สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาการถนอมข้าวหมากโดยการทำแห้ง

(Study on Preservation of Khao-Mhark by Drying)

จัดทำโดย

นางสาวอภิรดี ศรีมุล	รหัสนักศึกษา 47040862
นางสาวทิพวัล คุ้มจันทร์	รหัสนักศึกษา 47041104
นางสาวจรีรัตน์ สัชณุกรกุล	รหัสนักศึกษา 47041108

ปห.
ว2591
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....85371
วัน,เดือน,ปี.....11 พ.ย. 2551

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 30 พ.ย. 51 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร. บุญเทียม พันธุ์เพ็ง)

b 12010881
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาการถนอมข้าวหมากโดยการทำแห้ง

(Study on Preservation of Khao-Mhark by Drying)

จัดทำโดย

นางสาวอภิรดี ศรีมุล รหัสนักศึกษา 47040862

นางสาวทิพวัล คุ้มจันทร์ รหัสนักศึกษา 47041104

นางสาวจรีรัตน์ สัชฌุกรกุล รหัสนักศึกษา 47041108

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. บุญเทียม พันธุ์เพ็ง

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้เรียบเรียง : นางสาวอภิรดี ศรีมุล นางสาวทิพวัล คุ้มจันทร์ นางสาวจรีรัตน์ สัชฌุกรกุล

ชื่อเรื่องปัญหาพิเศษ : การศึกษาการถนอมข้าวหมากโดยการทำแห้ง

(Study on Preservation of Khao-Mhark by Drying)

สาขาวิชา : เทคโนโลยีการหมัก โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์บุญเทียม พันธุ์เพ็ง

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาการทำแห้งข้าวหมากที่มีอายุ 72, 96, 120 ชั่วโมง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 องศาเซลเซียส ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง ในการทำแห้งข้าวหมากโดยใช้ตู้อบลมร้อนพบว่าอายุข้าวหมากมีผลต่ออัตราการทำแห้งแต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw โดยข้าวหมากแห้งที่ได้จากการทำแห้งข้าวหมากที่มีอายุต่างๆ ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 62 -63, 52-54, 42 -44% และมีค่า Aw อยู่ในช่วง 0.715-0.724, 0.675-0.676, 0.622-0.627 ตามลำดับ ข้าวหมากแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งมีปริมาณความชื้นและค่า Aw ใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 62-66 % และ 62-65 % และมีค่า Aw อยู่ในช่วง 0.716-0.723 และ 0.716-0.720 ตามลำดับ เมื่อศึกษาการเก็บรักษาข้าวหมากแห้งที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 3 วิธี โดยเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE ภายใต้สภาพสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องนาน 1 เดือน พบว่าปริมาณความชื้นและค่า Aw ภายหลังการเก็บจะเพิ่มขึ้นแสดงว่าข้าวหมากแห้งสามารถดูดความชื้นได้ เนื่องจากข้าวหมากแห้งมีปริมาณน้ำตาลสูง ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวหมากแห้งจึงควรบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ภายใต้สภาพสุญญากาศ ปริมาณยีสต์และราในข้าวหมากแห้งภายหลังการเก็บมีปริมาณน้อยมากเนื่องจากมีค่า Aw ต่ำ ข้าวหมากแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งสามารถคืนสภาพน้ำที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เวลาเพียง 4 นาที ในขณะที่ข้าวหมากแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศไม่สามารถคืนสภาพน้ำได้ อย่างไรก็ตามข้าวหมากแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศจะมีสีเข้ม เนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลส่วนการทำแห้งแบบแช่แข็งไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

อภิรดี ศรีมุล
ทิพวัล คุ้มจันทร์
จรีรัตน์ สัชฌุกรกุล

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก ดร.บุญเทียม พันธุ์เพ็งซึ่งได้ให้คำปรึกษา และแนะนำผู้จัดทำปัญหาพิเศษตลอดมา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณท่านผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ จนทำให้งานสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณนายจิรายุทธ์ โฉมสะอาดที่ช่วยให้คำปรึกษาตลอดจนเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

30 เมษายน 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..... ก

กิตติกรรมประกาศ..... ข

สารบัญ..... ค

สารบัญตาราง..... จ

สารบัญภาพ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์..... 2

2.1 ข้าวหมาก (Kaomak or Sweetened rice)..... 2

2.2 วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตข้าวหมาก..... 3

2.3 จุลินทรีย์ในลูกแป้งข้าวหมาก..... 4

2.4 การจำแนกจุลินทรีย์ในลูกแป้งข้าวหมาก..... 5

2.5 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อกระบวนการหมักข้าวมาก..... 9

