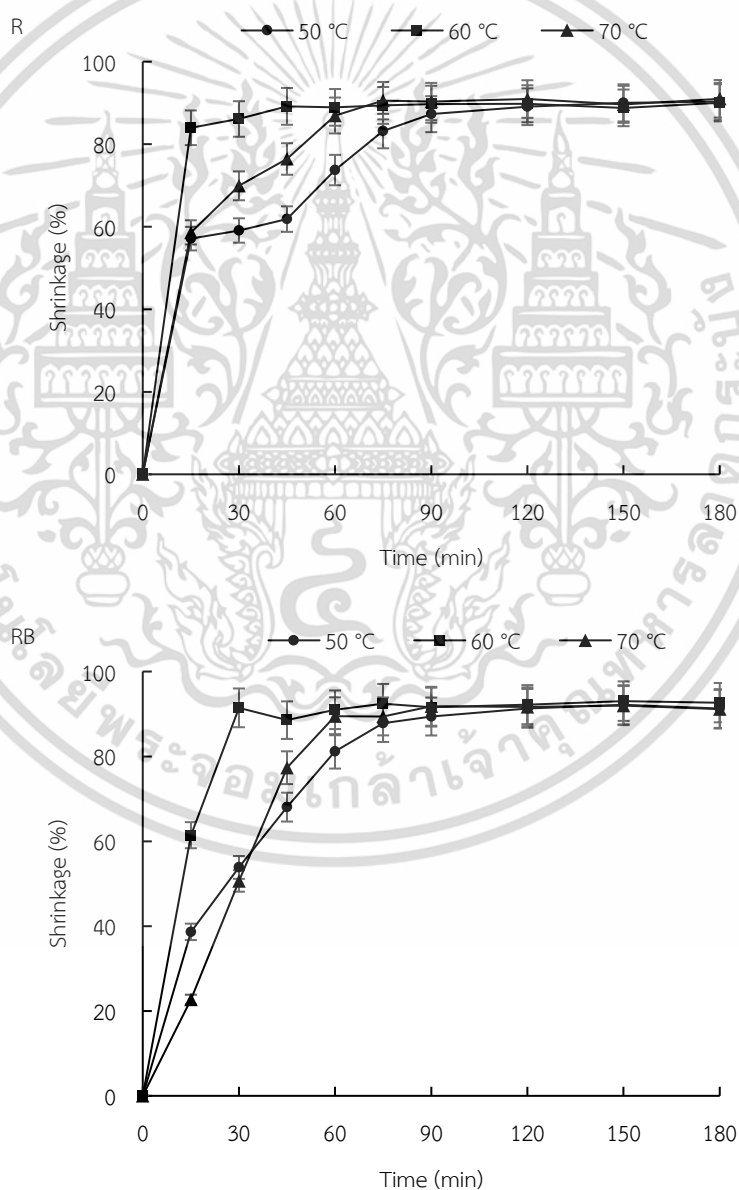
จากกราฟใน ภาพที่ 4.3 ที่สภาวะการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส สังเกตได้ว่าเกิดช่วงการอบแห้งแบบคงที่ ที่เวลา 15 นาทีแรก จึงทำให้เห็นช่วงของการอบแห้งที่ 0-60 นาที เป็นช่วงที่มีการระเหยน้ำในอัตราคงที่ ต่อมาที่เวลา 60-150 นาที เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง จนกระทั่งหน่อไม้ต้ม หน่อไม้แช่แข็ง และหน่อไม้แช่แข็งแล้วนำไปต้ม ที่ผ่านการอบแห้ง เข้าสู่ระดับความชื้นสมดุลที่เวลาประมาณ 150 นาที ส่วนหน่อไม้สดเข้าสู่ระดับความชื้นสมดุลที่เวลาประมาณ 180 นาที ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rojas et al. (2020) ที่อบแห้งฟักทองที่ผ่านกระบวนการเตรียมก่อนการอบแห้ง โดยพบว่าระยะเวลาการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าฟักทองมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เห็นเป็นเชิงประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นที่ลดลง รวมถึงการอบแห้งแครอทของ Kerdpi boon et al. (2007) ที่อบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งในเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดแก่แครอทโดยใช้ อุณหภูมิสูง ส่งผลให้อาหารมีการลดลงของความชื้นที่เร็วกว่าการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า

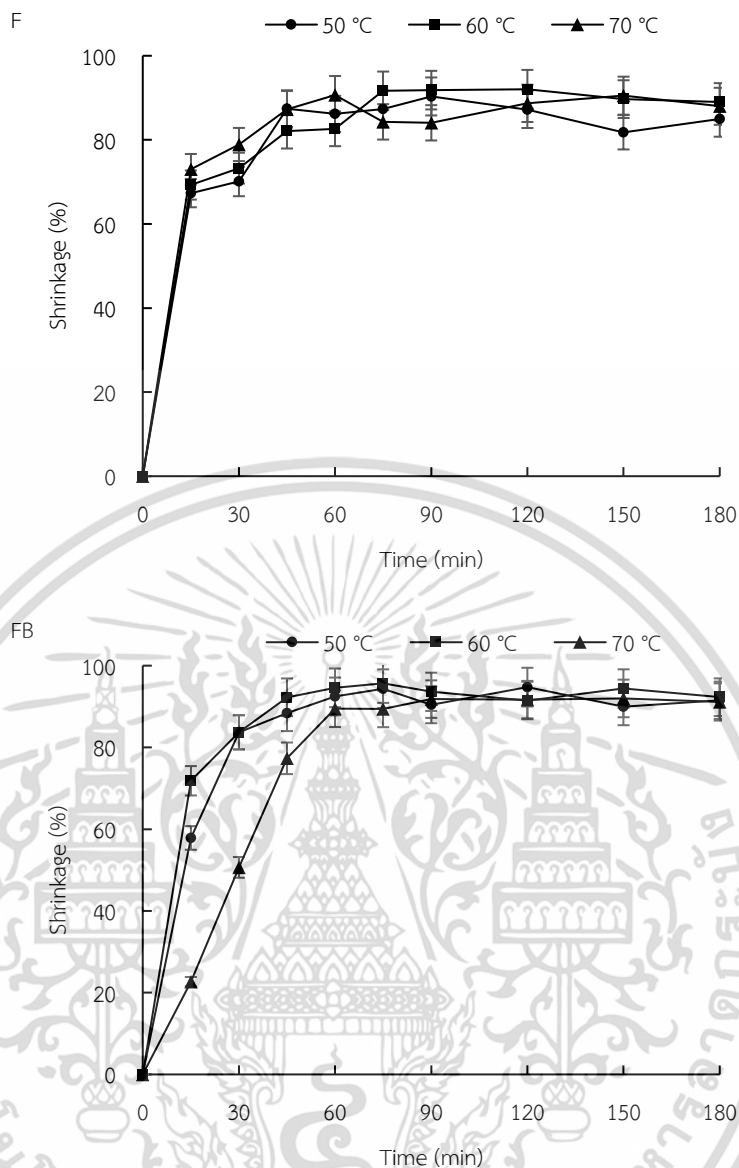
4.4 คุณลักษณะทางกายภาพของหน่อไม้ในระหว่างการทำแห้ง

4.4.1 การหดตัว

วัตถุดิบอาหารเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้น้ำในอาหารเกิดการระเหย โครงสร้างของอาหาร เกิดการหดตัว และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และขนาดตามลำดับ จากภาพที่ 4.4 แสดงค่าร้อยละการ หดตัวของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และระยะเวลา 0-180 นาที ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



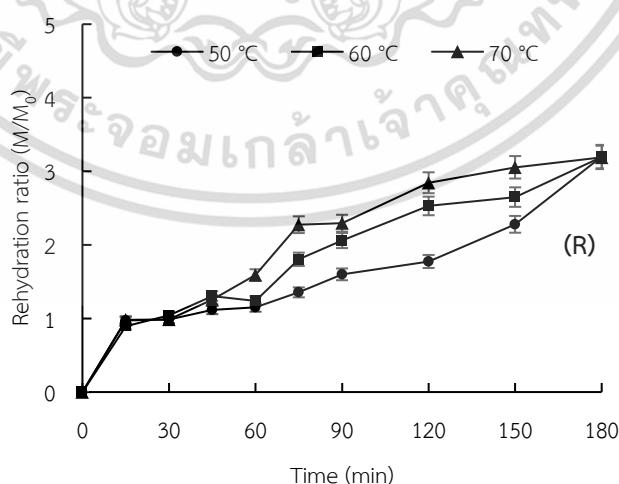
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าร้อยละการหดตัวของหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบภาค โดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

หน่อไม้ที่อบแห้งนานขึ้นมีค่าร้อยละของการหดตัวที่สูงมากขึ้น จากกราฟจะเห็นว่าหน่อไม้สด มีการหดตัวเริ่มคงที่เมื่อเวลา 120 นาที เมื่ออบแห้งหน่อไม้เวลานานตั้งแต่ 120 นาที พบว่าหน่อไม้มีค่า ร้อยละของการหดตัวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่หน่อไม้ต้ม หน่อไม้ แช่แข็ง และหน่อไม้แช่แข็งแล้วนำไปต้ม มีร้อยละการหดตัวเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปเพียง 90 นาที ซึ่ง การที่หน่อไม้สดมีการหดตัวช้ากว่าหน่อไม้จากการเตรียมด้วยวิธีอื่น สาเหตุเช่นเดียวกับการ เปลี่ยนแปลงความชื้น คือโครงสร้างในหน่อไม้เกิดการย่อยสลายจากการโดนทำลายด้วยการแช่แข็ง และการต้ม ทำให้เกิดการถ่ายเทน้ำออกไปได้มากกว่า โครงสร้างของหน่อไม้ที่เหลือจึงหดตัวมากกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