2.6 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักข้าวหมาก..... 10

2.7 วิธีการทำข้าวหมาก..... 11

2.8 การเสียของข้าวหมาก..... 12

2.9 บทบาทของน้ำในอาหารและความหมายของการทำแห้ง..... 13

2.10 กระบวนการทำแห้งอาหาร..... 15

2.11 ประโยชน์ของการทำแห้ง..... 16

2.12 การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร..... 16

2.13 การเคลื่อนที่ของน้ำ..... 17

2.14 อัตราการทำแห้ง..... 17

2.15 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง..... 18

2.16 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง..... 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 สภาพธรรมชาติของอาหาร..... 19
2.18 สภาวะในขณะทำแห้งอาหาร..... 20
2.19 อิทธิพลของการทำแห้งต่ออาหาร..... 21
2.20 วิธีการทำแห้งอาหาร..... 25
2.21 ถุงที่ใช้ในการเก็บรักษา..... 28

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 30
3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 30
3.2 วิธีการทดลอง..... 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 37
4.1 การศึกษาผลของอายุข้าวหมากและอุณหภูมิในการทำแห้งต่ออัตราการทำแห้ง..... 37
4.2 ศึกษาปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งที่ผ่านการทำแห้งของตู้อบลมร้อน ตู้อบสุญญากาศและเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง..... 41
4.3 ศึกษาการคืนสภาพน้ำและการดูดซับของของแข็งในระหว่างการคืนสภาพ..... 44
4.4 ศึกษาปริมาณยีสต์และรา..... 45

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 46

บรรณานุกรม..... 47

ภาคผนวก..... 48
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง..... 49
ภาคผนวก ข ภาพแสดงการคืนสภาพน้ำ..... 56

ประวัติผู้แต่ง..... 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เชื้อราในลูกแป้งจากแหล่งต่าง ๆ.....	5
2.2	ยีสต์ในลูกแป้งจากแหล่งต่าง ๆ.....	7
4.1	ปริมาณยีสต์และราในตัวอย่างข้าวหมากแห้งหลังเก็บ 1 เดือน.....	45
ก1	แสดงน้ำหนักที่ลดลงของข้าวหมากแห้งกับระยะเวลาของอายุข้าวหมากที่ 72 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ.....	50
ก2	แสดงน้ำหนักที่ลดลงของข้าวหมากแห้งกับระยะเวลาของอายุข้าวหมากที่ 96 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ.....	51
ก3	แสดงน้ำหนักที่ลดลงของข้าวหมากแห้งกับระยะเวลาของอายุข้าวหมากที่ 120 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ.....	52
ก4	แสดงค่า Aw ของข้าวหมากแห้งของอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อน.....	52
ก5	แสดงค่า Aw ของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยตู้อบสุญญากาศ.....	53
ก6	แสดงค่า Aw ของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง.....	53
ก7	แสดงปริมาณความชื้นของข้าวหมากแห้งของอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อน.....	53
ก8	แสดงปริมาณความชื้นของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยตู้อบสุญญากาศ.....	54
ก9	แสดงปริมาณความชื้นของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง.....	54
ก10	แสดงเวลาการคืนสภาพน้ำและการถูกชะของของแข็งละลายในระหว่างการคืนสภาพน้ำของข้าวหมากแห้งแบบแช่แข็งที่อุณหภูมิห้อง.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของลูกแป้งข้าวหมาก.....	4
2.2	แผนภูมิการหมักข้าวหมาก (นภา โลห์ทอง, 2534).....	12
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง water activity (a_w) และอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหาร.....	14
2.4	การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของพืชหัวที่หั่นเป็นรูปลูกบาศก์ในขณะทำแห้งจากก่อนทำแห้ง (ก) ระหว่างทำแห้ง (ข) จนถึงหลังทำแห้ง (ค).....	24
4.1	แสดงผลของอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	37
4.2	แสดงผลของอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	38
4.3	แสดงผลของอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	39
4.4	แสดงผลของอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	40
4.5	แสดงผลของอายุข้าวหมาก อุณหภูมิในการทำแห้งและชนิดของถุงที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งภายหลังอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียส และภายหลังการเก็บด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE ที่อุณหภูมิห้องนาน 1เดือน.....	41
4.6	แสดงผลของอายุข้าวหมาก อุณหภูมิในการทำแห้งและชนิดของถุงที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งภายหลังอบด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ55 องศาเซลเซียส และภายหลังการเก็บด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE ที่อุณหภูมิห้องนาน 1เดือน.....	42
4.7	แสดงผลของอายุข้าวหมาก อุณหภูมิในการทำแห้งและชนิดของถุงที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งภายหลังอบด้วยตู้อบแห้งแบบแช่แข็ง และภายหลังการเก็บด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE ที่อุณหภูมิห้องนาน 1เดือน.....	43
4.8	แสดงการคืนสภาพน้ำและการถูกชะของของแข็งละลายในระหว่างการคืนสภาพน้ำของข้าวหมากแห้งแบบแช่แข็งที่อุณหภูมิห้อง.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข1 นำข้าวหมากหลังจากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งมาชั่งเครื่องชั่ง 4 กรัม..... 57

ข2 ปิเปตน้ำที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส 20 มิลลิลิตรลงใน plateข้าวหมาก ขั้นตอนที่ 1 จากนั้นทิ้งไว้..... 57

ข3 นำข้าวหมากที่แช่ทิ้งไว้ตามระยะเวลาในขั้นตอนที่2 มากรองด้วยกระดาษเบอร์ 1 30นาที จากนั้นนำน้ำส่วนที่กรองได้ไประเหยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำจะระเหยออกหมด..... 58

ข4 นำน้ำส่วนที่กรองได้ไประเหยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำจะระเหยออกหมด นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาการถูกชะของของแข็งที่ละลาย..... 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวหมากเป็นอาหารหมักพื้นบ้านของไทยที่มีลักษณะเฉพาะตัวเป็นอาหารหมักที่ทำแล้วบริโภคทันที มีอายุการเก็บสั้น โดย สี กลิ่น รส และลักษณะปรากฏของข้าวหมากมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุและอุณหภูมิการเก็บรักษา โดยข้าวหมากที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีอายุในการเก็บประมาณ 2 ถึง 3 วัน หากเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นจะเก็บได้นานประมาณ 1 เดือน แต่ในระหว่างการเก็บข้าวหมากจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยในระยะแรกข้าวหมากจะมีสีขาว กลิ่นหอมหวาม รสหวานสนิท ลักษณะของเมล็ดข้าวยังเป็นตัวเมล็ดข้าว มีน้ำต้อยเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บไว้นานขึ้นจะมีสีเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ มีกลิ่นหอมหวานน้อยลงมีกลิ่นแอลกอฮอล์ รสหวานน้อยลงมีรสขมของแอลกอฮอล์เล็กน้อย เมล็ดข้าวเริ่มเละเสียรูปของเม็ดข้าว มีน้ำต้อยมากขึ้น ผู้บริโภคบางคนอาจชอบบริโภคข้าวหมากที่อยู่ในระยะนี้ ส่วนข้าวหมากที่เก็บไว้นานจนเสียแล้วจะมีสีน้ำตาลมากขึ้น ไม่มีกลิ่นหอมหวาน มีกลิ่นเปรี้ยวและกลิ่นของเอสเทอร์และแอลกอฮอล์รุนแรง รสเปรี้ยว เมล็ดข้าวเละมากไม่เป็นตัวเมล็ด มีน้ำต้อยมากประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมดดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งทำการศึกษาวิธีการทำให้ข้าวหมากแห้งด้วยวิธีต่างๆ โดยยังคงลักษณะที่ดีของข้าวหมากไว้ให้ได้มากที่สุดและสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานานที่อุณหภูมิห้องปกติ ซึ่งนอกจากจะเก็บได้นานขึ้นแล้วยังจะทำให้สะดวกในการขนส่งและการวางจำหน่ายอีกทั้งยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่จากข้าวหมากด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการถนอมข้าวหมากโดยการทำแห้งและคุณภาพของข้าวหมากแห้งที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าวหมาก (kaomak or sweetened rice)