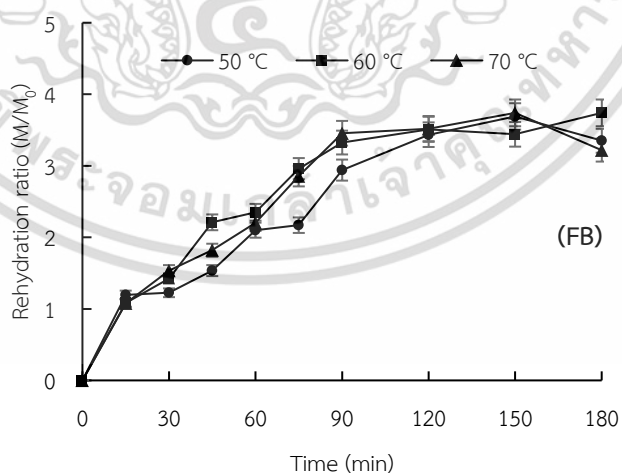
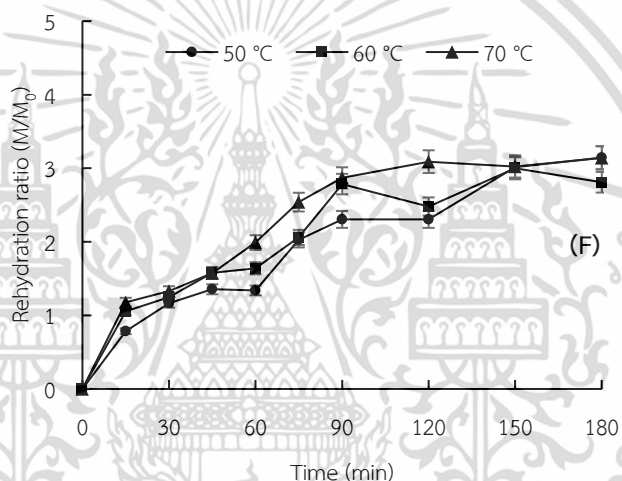
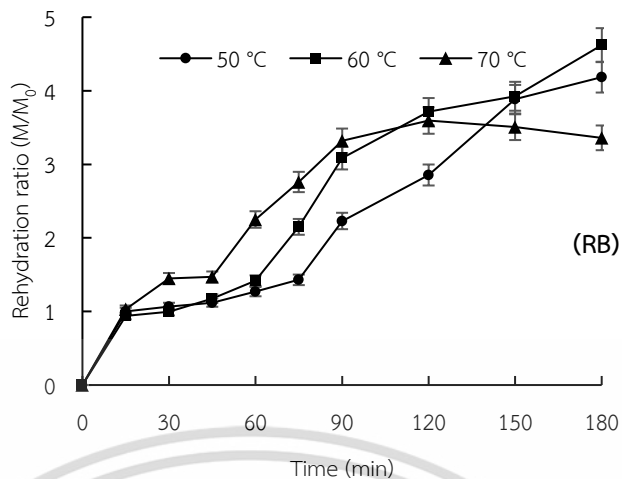
หน่อไม้สดที่นำมาอบแห้ง ในช่วงแรกร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อถึงจุดที่ความชื้นในตัวอย่างเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล ร้อยละการหดตัวก็เริ่มคงที่ จากกราฟในภาพที่ 3.4 จะเห็นว่าการทำงานแห้งอาจมีผลให้การหดตัวไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panyawong & Devahastin (2007) ที่พบว่ารูปร่างของตัวอย่างการทำงานแห้งไม่สม่ำเสมอ แสดงว่าการเสีรूपของตัวอย่างเป็นแบบไม่สมมาตร และใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kerdpiboon (2007) ที่พบว่าเวลาในการทำแห้งแบ่งช่วงการหดตัวเป็นช่วงการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและการเพิ่มช้า (ตามด้วยค่าคงที่) ช่วงท้ายของการอบแห้งผิวตัวอย่างจะแข็งขึ้นจนสามารถยับยั้งการหดตัวที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้ จะทำให้น้ำในอาหารระเหยออกได้น้อยลง และมีค่าร้อยละการหดตัวที่ไม่แตกต่างกันมากถึงแม้ว่าจะมีการใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกันก็ตาม (Curcio and Aversa, 2014; Rojas et al., 2020)

4.5 ความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้ง

จาก ภาพที่ 4.5 แสดงค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้เมื่อเทียบกับหน่อไม้อบแห้ง พบว่าหน่อไม้ที่ผ่านการต้ม (RB และ FB) มีอัตราการดูดกลืนน้ำกลับมากกว่าหน่อไม้ที่ไม่ผ่านการต้ม (R และ F) อัตราการดูดกลืนน้ำกลับที่มากที่สุดของแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส หน่อไม้ต้มมีอัตราการดูดกลืนน้ำกลับ 4.19 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส หน่อไม้ต้มมีอัตราการดูดกลืนน้ำกลับ 4.62 และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส หน่อไม้แช่แข็งต้มมีอัตราการดูดกลืนน้ำกลับ 3.74 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า หน่อไม้ที่ผ่านการต้มก่อนการนำไปอบแห้งจะมีอัตราการดูดกลืนน้ำกลับสูงกว่าหน่อไม้ที่ไม่ผ่านการต้ม ทั้งนี้เป็นเพราะหน่อไม้ที่มีความชื้นต่ำกว่าคือมีน้ำออกจากโครงสร้างมากจะส่งผลทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้นภายในโครงสร้างของหน่อไม้แห้งมาก จึงสามารถดูดกลืนน้ำกลับได้มาก (Madamba, 2003)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของหน่อไม้ โดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

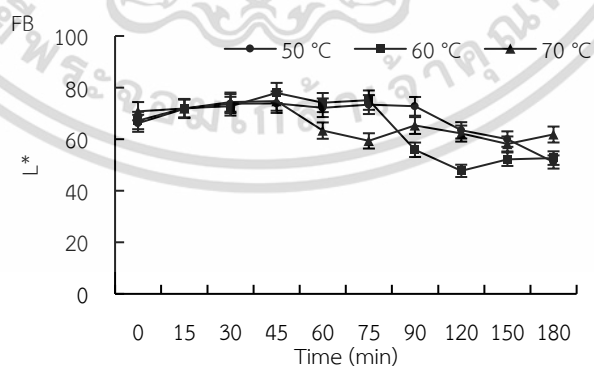
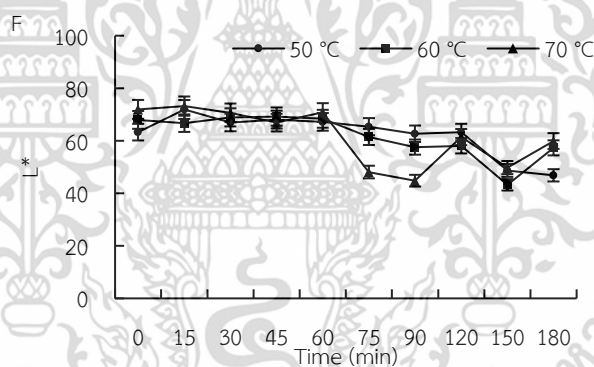
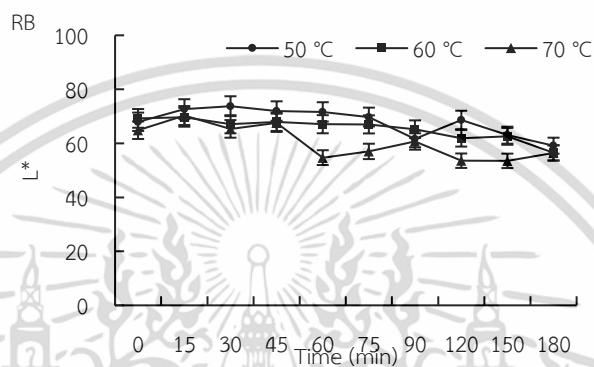
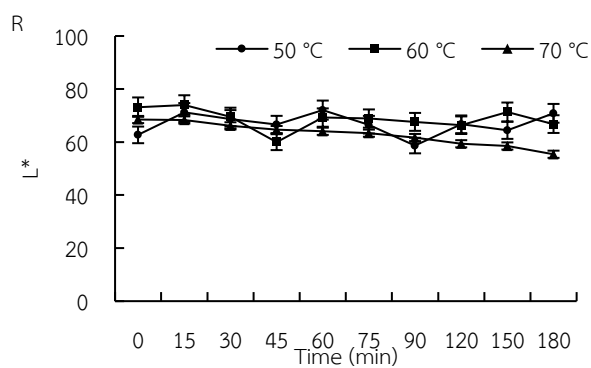
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้ ในบางสภาวะการทดลองนั้นมีช่วงค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้นอกจากสภาวะการทดลองแล้ว คุณลักษณะของหน่อไม้ ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ โดยเฉพาะความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับดังกล่าว โดยในการเตรียมหน่อไม้สด มีการใช้หน่อไม้ ให้ความกว้าง และความหนา เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และกำหนดความยาว 7.5 เซนติเมตร ทั้งนี้วัตถุดิบหน่อไม้ไฟรวกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย ประมาณ 3-4 เซนติเมตร และส่วนลำต้นในบางหน่อมีรูตรงกลาง พื้นที่ผิวของหน่อไม้ที่มาจากบริเวณตรงกลางหน่อมีลักษณะเรียบ ซึ่งแตกต่างจากเนื้อของหน่อไม้ ด้วยลักษณะพื้นที่ผิวของตัวอย่างที่มีความไม่สม่ำเสมอ อาจส่งผลต่อลักษณะการหดตัวของรูปร่าง และความสามารถในการดูดคืนน้ำกลับได้แตกต่างกันบ้าง

การผลิตหน่อไม้อบแห้งช่วยให้สามารถเก็บวัตถุดิบไว้ได้เป็นเวลานาน เมื่อเทียบกับหน่อไม้สด เมื่อเก็บไว้เกิน 3 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านสี กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัส ทั้งนี้หน่อไม้อบแห้งที่ผลิตได้ จะเป็นวัตถุดิบสำคัญในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากหน่อไม้ การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้ จึงให้ความสำคัญกับการพิจารณาสภาวะที่ส่งผลให้หน่อไม้อบแห้งมีความสามารถในการดูดคืนน้ำที่สูง

4.6 ค่าสีของหน่อไม้อบแห้ง

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมที่แตกต่างกัน ค่าความสว่างแสดงดังภาพที่ 4.6 โดยจากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งจะส่งผลให้หน่อไม้อบแห้งมีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลืองมีค่าไม่แตกต่างกัน การอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้หน่อไม้แช่แข็งและหน่อไม้แช่แข็งต้มเมื่ออบแห้งจะมีค่าความสว่างมากที่สุด การอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะทำให้หน่อไม้สดและหน่อไม้ต้ม เมื่ออบแห้งจะมีค่าความสว่างมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการเตรียมพบว่า หน่อไม้ที่ผ่านการต้มจะมีแนวโน้มค่าความสว่างมากกว่าหน่อไม้ที่ไม่ผ่านการต้ม เนื่องจากการต้มเป็นการให้ความร้อน ทำให้ปริมาณของกรดอะมิโนในหน่อไม้ลดลง ซึ่งกรดอะมิโนเป็นสาเหตุหลักในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Madamba, 2003) จึงส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยเมื่อได้รับความร้อนจากการอบแห้ง



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าความสว่างของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆโดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การคัดเลือกสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM)

คัดเลือกอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมของหน่อไม้ สำหรับการเตรียมหน่อไม้อบแห้งโดยใช้วิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ central composite design (CCD) และปัจจัยที่วิเคราะห์มี 2 ปัจจัยคือ เวลาที่ใช้ในการ (0-180 นาที) และ อุณหภูมิ ซึ่งคัดเลือกจากเกณฑ์ของหน่อไม้อบแห้งที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 10-14 % จะทำให้หน่อไม้สามารถเก็บรักษาได้นาน มีอัตราการดูดกลืนน้ำกลับสูงที่สุด มีสีใกล้เคียงกับของสดมากที่สุดคือมีค่าความสว่างสูงที่สุด มีค่าสีแดงน้อยที่สุด และมีค่าสีเหลืองมากที่สุด ซึ่งผลการคัดเลือกสภาวะการอบแห้งของหน่อไม้สด (R) คือใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 63.97 นาที สภาวะการอบแห้งของหน่อไม้ต้ม (RB) คือใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 69.14 นาที สภาวะการอบแห้งของหน่อไม้แช่แข็ง (F) คือใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 71.29 นาที และสภาวะการอบแห้งของหน่อไม้แช่แข็งต้ม (FB) คือใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67.67 นาที จะทำให้หน่อไม้แห้งที่ได้มีคุณลักษณะตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 4.3 การคัดเลือกสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสม จากการทำนายโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) และค่าจริงที่ได้จากการทดลอง

| ตัวอย่าง | อุณหภูมิ (°C) | เวลา (min) | ความชื้น (wet basis) | L* | a* | b* | การหด ตัว (%) | อัตรา การ ดูดกลืน น้ำกลับ |
|----------------|------------------|---------------|----------------------------|-------|------|-------|---------------------|------------------------------------|
| ค่าจากการทำนาย | | | | | | | | |
| F | 50 | 71.29 | 14 | 62.61 | 3.18 | 20.07 | 75.57 | 1 |
| FB | 50 | 67.67 | 14 | 65.06 | 1.18 | 22.74 | 77.86 | 1.74 |
| R | 50 | 63.97 | 14 | 68.77 | 3.66 | 21.1 | 279.88 | 1.92 |
| RB | 50 | 69.14 | 14 | 58.45 | 5.08 | 26.85 | 323.90 | 1.85 |
| ค่าจากการทดลอง | | | | | | | | |
| F | 50 | 71.29 | 8.02 | 58.58 | 6.07 | 23.25 | 367.84 | 1.71 |
| FB | 50 | 67.67 | 12.96 | 65.69 | 1.82 | 20.67 | 420.90 | 1.28 |
| R | 50 | 63.97 | 13.93 | 63.42 | 1.93 | 12.63 | 358.84 | 1.30 |
| RB | 50 | 69.14 | 9.09 | 61.62 | 3.02 | 19.52 | 316.90 | 1.04 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละตัวอย่างจะถูกออกแบบการทดลอง โดยกำหนด 2 factor คือ อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส และเวลา 0-180 นาที ใช้ Alpha face center = 1.0 ได้เป็น 13 การทดลองดังตารางที่ 3.3 และใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกสถานะที่เหมาะสม ตามตารางที่ 3.4

สมการถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ของหน่อไม้อบแห้งที่มีวิธีการเตรียมแตกต่างกัน ใช้สำหรับการทำนายอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่ทำให้หน่อไม้อบแห้งมีคุณลักษณะดีตามเกณฑ์ จากข้อมูลในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.1 ที่วิเคราะห์การส่งผลต่อความชื้นสามารถสรุปได้ว่ามีเพียงหน่อไม้แช่แข็งและหน่อไม้แช่แข็งต้มที่สมการทำนายมีความน่าเชื่อถือ เพราะ Model มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีค่า Lac of fit ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าการหดตัว แสดงดังตารางในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.2 และสามารถสรุปได้ว่ามีเพียงหน่อไม้ต้ม หน่อไม้แช่แข็ง และหน่อไม้แช่แข็งต้ม ที่สมการโมเดลถดถอยมีความน่าเชื่อถือ เพราะ Model มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีค่า Lac of fit ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าอัตราการดูดกลืนน้ำกลับ แสดงดังตารางในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.3 ผลจากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าหน่อไม้จากการเตรียมที่แตกต่างกันทั้ง 4 ชนิด มีสมการโมเดลถดถอยที่น่าเชื่อถือ เพราะ Model มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีค่า Lac of fit ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) แสดงดังตารางในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.4 สามารถสรุปได้ว่ามีเพียงหน่อไม้ต้ม หน่อไม้แช่แข็ง และหน่อไม้แช่แข็งต้ม ที่สมการโมเดลถดถอยมีความน่าเชื่อถือ เพราะ Model มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีค่า Lac of fit ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าสีแดง (a^*) แสดงดังตารางในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.5 สามารถสรุปได้ว่ามีเพียงหน่อไม้ต้ม หน่อไม้แช่แข็ง และหน่อไม้แช่แข็งต้ม ที่สมการโมเดลถดถอยมีความน่าเชื่อถือ เพราะ Model มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีค่า Lac of fit ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

และการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อค่าสีเหลือง (b^*) แสดงดังตารางในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.6 และสามารถสรุปได้ว่ามีเพียงหน่อไม้สด หน่อไม้แช่แข็ง และหน่อไม้แช่แข็งต้ม ที่สมการโมเดลถดถอยมีความน่าเชื่อถือ เพราะ Model มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีค่า Lac of fit ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สมการโมเดลถดถอยที่น่าเชื่อถือบ่งบอกถึงความเหมาะสมในการนำสมการโมเดลถดถอยไปใช้ในการทำนายอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหน่อไม้เพื่อให้มีคุณลักษณะที่ดี

จากภาพที่ 4.7 ที่แสดงสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งมากขึ้น จะส่งผลต่อความชื้นของหน่อไม้อบแห้ง ทำให้มีค่าความชื้นน้อยลงจนเข้าใกล้จุดที่เกณฑ์กำหนดคือ กำหนดให้หน่อไม้อบแห้งที่มีคุณลักษณะที่ดีมีความชื้นต่ำกว่า 14 ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งทั้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่างกันมากนักต่อค่าความชื้นที่ลดลง

ภาพที่ 4.8 อธิบายได้ว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการหดตัวของหน่อไม้ เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งน้อยก็จะส่งผลต่อการหดตัวของหน่อไม้อบแห้งน้อยเช่นเดียวกัน ซึ่งเกณฑ์ในการคัดเลือกหน่อไม้อบแห้งที่ดีควรมีค่าการหดตัวน้อย และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งทั้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่างกันมากนักต่อค่าการหดตัวของหน่อไม้

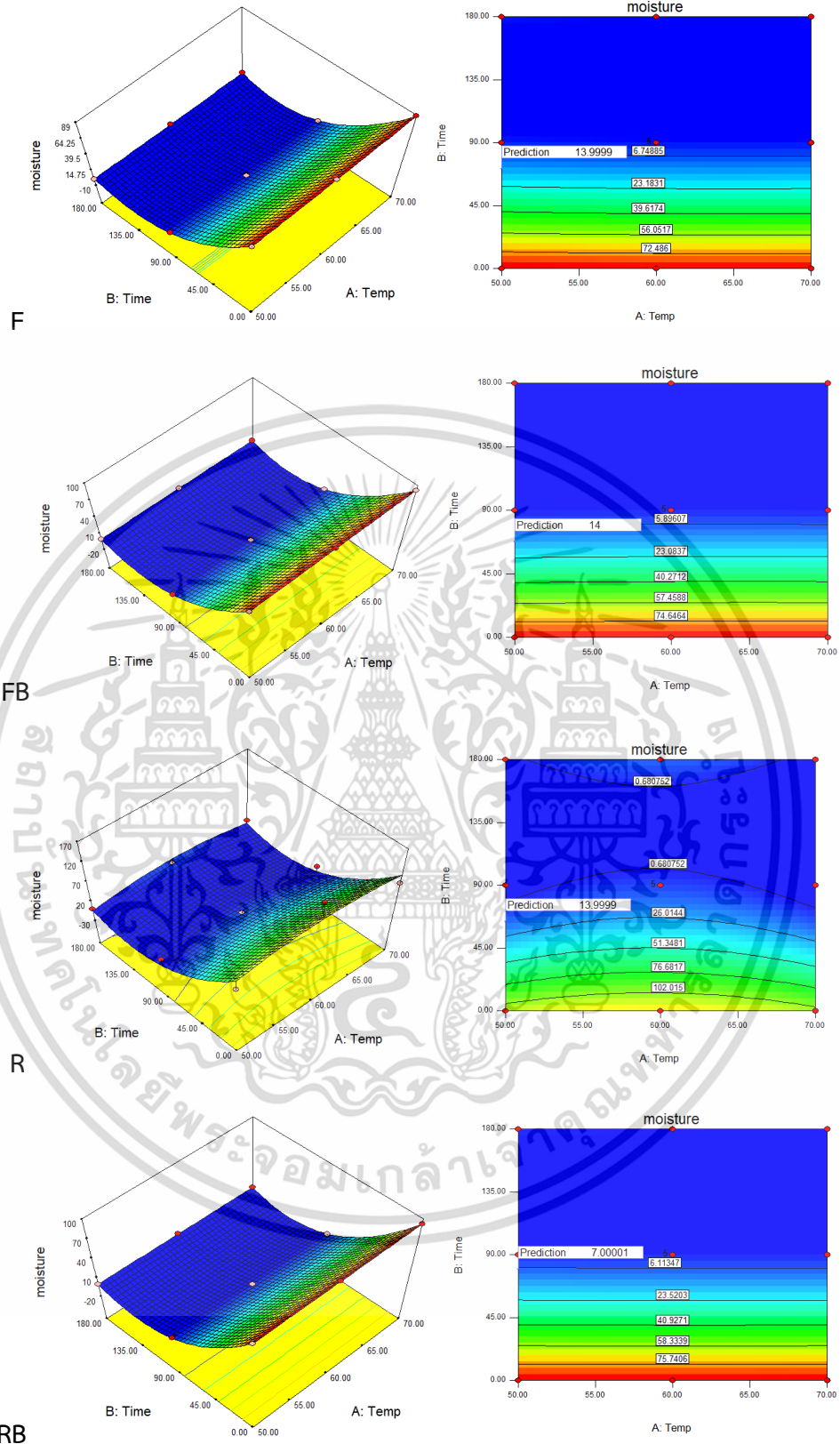
จากภาพที่ 4.9 อธิบายได้ว่าการใช้เวลานานมีผลทำให้หน่อไม้จากการเตรียมทั้ง 4 สภาวะ มีการดูดกลืนน้ำกลับต่ำ เมื่อใช้และใช้เวลาน้อยจะทำให้หน่อไม้อบแห้งมีคุณลักษณะที่ดีคือมีการดูดกลืนน้ำกลับสูง ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งทั้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่างกันมากนักต่อค่าการดูดกลืนน้ำกลับ

จากภาพที่ 4.10 อธิบายได้ว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลร่วมกันต่อค่าความสว่างของหน่อไม้สดอบแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานจะส่งผลให้หน่อไม้อบแห้งมีค่าความสว่างมากที่สุด ถือเป็นคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งที่ดีเนื่องจากมีความสว่างใกล้เคียงกับหน่อไม้สดมากที่สุด

จากภาพที่ 4.11 แสดงได้ว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อค่าสีแดงของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียม หน่อไม้แช่แข็ง หน่อไม้แช่แข็งต้ม และหน่อไม้สด เมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะทำให้มีค่าสีแดงน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ แสดงว่าค่าสีแดงมีค่าใกล้เคียงกับหน่อไม้สดมากที่สุด แต่อุณหภูมิไม่มีผลต่อหน่อไม้สดที่นำไปต้มก่อนนำมาอบแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อค่าสีแดงของหน่อไม้จากการเตรียมทั้ง 4 สภาวะ คือเมื่อใช้เวลาน้อยจะส่งผลให้มีค่าสีแดงน้อย ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งที่ดี