เป็นอาหารหวานของไทย ที่ทำจากข้าวเหนียวนึ่งสุกคลุกด้วยลูกแป้งข้าวหมากเพื่อให้เกิดการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลูกแป้ง จนเมล็ดข้าวอ่อนนุ่ม ยุบตัวเกาะกันเป็นก้อน มีกลิ่นหอม รสหวานกลมกล่อมและมีกลิ่นหอมของแอลกอฮอล์ปนเล็กน้อย จึงไม่จัดเป็นของมึนเมา ดังนั้นการทำข้าวหมากจึงไม่มีการควบคุมแต่อย่างใด คงมีแต่พระราชบัญญัติสุราควบคุมเฉพาะการทำลูกแป้งเท่านั้น ที่ให้คำจำกัดความของ “เชื้อสุรา” ว่าหมายถึง แป้งเชื้อสุรา แป้งข้าวหมาก หรือเชื้อใดๆที่หมักกับวัตถุหือของเหลวอื่นๆ แล้วสามารถทำให้เกิดแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำสุราได้ (พระราชบัญญัติสุรา, 2493) ดังนั้นผู้ที่จะทำการผลิตหรือจำหน่ายลูกแป้งไว้ในครอบครองจะต้องได้รับการอนุญาตจากสรรพสามิตแล้วเท่านั้น นอกจากประเทศไทยแล้ว ประเทศในแถบเอเชียหลายประเทศก็มีการผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับข้าวหมากและใช้แป้งเชื้อที่มีลักษณะคล้ายลูกแป้งมาช่วยในการหมัก เช่นเดียวกัน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เหล่านั้น ได้แก่ Tape ketan เป็นข้าวหมากของอินโดนีเซีย ทำโดยนำข้าวเหนียวนึ่งสุกมาแผ่เป็นชั้นบางๆคลุกเคล้ากับลูกแป้งที่เรียกว่า Ragi (ทำจากแป้งข้าวผสมอ้อย และเหง้าข่าที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้ง นำมาบดเป็นเนื้อเดียวกันทิ้งไว้3 วัน เติมน้ำมะนาวแล้วผึ่งแดดให้แห้งอีกครั้ง) แล้วปิดด้วยใบตองเก็บไว้ 2 วัน จะได้ผลิตภัณฑ์สีขาวมีน้ำเล็กน้อย และมีรสหวานอมเปรี้ยว หมักไว้มากกว่า 6 วัน และเติมเครื่องเทศจำพวกลูกจันกานพลู พริกไทย จะได้น้ำสุราสีชมพูอ่อน เรียกว่า Arak Brem มีวิธีการทำเหมือน Tape’ ketan แต่ใช้ระยะเวลาหมักนานกว่า เมื่อหมักได้ที่แล้วคั้นเอาแต่น้ำไปเคี่ยวจนมีลักษณะเหนียวเป็นน้ำหวานบรรจุในภาชนะคล้ายกรวยเล็กๆ เมื่อนึ่งแล้วจะมีลักษณะเป็นก้อนแข็งสีขาว มีรสหวานอมเปรี้ยว Tape Ketella เตรียมจากหัวมันสำปะหลัง ซึ่งตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือตัดเป็นชิ้นขนาด 2 x 4 เซนติเมตรคลุกกับผง Ragi วางในถาดคลุมด้วยใบตอง ทิ้งไว้ประมาณ 5-7 วัน จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนุ่ม มีรสหวานปนแอลกอฮอล์ รับประทานได้โดยตรง หรือนำไปทอดกับน้ำมันมะพร้าวก็ได้ Lao-Chao เป็นข้าวหมากของประเทศจีนที่รู้จักกันดีในชื่อ Chiu-ning และ thin-chiu-niang วิธีทำคล้ายกับการทำข้าวหมากของไทย คือนึ่งข้าวเหนียวให้สุก ทำให้เย็นและคลุกด้วยลูกแป้งชื่อ Chiu-yueh ซึ่งเป็นก้อนแป้งชื่อ Chiu-yueh ซึ่งเป็นก้อนแป้งกลมสีขาวเทา แล้วจึงนำลงบรรจุในถ้วนที่มีฝาปิด เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 2-3 วันข้าวจะเริ่มอ่อนนุ่มมีน้ำหวานซึมออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรสฝาด ๆ ให้กลิ่นเฉพาะของข้าว และมีแอลกอฮอล์ปนเล็กน้อยนิยมรับประทานเป็นของหวาน หรือนำไปทำเป็นอาหารโดยปรุงผสมกับไข่ Murcha มีลักษณะเหมือน Tape' ketan ของอินโดนีเซีย โดยทำจากลูกแป้งที่ผสมกับรากไม้และใบไม้พื้นเมือง เมื่อหมักต่อไปนาน ๆ จะได้เป็นเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์คล้ายกกับสาโทของไทย