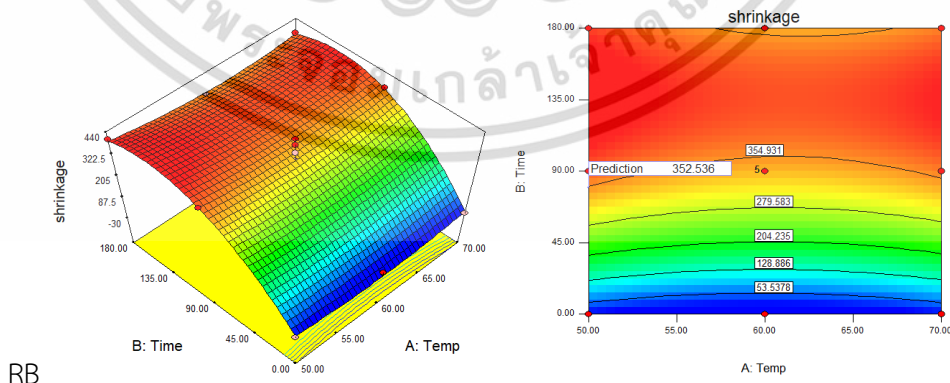
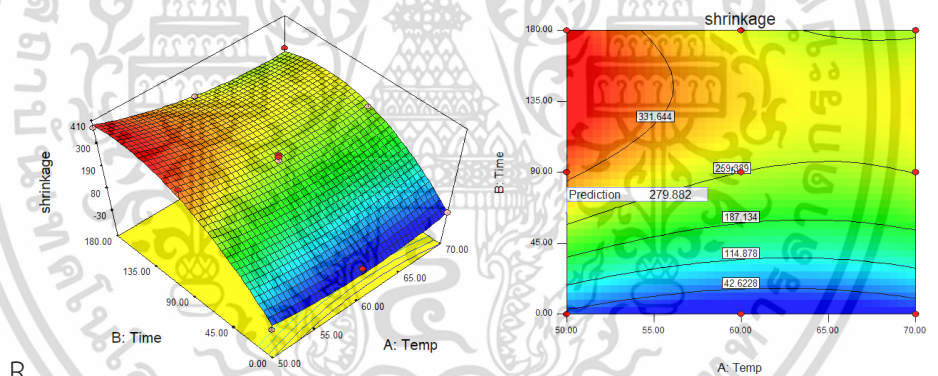
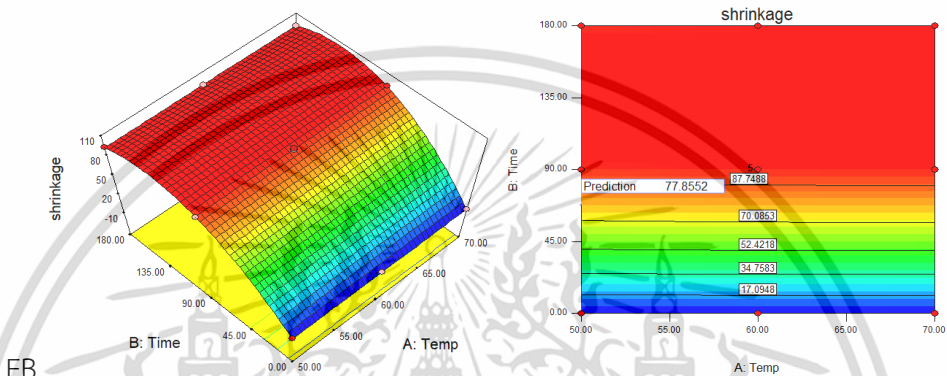
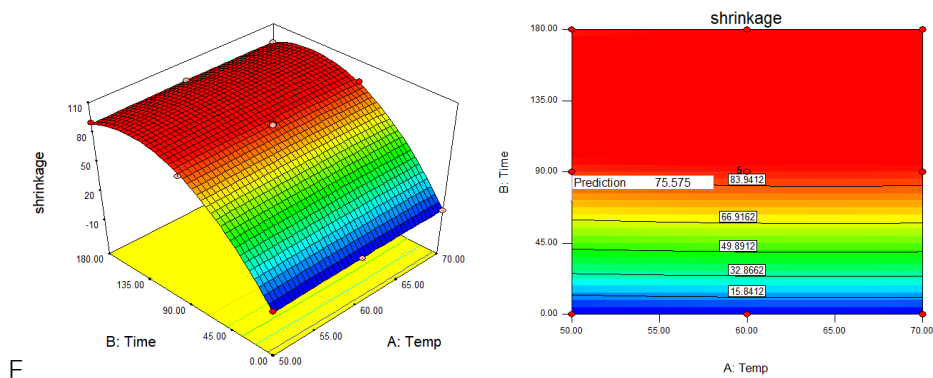
และสุดท้ายจากภาพที่ 4.12 สามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิและเวลามีผลร่วมกันต่อค่าสีเหลืองของหน่อไม้อบแห้ง โดยเกณฑ์คุณลักษณะของหน่อไม้อบแห้งที่ดีคือมีค่าสีเหลืองน้อย ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับหน่อไม้สดมากที่สุด เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งน้อยจะส่งผลต่อหน่อไม้จากการเตรียม หน่อไม้แช่แข็ง หน่อไม้แช่แข็งแล้วนำไปต้ม และหน่อไม้ต้มทำให้มีค่าสีเหลืองน้อย แต่การใช้เวลาในการอบแห้งหน่อไม้สดที่นานขึ้นจะส่งผลให้ค่าสีเหลืองมาก และการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งหน่อไม้แช่แข็งจะทำให้มีค่าสีเหลืองน้อย และการใช้อุณหภูมิกลาง (ประมาณ 60 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้หน่อไม้แช่แข็งแล้วนำไปต้ม และหน่อไม้ต้มมีค่าสีเหลืองน้อย ส่วนหน่อไม้สดเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะทำให้มีค่าสีเหลืองน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



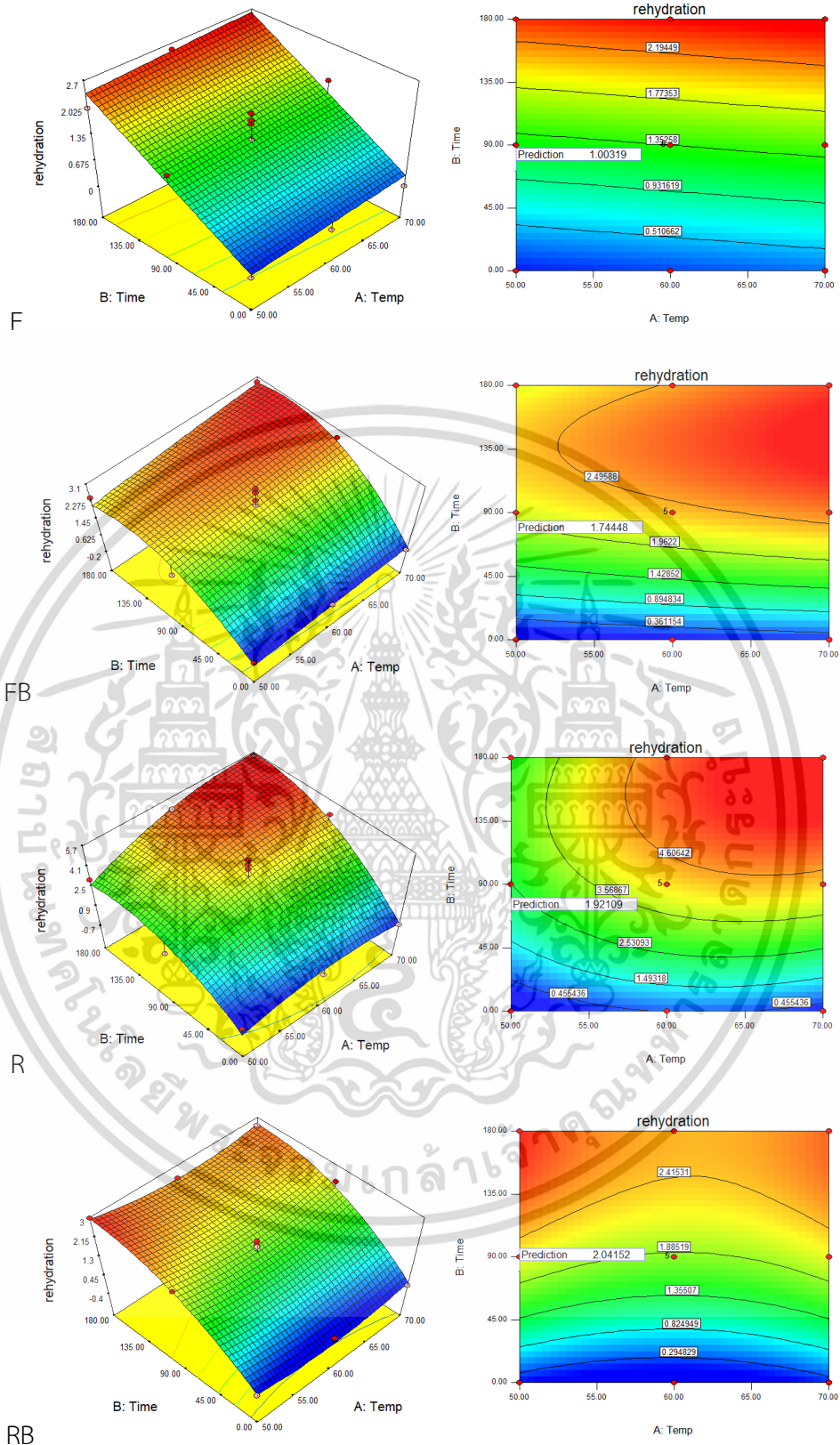
ภาพที่ 4.7 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อตแสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าความชื้นของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆโดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



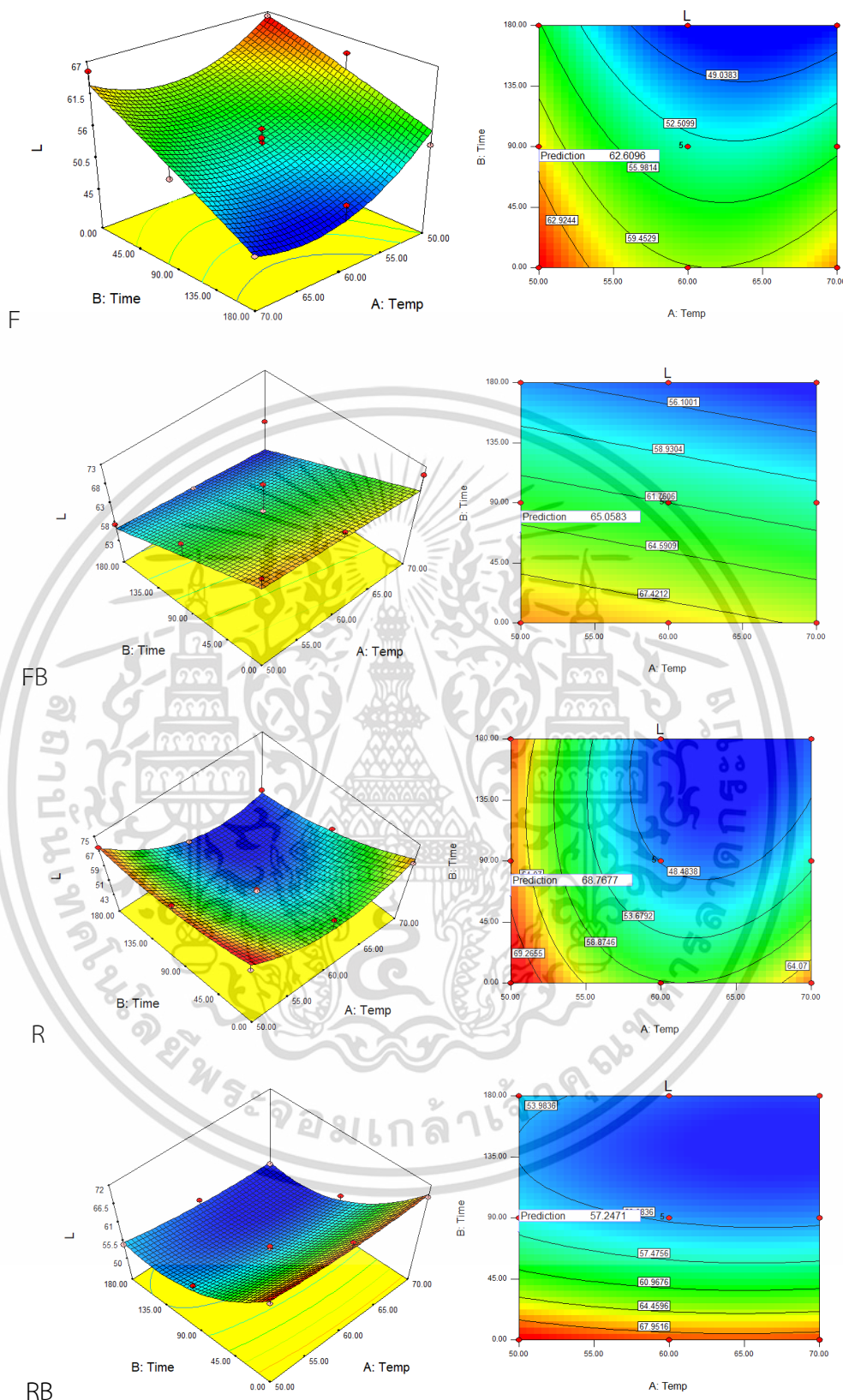
ภาพที่ 4.8 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าการหดตัวของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆโดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



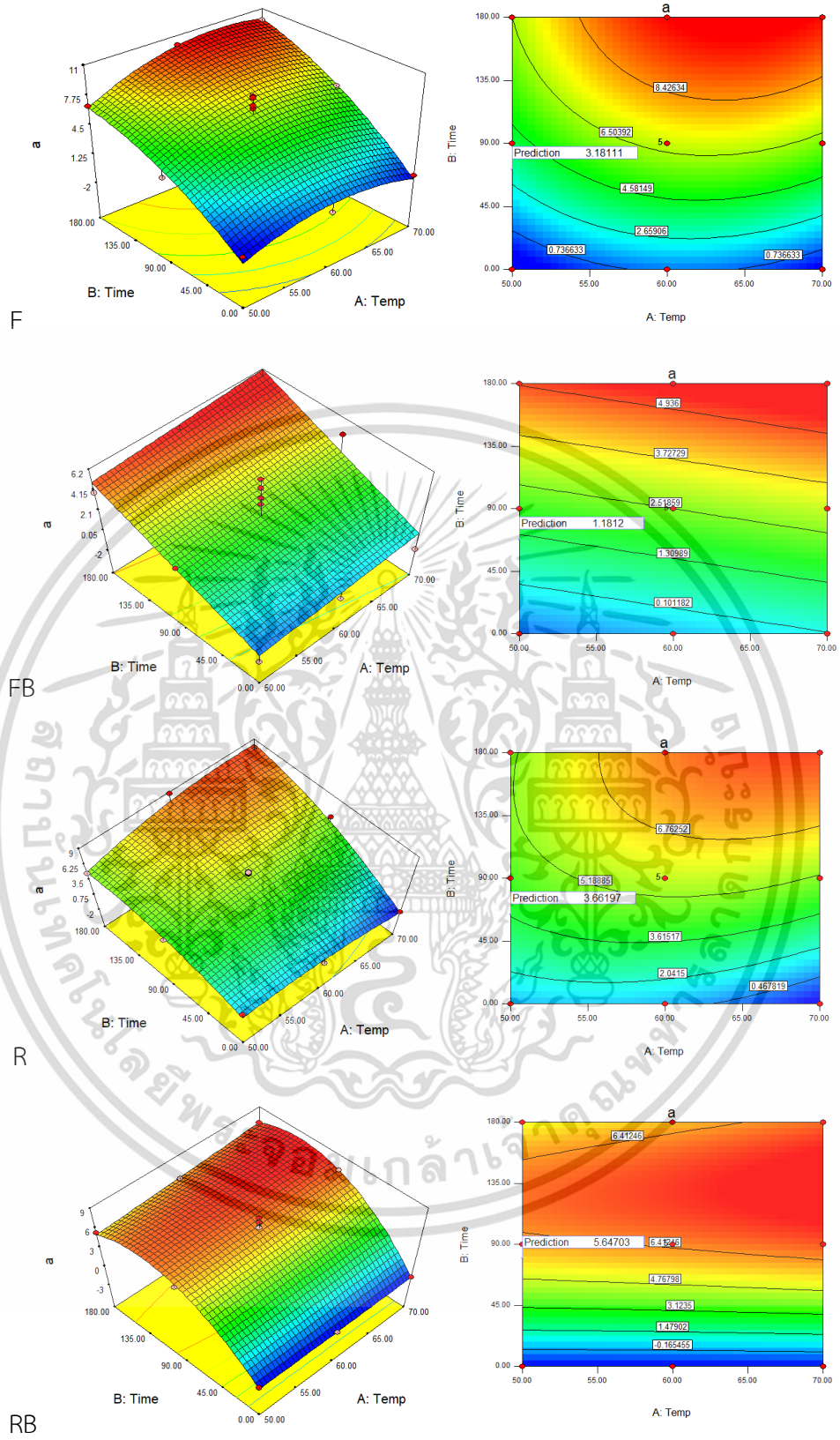
ภาพที่ 4.9 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าการดูดกลืนน้ำกลับของหน่อไม้อบแห้งที่สภาวะต่างๆโดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แชแข็ง และ FB คือ หน่อไม้แชแข็งต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



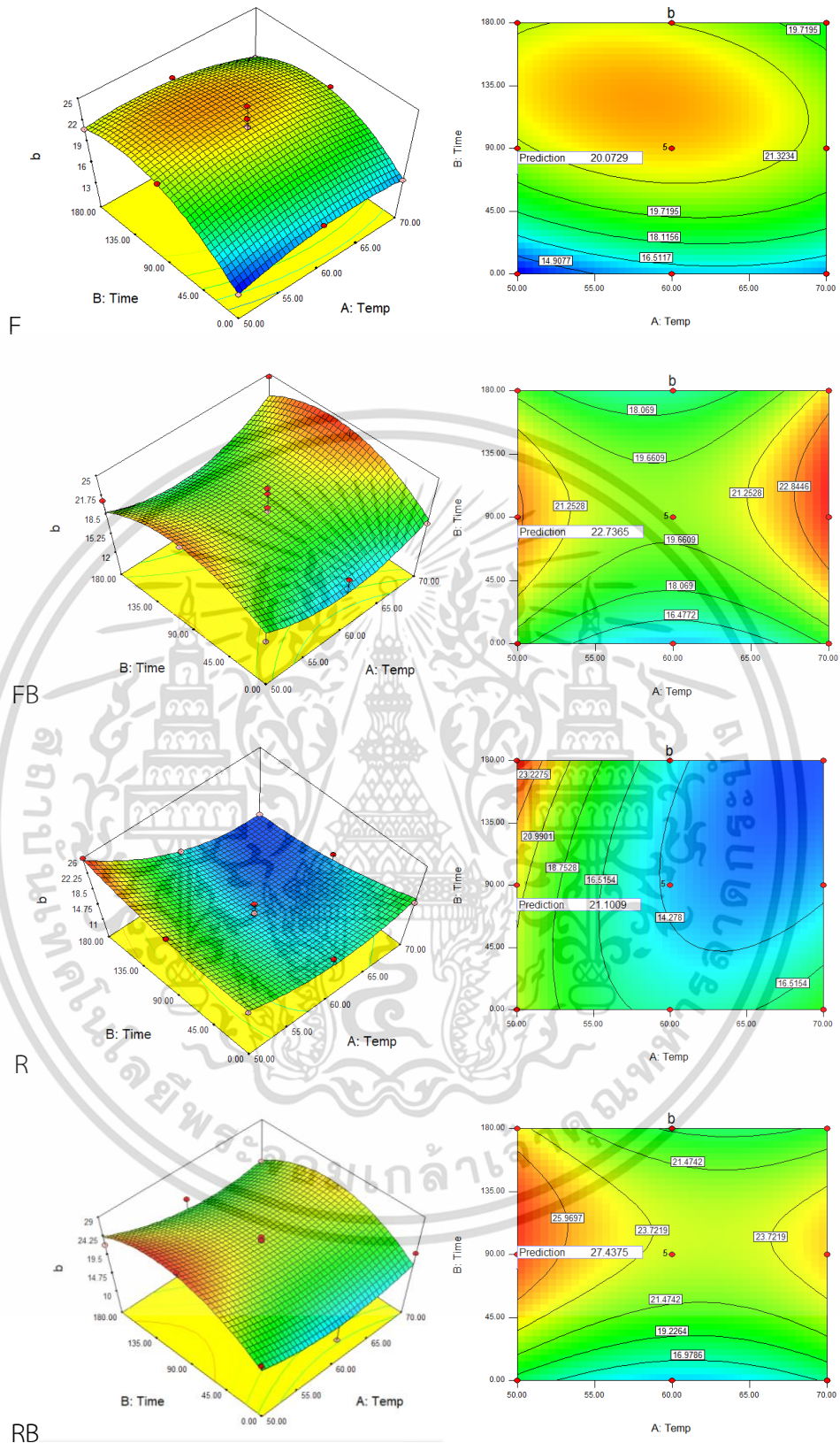
ภาพที่ 4.10 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าความสว่างของหน่อไม้บแห้งที่สภาวะต่างๆโดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้

ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าสีแดงของหน่อไม้บดแห้งที่สภาวะต่างๆโดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม, F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต แสดงผลของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าสีเหลืองของหน่อไม้บดแห้งที่สภาวะต่างๆโดยที่ R คือ หน่อไม้สด, RB คือ หน่อไม้ต้ม,

F คือ หน่อไม้แช่แข็ง และ FB คือ หน่อไม้แช่แข็งต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การผลิตหน่อไม้แห้งทอดกรอบ

มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากหน่อไม้ต้มที่ผ่านการอบแห้ง และนำมาคั่วตัวโดยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาทีก่อนนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและผลคะแนนความชอบโดยรวม โดยทดสอบจากผู้ที่ได้รับการฝึกฝนในการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 40 คน พบว่าสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีคะแนนความชอบโดยรวม 5.9 และ 6.2 คะแนนตามลำดับ ซึ่งยังไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบเนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำกว่า 7 คะแนน จึงมีการพัฒนาสูตรเป็นสูตรที่ 3 ซึ่งได้รับคะแนนความชอบในด้านสี ความกรอบ กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม มากกว่า 7 คะแนนในทุกด้าน จึงเหมาะในการพัฒนาหน่อไม้อบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ โดยมีคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสดังตารางที่ 4.5 และลักษณะของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบดังภาพที่ 4.13

ตารางที่ 4.5 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

| คุณลักษณะที่ทดสอบ | ตัวอย่าง | | |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | สูตร 1 | สูตร 2 | สูตร 3 |
| สี | 7.00 ^b ±1.09 | 6.90 ^b ±1.32 | 7.60 ^a ±1.03 |
| ความกรอบ | 6.90 ^b ±0.82 | 6.80 ^b ±1.11 | 7.70 ^a ±0.85 |
| กลิ่น | 6.80 ^b ±1.20 | 6.00 ^c ±0.95 | 7.40 ^a ±0.81 |
| รสชาติ | 4.30 ^c ±1.18 | 5.60 ^b ±0.71 | 7.60 ^a ±0.64 |
| ความชอบโดยรวม | 5.90 ^c ±0.72 | 6.20 ^b ±0.66 | 7.70 ^a ±0.42 |

a, b: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Duncan Test, $p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.13 ผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้สูตรที่ผ่านการยอมรับทางประสาทสัมผัสแล้ว จึงนำผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบสูตรที่ 3 ไปตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพโดยมีค่าความกรอบ (hardness) และสีประกอบด้วยค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ดังตารางที่ 4.6 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะคงที่ เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีมาตรฐานและสามารถควบคุมได้

ตารางที่ 4.6 การตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ

| คุณลักษณะที่ทดสอบ | ค่าที่วัดได้ |
|------------------------|---------------------|
| ค่าความกรอบ (hardness) | 2047.20±744.20 กรัม |
| ค่าความสว่าง (L^*) | 48.77±3.37 |
| ค่าสีแดง (a^*) | 9.73±0.80 |
| ค่าสีเหลือง (b^*) | 25.42±2.34 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล

จากการศึกษาผลในการเตรียมหน่อไม้ก่อนการนำไปอบแห้งพบว่าหน่อไม้ไผ่รวมมีปริมาณกรดยูริก 35.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง การต้มหน่อไม้ในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาทีมีปริมาณกรดยูริก 8.71 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง ทำให้ปริมาณกรดยูริกลดลงจากกรณีที่ไม่ได้ผ่านการต้มได้มากถึงร้อยละ 75.2 และการต้มหน่อไม้และการแช่แข็งก่อนการนำไปอบแห้งทำให้อัตราการทำแห้งหน่อไม้สูงขึ้น เนื่องจากหน่อไม้ที่ผ่านการต้มและการแช่แข็งถูกทำลายโครงสร้างจากความร้อนและการเกิดเกล็ดน้ำแข็ง ทำให้โครงสร้างหน่อไม้เสียหาย จนทำให้มีการระเหยของน้ำออกไปได้มากกว่าหน่อไม้ที่ไม่ผ่านการต้มและการแช่แข็ง ส่งผลให้หน่อไม้อบแห้งมีความชื้นต่ำกว่า มีการหดตัวมากกว่า และมีอัตราการดูดกลืนน้ำกลับมากกว่าหน่อไม้ที่ไม่ผ่านการต้มและการแช่แข็ง เป็นผลมาจากความชื้นที่ต่ำ เนื่องจากการระเหยน้ำทำให้เกิดรูพรุนภายในโครงสร้าง จึงสามารถดูดกลืนน้ำกลับได้ดี นอกจากนี้จากการทดลองยังสามารถสรุปได้ว่าสมการถดถอยที่ได้จากการทำนายโดยวิธีพื้นที่ผิวสัมพันธ์มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำข้อมูลอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งไปใช้เป็นแนวทางการอบแห้งได้เพื่อให้หน่อไม้อบแห้งมีคุณลักษณะที่ดีคือ มีความชื้นต่ำ การหดตัวต่ำ อัตราการดูดกลืนน้ำกลับสูง มีสีสว่าง ค่าสีแดงต่ำ และค่าสีเหลืองสูง ซึ่งใกล้เคียงกับหน่อไม้สดมากที่สุด และเมื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากถึง 7.7 คะแนน มากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ มีค่าความกรอบ 2047.20 ค่าความสว่าง 48.77 ค่าสีแดง 9.73 และค่าสีเหลือง 25.42 ดังนั้นการศึกษาระบวนการเตรียมหน่อไม้ก่อนการนำไปอบแห้ง สภาพการอบแห้งที่เหมาะสม และการนำพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สามารถนำไปเป็นแนวทางในการแปรรูปหน่อไม้ให้มีมูลค่ามากขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กิตติพงษ์ ห่วงรั้งษ์. 2536. **กระบวนการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นันทวัน เทอดไทย และ สุพิชา กระจ่างเมธีกุล. 2554. “ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง”. หน้า 133-140. **ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิกิพีเดีย. 2561. **หน่อไม้**. [Online]. เข้าถึงได้จาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89>.
- วิกิพีเดีย. 2561. **ไผ่รวก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%81>.
- วิยะดา แก้วกรุด. 2553. **อาหารต้องห้ามสำหรับโรคเก๊าท์**. สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, กรุงเทพฯ
- วีไล รังสาดทอง. 2543. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.
- สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ**. กรุงเทพฯ : ท็อปสำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. 2549. **ไซยาไนด์ Cyanide**. กรุงเทพฯ : สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย, 2549
- สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. 2554. **คลอรีน Chlorine**. กรุงเทพฯ : สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย, 2554
- สุนทรชין ศรีงาม. 2546. **กระบวนการทำแห้งอาหาร**. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ : 164-172.
- สุวรรณณี อธิภาพธรรมกุล, เสกสรร ทองโพธิ์, วีระพร แจ่มศรี, พงศชัย พรหมประสิทธิ์, จิราภา อุณหเลขกะ และปิ่นนรี ชินวรรณวงค์. 2554. การประเมินความเสี่ยงของสารไซยาไนด์จากการบริโภคหน่อไม้ของคนไทย. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์ พ. 53(2): 67-79.**
- อินทิรา ลิจันทรพร และ ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร, 2556, ผลของการจุ่มด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ต่อคุณภาพของลองกองพร้อมบริโภค, **ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556 : 623-629.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Aichayawanich, S., Wongsu, J., Phungamngoen, C. and Parametthanuwat, T., 2018, Degradation Kinetics of Cyanide and Uric acid in Bamboo Shoot during Boiling Process, **Association for Computing Machinery**, 65-70.
- Akonor, P., T., Ofori, H., Dziedzoave, N.T. and Kortei, N.K. 2016. Drying characteristics and physical and nutritional properties of shrimp meat as affected by different traditional drying techniques. **International Journal of Food Science**. 1-5.
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. The Association
- ATSDR. 2010. Toxicological Profile for Chlorine. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta. Georgia. USA.
- Bal, L.M., Kar, A. Satya, S. and Naik, S.N. 2010. Drying kinetics and effective moisture diffusivity of bamboo shoot slices undergoing microwave drying. **International Journal of Food Science & Technology**. 45(11): 2321-2328.
- Bhargava, A. Kumbhare, V., Srivastava, A. and Sahai, A. 1996. Bamboo parts and seeds for additional source of nutrition. **Journal of Food Science and Technology**. 33(2): 146-146.
- Bhat, B.P., Singh, K. and Singh, A. 2005. Nutritional values of some commercial edible bamboo species of the North Eastern Himalayan region. **India Journal Bamboo**. 4(2): 111-124.
- Buchanan, J. M., and Hartman, S. C. (1959). Enzymatic reactions in the synthesis of purines. **Advances in Enzymology**. 21, 199-261.
- Chauhan, O.P., Unni, L.E., Kallepalli, C., Pakalapati, S.R. and Batra, H.V. 2016. Review Paper Bamboo shoots: composition, nutritional value, therapeutic role and product development for value addition. **International Journal of Food Fermentation Technology**. 6(1): 1-12.
- Chen, X.D., Mujumdar, A.S. 2008. **Drying technologies in food processing**. Chichester: Blackwell.
- Curcio, S. and Aversa, M., 2014, Influence of shrinkage on convective drying of fresh vegetables: A theoretical model, **Journal of Food Engineering**. 123: 36-49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DrugBank. **Uric acid**. [Online]. Available: <https://www.drugbank.ca/drugs/DB08844>.

2021

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

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

Greve, I.C., McArdle, R.N., Gohlke, J.R., Labavitch, J.M., 1994, Impact of heating on carrot firmness: changes in cell wall components, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 42: 2900-2906.

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

Hafez, R. M., Abdel-Rahman, T. M. and Naguib, R.M., 2017, Uric acid in plants and microorganisms: Biological applications and genetics – A review, **Journal of Advanced Research**. 8: 475 - 486.

Halevi, S. **Various food types and their purine content**. AcuMedico, Chinese medicine articles [Online]. Available: <http://www.acumedico.com/purine.htm>. 2018

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

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

Kusalaruk, W., Limsangouan, N., 2015, Nutrition and nutraceutical of *Bambusa burmanica* Gamble and *Thysostachys siamensis* Gamble shoots, **Thai Agricultural Research Journal**. 33 (2): 169-178.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lea, C. 1958. Fundamental Aspects of the Dehydration of Food stuffs, **Society of Chemical Industry**, 178-196.
- Li, Q., Qiu, H. and Yang, Y. 2002. The dloping situation and counter easure of freeze drying food in China. **Journal Guangxi University (Natural Science Edition)**, 27: 21-24.
- Liu, D., Yun, Y., Yang, D., Hu, X., Dong, X., Zhang, N., Zhang, L., Yin, H and Duan, W. 2019. What is the biological function of uric acid? an antioxidant for neural protection or a biomarker for cell death. **Disease Markers**. 2019: 1-9.
- Lv, H., Chen, X., Liu, X., Fang, C., Liu, H., Zhang, B. and Fei, B. 2018. The vacuum-assisted microwave drying of round bamboos: Drying kinetics, color and mechanical property. **Materials Letters**. 223: 159-162.
- Madamba, P.S., 2003, Physical changes in bamboo (*Bambusa phyllostachys*) shoot during hot air drying: shrinkage, density, and porosity. **Drying Technology**. 21: 555-568.
- Muchtadi, T.R. and Adawiyah, D.R. 1996. Bamboo shoot drying technology. In P.M. Ganapathy, J.A. Janssen and C.B. Sastry (Eds.), **Engineering and Utilization**: 239-245.
- Mujumdar, A.S. 2000. **Drying technology in agriculture and food sciences**. Enfield, NH: Science.
- Niamnuy, C., Devahastin, S., Soponronnarit, S. 2007. Effects of process parameters on quality changes of shrimp during drying in a jet-spouted bed dryer. **Journal of Food Science**. 72: 553-563.
- Panyawong, S. and Devahastin, S. 2007. Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions via evolution of a shape factor. **Journal of Food Engineering**. 78: 151-161.
- Queentasari, D., Donlao, N., Fuggate, P. and Ahza, A.B., 2013, Effects of pretreatment and drying Temperature on quality of dried Bamboo Shoots, **Agricultural Science Journal**. 44 (2): 41-44.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rashika, E.R. and Hatem, T. 2017. Physiological functions and pathogenic potential of uric acid: A review. **Journal of Advance Research**. 8: 487- 493.
- Rojas, M.L., Silveira, I. and Augusto, P.E.D, 2020, Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin, **Food and Bioproducts Processing**. 119:20-30.
- Santosh, O., Bajwa, K., Bisht, M.S. and Nirmala, C. 2011. Bamboo shoot for food fortification: analysis of nutrients and bioactive compounds in juvenile shoot of two bamboo species. **Development of Economies Through Innovation & Sustainable Growth: Vision 2020**.
- Satya, S., Bal, L.M., Singhal, P. and Naik. S.N. 2010. Bamboo shoot processing: food quality and safety aspect (a review). **Trends in Food Science and Technology**. 21: 181-189.
- Silva, M.F., Menis-Henrique, M.E.C., Felisherto, M.H.F., Goldbeck, R. and Clerici, M.T.P.S., 2020, Bamboo as an eco-friendly material for food and biotechnology industries, **Current Opinion in Food Science**. 33: 124-130.
- Sood, S., Walia, S., Gupta, M. and Sood, A. 2013. Nutritional characterization of shoots and other edible products of an edible bamboo. **Current Research Nutrition Food Science**. 2(4): 257-261.
- Toxnet. **Chlorine**. National Institute of Health. Department of Health and Human Services. [Online]. Available: <http://toxnet.nlm.nih.gov>. 2021
- Tripathi, Y.C. 1998. Food and nutrition potential of bamboo. **MFP-News**. 8(1): 10-11.
- US-EPA. 2012. **Sodium hypochlorite for use as a disinfectant, sanitizer, or for microorganism control**. In: U.S.E.P. agency, editor Office of chemical safety and pollution prevention, Washington, DC. p. 21
- Vamosvigyazo, L., 1981, Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 15: 49-127.
- Vega- Galvez, A., Miranda, M., Claveria, R., Quispe, I., Vergara, J., Uribe, E., Paez, H. and Di Scala, K. 2011. Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). **LWT-Food Science and Technology**. 44:16-23.

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

Yang H., Zhou C., Wu F. and Cheng J. 2010. Effect of nitric oxide on browning and lignification of peeled bamboo shoots. **Postharvest Biology and Technology** 57(1): 72-76.