2.2 วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตข้าวหมาก

2.2.1 ข้าว (rice) เป็นอาหารหลักของคนไทยมาเป็นเวลาช้านาน จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza sativa ข้าวที่นิยมบริโภคกันทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ข้าวจ้าว (non-glutinous rice) เป็นข้าวที่มี amylase สูงร้องละ 40-50 และข้าวเหนียว (glutions rice หรือ waxy rice) เป็นข้าวที่มี amylase เพียงร้อยละ 5-8 แต่ประกอบด้วยแป้งที่มี Amylopectin สูงถึงร้อยละ 95ทั้งปริมาณ amylase และ amylopectin มีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการหุงต้มโดยข้าวเหนียวจะเหนียวกว่าข้าวจ้าว สายพันธุ์ข้าวที่นิยมนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำข้าวหมากและสาโทมี 2 สายพันธุ์หลัก ได้แก่ japonica type จัดอยู่ในประเภทกึ่งข้าวเหนียวกึ่งข้าวจ้าว มีลักษณะเมล็ดอ้วนสั้น และ indica type ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว โดยทั่วไปในการผลิตนิยมใช้ข้าวเหนียว ไม่นิยมใช้ข้าวจ้าว เนื่องจากข้าวเหนียวให้กลิ่นรสที่ดีกว่าละในข้าวเหนียวมีองค์ประกอบที่เป็นไขมันอยู่น้อยกว่าข้าวจ้าว ซึ่งองค์ประกอบที่เป็นไขมันนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทำให้เกิดการเหม็นหืน นอกจากนี้จุลินทรีย์ในลูกแป้งยังสามารถย่อยข้าวเหนียวได้ดีกว่าแป้งข้าวจ้าวที่มี amylose ต่ำเมื่อนึ่งสุกแล้วจะมีลักษณะนุ่มไม่อัดตัวแน่นทำให้เส้นใยของเชื้อราเจริญชอนไชได้ดี และการทำงานการเอนไซม์มีประสิทธิภาพสูง การขัดสีก็มีผลต่อผลิตภัณฑ์เช่นกัน เนื่องจากจะทำให้ได้ข้าวที่มีปริมาณแป้งสูงแต่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าต่ำเพราะการที่มีปริมาณกรดอะมิโนมากเกินไปอาจเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการเสียได้เร็วขึ้นกรดอะมิโนบางชนิดอาจเปลี่ยนไปเป็น Fusel oil ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้วิตามินและแร่ธาตุบางชนิดยังช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลลินทรีย์ ปนเปื้อนไม่จำเป็นในการหมักอีกด้วย ส่วนพวกไขมันโดยเฉพาะไขมันประเภทไม่อิ่มตัว เช่น Linoleic Fatty acid และ Oletty acid จะไปลดการเกิดกลิ่นของ Ester เช่น isoamylacetate ซึ่งเกิดจากการทำงานของเชื้อยีสต์ในระหว่างกระบวนการหมัก

2.1.2 ลูกแป้ง เป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ (inoculum) ที่เก็บในรูปของเชื้อแห้ง เพื่อใช้ในการผลิตอาหารหมักของประเทศในแถบเอเชียหลายประเทศ การผลิตและใช้ลูกแป้งมีกำเนิดมาจากประเทศจีนและถ่ายทอดไปยังประเทศเพื่อนบ้านรวมทั้งไทยด้วย กล้าเชื้อของแต่ละที่ก็จะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป แต่มีการใช้ประโยชน์คล้ายกันคือการหมักที่มีกิจกรรมการเปลี่ยนแป้งในวัตถุดิบให้เป็นน้ำตาลเพื่อผลิตอาหารหมักประเภทข้าวหมาก กระแช่ สาโท หรืออุ ลูกแป้งมีหลายชนิด ได้แก่ ลูกแป้งข้าวหมาก ลูกแป้งข้าวหมาก ลูกแป้งข้าวหมาย ลูกแป้งเหล้า ลูกแป้งน้ำส้มสายชู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลูกแป้งเทมเป้ (นภา โล่ห์ทอง, 2534) ลูกแป้งข้าวหมาก (lookpang-Kaomak) คือ แป้งเชื้อที่เป็นแหล่งของจุลลินทรีย์ ซึ่งมีเอนไซม์ในการหมักข้าวเหนียวนึ่งให้นุ่มและมีรสหวาน การทำลูกแป้งขาวหมากจึงเป็นการเพาะเลี้ยงเชื้อ และขยายพันธุ์เชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลูกแป้งข้าวหมาก เช่น รา และ ยีสต์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสปอร์ (spore) และเซลล์ (cells) ลักษณะทั่วไปของลูกแป้งลูกแป้งที่ดีควรมีน้ำหนักเบา สีขาวนวล ไม่มีรอยแตกร้าว ก้อนแป้งโปร่งมีรูพรุน ซึ่งเกิดจากการพรุนของแป้งขณะบ่ม เมื่อขยี้จะยุ่ยเป็นผง ไม่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว รูปร่างของขนาดต่าง ๆ กัน ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-4 เซนตริเมตร (ภาพที่ 2.1) สีของลูกแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ อายุการเก็บของลูกแป้ง ชนิดของเครื่องเทศ และปริมาณเครื่องเทศที่ใช้ ลูกแป้งที่ทำเสร็จใหม่ ๆ จะมีขาวปนน้ำตาลเล็กน้อย ลูกแป้งที่เก็บไว้นานอาจมีสีเข้มขึ้น ลูกแป้งที่ผลิตจากแต่ละแหล่งจะให้ข้าวหมากที่มีคุณภาพแตกต่างกัน (นภา โล่ทอง, 2534)