Zheng, J., Zhang, F., Song, J., Lin, M and Kan, J., 2013, Effect of blanching and drying treatments on quality of bamboo shoot slices, **International Journal of Food Science and Technology**. 2013. 49: 531-540.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
แผนภาพการเตรียมหน้าไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า



ปอกเปลือก จุ่มฆ่าเชื้อโรคในสารละลายไฮเปอร์คลอไรต์เข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วนเป็นเวลา 2 นาที



ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 8-12 ชั่วโมง



เก็บในถุงสุญญากาศ

ใช้ในการเตรียมหน่อไม้สด

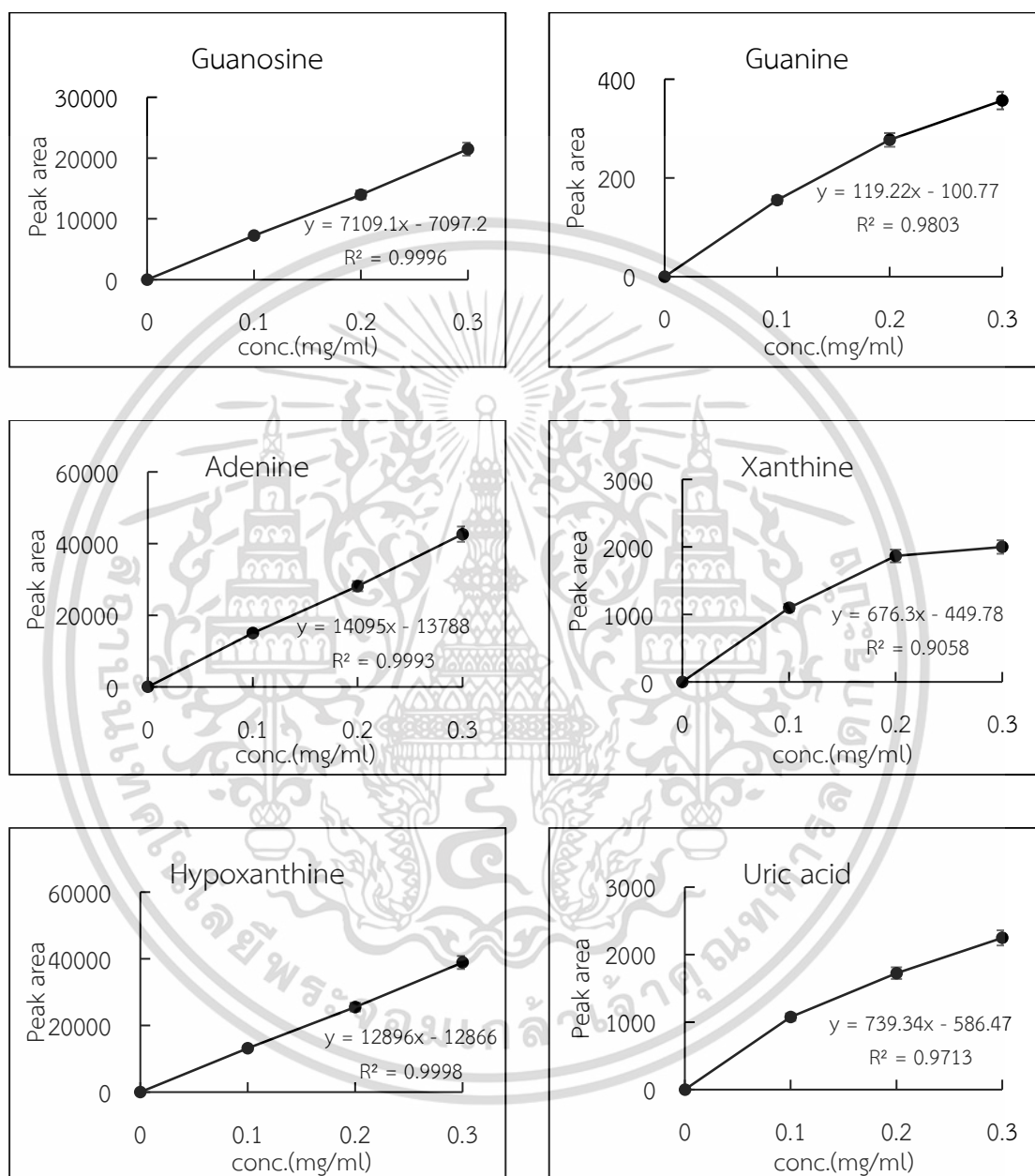
ใช้ในการเตรียมหน่อไม้แช่แข็ง

แช่แข็งโดยใช้ air blast ที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพกราฟมาตรฐานสารละลายพิวรีนและกรดยูริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอย
ของหน่วยฝึกอบรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้บ่มแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าความชื้น

| | Source | Sum of square | degree of freedom | mean square | F-value | p-value | Significant |
|---|-------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|----------|----------|-----------------|
| F | Model | 17239.91 | 5 | 3447.98 | 5747.78 | 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 2.77 | 1 | 2.77 | 4.62 | 0.0688 | |
| | Time (X ₂) | 11417.17 | 1 | 11417.17 | 19032.39 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.0007 | 1 | 0.0007 | 0.0012 | 0.9736 | |
| | Error | 4.20 | 7 | 0.60 | | | |
| | Lac of fit | 2.33 | 3 | 0.78 | 1.66 | 0.3119 | not significant |
| | Pure error | 1.87 | 4 | 0.47 | | | |
| | Total | 17244.11 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9998, Adj R-Squared = 0.9996 | | | | | | | |
| FB | Model | 19138.36 | 5 | 3827.67 | 22087.90 | < 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 0.16 | 1 | 0.16 | 0.91 | 0.3722 | |
| | Time (X ₂) | 12476.78 | 1 | 12476.78 | 71998.30 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.47 | 1 | 0.47 | 2.69 | 0.1450 | |
| | Error | 1.21 | 7 | 0.17 | | | |
| | Lac of fit | 0.89 | 3 | 0.30 | 3.60 | 0.1238 | not significant |
| | Pure error | 0.33 | 4 | 0.082 | | | |
| | Total | 19139.57 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9999, Adj R-Squared = 0.9999 | | | | | | | |
| R | Model | 30814.55 | 5 | 6162.91 | 12.90 | 0.0020 | significant |
| | Temp (X ₁) | 19.78 | 1 | 19.78 | 0.041 | 0.8445 | |
| | Time (X ₂) | 19852.09 | 1 | 19852.09 | 41.55 | 0.0004 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.69 | 1 | 0.69 | 0.001 | 0.9707 | |
| | Error | 3344.62 | 7 | 477.80 | | | |
| | Lac of fit | 3344.44 | 3 | 1114.81 | 24713.20 | < 0.0001 | significant |
| | Pure error | 0.18 | 4 | 0.045 | | | |
| | Total | 34159.17 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9021, Adj R-Squared = 0.8321 | | | | | | | |
| RB | Model | 19713.28 | 5 | 3942.66 | 11277.68 | < 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 0.38 | 1 | 0.38 | 1.09 | 0.3313 | |
| | Time (X ₂) | 12885.39 | 1 | 12885.39 | 36857.73 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.45 | 1 | 0.45 | 1.29 | 0.2938 | |
| | Error | 2.45 | 7 | 0.35 | | | |
| | Lac of fit | 2.45 | 3 | 0.82 | 3559.00 | < 0.0001 | significant |
| | Pure error | 0.0009 | 4 | 0.0002 | | | |
| | Total | 19715.72 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9999, Adj R-Squared = 0.9998 | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากหน่อไม้บ่มแห้ง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้บ่มแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าการหดตัว

| | Source | Sum of square | degree of freedom | mean square | F-value | p-value | Significant |
|---|-------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|----------|----------|-----------------|
| F | Model | 17239.91 | 5 | 3447.98 | 5747.78 | 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 4.73 | 1 | 4.73 | 2.20 | 0.1818 | |
| | Time (X ₂) | 12368.91 | 1 | 12368.91 | 5739.76 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.001 | 1 | 0.001 | 0.0006 | 0.9812 | |
| | Error | 4.20 | 7 | 0.60 | | | |
| | Lac of fit | 2.33 | 3 | 0.78 | 1.66 | 0.3119 | not significant |
| | Pure error | 1.87 | 4 | 0.47 | | | |
| | Total | 17244.11 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9992, Adj R-Squared = 0.9986 | | | | | | | |
| FB | Model | 20106.17 | 5 | 4021.23 | 5096.77 | < 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 1.82 | 1 | 1.82 | 2.30 | 0.1728 | |
| | Time (X ₂) | 13204.16 | 1 | 13204.16 | 16735.79 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.047 | 1 | 0.047 | 0.060 | 0.8137 | |
| | Error | 5.52 | 7 | 0.79 | | | |
| | Lac of fit | 3.27 | 3 | 1.09 | 1.94 | 0.2652 | not significant |
| | Pure error | 2.25 | 4 | 0.56 | | | |
| | Total | 20111.69 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9997, Adj R-Squared = 0.9995 | | | | | | | |
| R | Model | 204500 | 5 | 40896.40 | 62.49 | < 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 10197.83 | 1 | 10197.83 | 15.58 | 0.0056 | |
| | Time (X ₂) | 141100 | 1 | 141100 | 215.58 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 2968.74 | 1 | 2968.74 | 4.54 | 0.0707 | |
| | Error | 4581.36 | 7 | 654.48 | | | |
| | Lac of fit | 4015.31 | 3 | 1338.44 | 9.46 | 0.0274 | significant |
| | Pure error | 566.06 | 4 | 141.51 | | | |
| | Total | 209100 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9781, Adj R-Squared = 0.9624 | | | | | | | |
| RB | Model | 293600 | 5 | 58718.01 | 29.95 | 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 264.46 | 1 | 264.46 | 0.13 | 0.7243 | |
| | Time (X ₂) | 205100 | 1 | 205100 | 104.59 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 246.34 | 1 | 246.34 | 0.13 | 0.7334 | |
| | Error | 13725.78 | 7 | 1960.83 | | | |
| | Lac of fit | 1074.47 | 3 | 358.16 | 0.11 | 0.9478 | not significant |
| | Pure error | 12651.31 | 4 | 3162.83 | | | |
| | Total | 307300 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9553, Adj R-Squared = 0.9234 | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบได้ตรวจพบการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้บ่มแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าอัตราการดูดกลืนน้ำกลับ

| | Source | Sum of square | degree of freedom | mean square | F-value | p-value | Significant |
|---|-------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|---------|----------|-----------------|
| F | Model | 17239.91 | 5 | 3447.98 | 5747.78 | 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 0.072 | 1 | 0.072 | 0.62 | 0.4487 | |
| | Time (X ₂) | 7.98 | 1 | 7.98 | 68.80 | < 0.0001 | |
| | Error | 4.20 | 7 | 0.60 | | | |
| | Lac of fit | 2.33 | 3 | 0.78 | 1.66 | 0.3119 | not significant |
| | Pure error | 1.87 | 4 | 0.47 | | | |
| | Total | 17244.11 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.8741, Adj R-Squared = 0.8489 | | | | | | | |
| FB | Model | 13.99 | 5 | 2.80 | 16.38 | 0.0010 | significant |
| | Temp (X ₁) | 0.41 | 1 | 0.41 | 2.38 | 0.1668 | |
| | Time (X ₂) | 9.43 | 1 | 9.43 | 55.22 | 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.038 | 1 | 0.038 | 0.22 | 0.6506 | |
| | Error | 1.20 | 7 | 0.17 | | | |
| | Lac of fit | 0.62 | 3 | 0.21 | 1.42 | 0.3611 | not significant |
| | Pure error | 0.58 | 4 | 0.14 | | | |
| | Total | 15.18 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9213, Adj R-Squared = 0.8650 | | | | | | | |
| R | Model | 46.76 | 5 | 9.35 | 21.94 | 0.0004 | significant |
| | Temp (X ₁) | 4.81 | 1 | 4.81 | 11.28 | 0.0121 | |
| | Time (X ₂) | 29.47 | 1 | 29.47 | 69.14 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 1.26 | 1 | 1.26 | 2.95 | 0.1293 | |
| | Error | 2.98 | 7 | 0.43 | | | |
| | Lac of fit | 1.98 | 3 | 0.66 | 2.62 | 0.1872 | not significant |
| | Pure error | 1.01 | 4 | 0.25 | | | |
| | Total | 49.74 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9400, Adj R-Squared = 0.8972 | | | | | | | |
| RB | Model | 12.57 | 5 | 2.51 | 62.89 | < 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 0.005 | 1 | 0.005 | 0.13 | 0.7285 | |
| | Time (X ₂) | 11.14 | 1 | 11.14 | 278.62 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.022 | 1 | 0.022 | 0.54 | 0.4849 | |
| | Error | 0.28 | 7 | 0.040 | | | |
| | Lac of fit | 0.15 | 3 | 0.049 | 1.50 | 0.3428 | not significant |
| | Pure error | 0.13 | 4 | 0.033 | | | |
| | Total | 12.85 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9782, Adj R-Squared = 0.9627 | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้อบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าความสว่าง (L*)

| | Source | Sum of square | degree of freedom | mean square | F-value | p-value | Significant |
|---|-------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|---------|----------|-----------------|
| F | Model | 17239.91 | 5 | 3447.98 | 5747.78 | 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 56.91 | 1 | 56.91 | 6.84 | 0.0346 | |
| | Time (X ₂) | 254.78 | 1 | 254.78 | 30.62 | 0.0009 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 8.42 | 1 | 8.42 | 1.01 | 0.3478 | |
| | Error | 4.20 | 7 | 0.60 | | | |
| | Lac of fit | 2.33 | 3 | 0.78 | 1.66 | 0.3119 | not significant |
| | Pure error | 1.87 | 4 | 0.47 | | | |
| | Total | 17244.11 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.8740, Adj R-Squared = 0.7840 | | | | | | | |
| FB | Model | 301.27 | 2 | 150.63 | 4.91 | 0.0326 | significant |
| | Temp (X ₁) | 15.06 | 1 | 15.06 | 0.49 | 0.4994 | |
| | Time (X ₂) | 286.21 | 1 | 286.21 | 9.34 | 0.0121 | |
| | Error | 306.57 | 10 | 30.66 | | | |
| | Lac of fit | 152.82 | 6 | 25.47 | 0.66 | 0.6898 | not significant |
| | Pure error | 153.75 | 4 | 38.44 | | | |
| | Total | 607.84 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.4956, Adj R-Squared = 0.3948 | | | | | | | |
| R | Model | 1291.89 | 5 | 258.38 | 26.33 | 0.0002 | significant |
| | Temp (X ₁) | 330.21 | 1 | 330.21 | 33.65 | 0.0007 | |
| | Time (X ₂) | 258.92 | 1 | 258.92 | 26.39 | 0.0013 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 64.55 | 1 | 64.55 | 6.58 | 0.0373 | |
| | Error | 68.69 | 7 | 9.81 | | | |
| | Lac of fit | 66.02 | 3 | 22.01 | 32.97 | 0.0028 | significant |
| | Pure error | 2.67 | 4 | 0.67 | | | |
| | Total | 1360.58 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9495, Adj R-Squared = 0.9135 | | | | | | | |
| RB | Model | 639.18 | 5 | 127.84 | 51.16 | < 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 11.78 | 1 | 11.78 | 4.71 | 0.0665 | |
| | Time (X ₂) | 440.76 | 1 | 440.76 | 176.40 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.76 | 1 | 0.76 | 0.30 | 0.5992 | |
| | Error | 17.49 | 7 | 2.50 | | | |
| | Lac of fit | 13.58 | 3 | 4.53 | 4.63 | 0.0863 | not significant |
| | Pure error | 3.91 | 4 | 0.98 | | | |
| | Total | 656.67 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9734, Adj R-Squared = 0.9543 | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้บอบแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าสีแดง (a*)

| | Source | Sum of square | degree of freedom | mean square | F-value | p-value | Significant |
|---|-------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|---------|----------|-----------------|
| F | Model | 152.61 | 5 | 30.52 | 23.19 | 0.0003 | significant |
| | Temp (X ₁) | 6.16 | 1 | 6.16 | 4.68 | 0.0673 | |
| | Time (X ₂) | 122.30 | 1 | 122.30 | 92.93 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 1.84 | 1 | 1.84 | 1.40 | 0.2761 | |
| | Error | 9.21 | 7 | 1.32 | | | |
| | Lac of fit | 2.62 | 3 | 0.87 | 0.53 | 0.6848 | not significant |
| | Pure error | 6.59 | 4 | 1.65 | | | |
| | Total | 161.82 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9431, Adj R-Squared = 0.9024 | | | | | | | |
| FB | Model | 57.63 | 2 | 28.81 | 10.97 | 0.0030 | significant |
| | Temp (X ₁) | 2.03 | 1 | 2.03 | 0.77 | 0.3995 | |
| | Time (X ₂) | 55.59 | 1 | 55.59 | 21.17 | 0.0010 | |
| | Error | 26.26 | 10 | 2.63 | | | |
| | Lac of fit | 15.84 | 6 | 2.64 | 1.01 | 0.5196 | not significant |
| | Pure error | 10.43 | 4 | 2.61 | | | |
| | Total | 83.89 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.6869, Adj R-Squared = 0.6243 | | | | | | | |
| R | Model | 90.22 | 5 | 18.04 | 27.68 | 0.0002 | significant |
| | Temp (X ₁) | 0.68 | 1 | 0.68 | 1.04 | 0.3418 | |
| | Time (X ₂) | 69.12 | 1 | 69.12 | 106.03 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 6.90 | 1 | 6.90 | 10.59 | 0.0140 | |
| | Error | 4.56 | 7 | 0.65 | | | |
| | Lac of fit | 4.44 | 3 | 1.48 | 46.27 | 0.0015 | significant |
| | Pure error | 0.13 | 4 | 0.032 | | | |
| | Total | 94.79 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9519, Adj R-Squared = 0.9175 | | | | | | | |
| RB | Model | 155.52 | 5 | 31.10 | 104.98 | < 0.0001 | significant |
| | Temp (X ₁) | 1.23 | 1 | 1.23 | 4.17 | 0.0806 | |
| | Time (X ₂) | 91.01 | 1 | 91.01 | 307.18 | < 0.0001 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 0.62 | 1 | 0.62 | 2.08 | 0.1925 | |
| | Error | 2.07 | 7 | 0.30 | | | |
| | Lac of fit | 0.48 | 3 | 0.16 | 0.40 | 0.7607 | not significant |
| | Pure error | 1.59 | 4 | 0.40 | | | |
| | Total | 157.59 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9868, Adj R-Squared = 0.9774 | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของหน่อไม้บ่มแห้งจากการเตรียมต่างวิธีที่มีต่อค่าสีเหลือง (b*)

| | Source | Sum of square | degree of freedom | mean square | F-value | p-value | Significant |
|---|-------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|---------|---------|-----------------|
| F | Model | 120.87 | 5 | 24.17 | 13.14 | 0.0019 | significant |
| | Temp (X ₁) | 0.11 | 1 | 0.11 | 0.060 | 0.8129 | |
| | Time (X ₂) | 46.33 | 1 | 46.33 | 25.18 | 0.0015 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 4.67 | 1 | 4.67 | 2.54 | 0.1553 | |
| | Error | 12.88 | 7 | 1.84 | | | |
| | Lac of fit | 0.24 | 3 | 0.081 | 0.026 | 0.9936 | not significant |
| | Pure error | 12.64 | 4 | 3.16 | | | |
| | Total | 133.75 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.9037, Adj R-Squared = 0.8349 | | | | | | | |
| FB | Model | 71.25 | 5 | 14.25 | 1.46 | 0.3116 | not significant |
| | Temp (X ₁) | 2.13 | 1 | 2.13 | 0.22 | 0.6540 | |
| | Time (X ₂) | 6.11 | 1 | 6.11 | 0.63 | 0.4542 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 1.99 | 1 | 1.99 | 0.20 | 0.6647 | |
| | Error | 68.15 | 7 | 9.74 | | | |
| | Lac of fit | 45.82 | 3 | 15.27 | 2.74 | 0.1778 | not significant |
| | Pure error | 22.33 | 4 | 5.58 | | | |
| | Total | 139.40 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.5111, Adj R-Squared = 0.1619 | | | | | | | |
| R | Model | 190.44 | 5 | 38.09 | 8.75 | 0.0064 | significant |
| | Temp (X ₁) | 92.15 | 1 | 92.15 | 21.16 | 0.0025 | |
| | Time (X ₂) | 1.35 | 1 | 1.35 | 0.31 | 0.5947 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 30.79 | 1 | 30.79 | 7.07 | 0.0325 | |
| | Error | 30.48 | 7 | 4.35 | | | |
| | Lac of fit | 7.18 | 3 | 2.39 | 0.41 | 0.7548 | not significant |
| | Pure error | 23.31 | 4 | 5.83 | | | |
| | Total | 220.92 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.8620, Adj R-Squared = 0.7635 | | | | | | | |
| RB | Model | 158.06 | 5 | 31.61 | 4.74 | 0.0328 | significant |
| | Temp (X ₁) | 12.73 | 1 | 12.73 | 1.91 | 0.2096 | |
| | Time (X ₂) | 26.87 | 1 | 26.87 | 4.03 | 0.0847 | |
| | (X ₁) (X ₂) | 3.11 | 1 | 3.11 | 0.47 | 0.5169 | |
| | Error | 46.69 | 7 | 6.67 | | | |
| | Lac of fit | 45.86 | 3 | 15.29 | 73.81 | 0.0006 | significant |
| | Pure error | 0.83 | 4 | 0.21 | | | |
| | Total | 204.75 | 12 | | | | |
| Coefficient of determination R-Squared = 0.7720, Adj R-Squared = 0.6091 | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อผู้ดูแลระบบได้รับแจ้งให้ลบเอกสารนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ

สูตรที่ 1

| | |
|--|------|
| - แป้งทอดกรอบอบเนกประสงค์ (ตราอังเคลิลบาร์นส์) | 98% |
| - น้ำตาล | 1% |
| - เกลือป่น | 0.5% |
| - ผงปรุงรสหมู | 0.5% |

สูตรที่ 2

| | |
|--|-----|
| - แป้งทอดกรอบอบเนกประสงค์ (ตราอังเคลิลบาร์นส์) | 95% |
| - น้ำตาล | 2% |
| - เกลือป่น | 1% |
| - ผงปรุงรสหมู | 2% |

สูตรที่ 3

| | |
|--|------|
| - แป้งทอดกรอบอบเนกประสงค์ (ตราอังเคลิลบาร์นส์) | 94% |
| - น้ำตาล | 3% |
| - เกลือป่น | 0.5% |
| - ผงปรุงรสหมู | 2.5% |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส
ของผลิตภัณฑ์หน่อไม้แห้งทอดกรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสอบถามวิธีการให้คะแนนความชอบ

ผลิตภัณฑ์ _____

วันที่ _____

เพศ หญิง ชาย อายุ _____

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่าง ให้คะแนนความชอบตามที่ท่านรู้สึกให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง (กรุณา
 บ้วนปากก่อนทดสอบทุกครั้ง)

สเกลความชอบ 1 = ชอบน้อยที่สุด ไปยัง 9 = ชอบมากที่สุด

| ปัจจัยคุณภาพ | ตัวอย่าง | ตัวอย่าง | ตัวอย่าง |
|--------------|----------------|----------------|----------------|
| ลักษณะปรากฏ | | | |
| ความกรอบ | | | |
| กลิ่น | | | |
| รสชาติ | | | |
| ความชอบรวม | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล ทิพย์ชนก ฉัตรเที่ยง
 วัน เดือน ปีเกิด 20 เมษายน 2538 จังหวัดนนทบุรี
 ที่อยู่ 13 ซอยแจ้งวัฒนะ14 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่
 กรุงเทพมหานคร 10210

ประวัติการศึกษา

2560 ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

2564 เจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท ดีโอดี ไบโอเทค จำกัด (มหาชน)

ผลงานวิจัย

2564 ทิพย์ชนก ฉัตรเที่ยง, ปัทมา สุภาพล, สวามินี นवलแซกุล, โสรยา เกิดพิบูลย์ และ ปาจริย์ อิง
 คະสุภัทร. 2564. คุณลักษณะของหน่อไม้แช่อบแห้งและการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์.
 วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปีที่ 29 ฉบับที่ 5 (กันยายน – ตุลาคม) 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้