2.1.3 น้ำ คุณภาพของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการทำข้าวหมาก บางแห่งใช้น้ำบาดาลหรือน้ำฝน เป็นสาเหตุของการเสีย เนื่องจากน้ำไม่สะอาดเพียงพอ มีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์น้ำที่นำมาใช้ควรเป็นน้ำสะอาด สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้จะไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเอง

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของลูกแป้งข้าวหมาก

ที่มา : http://www.surathai.net/images/1123725790/31Mar%20002.jpg

2.3 จุลินทรีย์ในลูกแป้งข้าวหมาก

ลูกแป้งเป็น “กล้าเชื้อผสม” (mixed culture) ที่มีทั้งรา ยีสต์ และแบคทีเรีย เมื่อทำการปั้นแป้งและบ่มจุลินทรีย์จากแป้งเชื้อเดิมจะค่อย ๆ เจริญมีกิจกรรมขึ้น โดยจะใช้แป้งเป็นอาหาร ความชื้นจากน้ำ ออกซิเจนในก้อนแป้ง และสภาพแวดล้อมที่พอเหมาะที่ทำให้ทั้งราและยีสต์เจริญขึ้นเต็มก้อนแป้ง หลังจากนั้นความชื้นจะค่อย ๆ ลดลง จนทำให้ลูกแป้งอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ จุลินทรีย์ ราและยีสต์จะสร้างสปอร์และเซลล์ที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (durable cells) เพื่อปรับสภาพให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมนั้น ทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีชีวิตอยู่ได้ในสภาพของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งแห้งได้ เมื่อมีอาหารหรือสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม จุลินทรีย์เหล่านี้จะเจริญและมีกิจกรรมขึ้นมาใหม่ได้

จุลินทรีย์ที่พบในลูกแป้งข้าวหมากมีทั้งราและยีสต์ โดยเฉพาะราที่อยู่ใน Order Mucorales ได้แก่ *Amylomyces* sp., *Rhizpus* sp., *Mucor* sp., *Absidia* sp. นอกจากยังพบ imperfect fungi เช่น *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. และ *Hyalodendron* sp. (สิรินทรเทพ ภักดีศุภผล, 2523) ยีสต์ที่พบในลูกแป้งข้าวหมากส่วนใหญ่ได้แก่ *Endomycopsis fibuligera*, *Hansenula* sp. (สิรินเทพ ภักดีศุภผล, 2523) ยีสต์ที่พบในลูกแป้งข้างหมากส่วนใหญ่ได้แก่ *Endomycopsis fibuligera, Hansenula sp.* และ *Saccharomyces* sp. นอกจากนี้ยังพบยีสต์อื่นในลูกแป้งเฉพาะแหล่งได้แก่ *Candida* spp., *Amylomyces* sp., *Endomycopsis* sp. และ *Hansenula* sp. เมื่อเปรียบเทียบจุลินทรีย์ที่พบในลูกแป้งข้าวหมากกับผลิตภัณฑ์อื่นที่คล้ายคลึงกันและแหล่งเดียวกัน พบว่าส่วนใหญ่มีจุลินทรีย์ที่คล้ายคลึงกัน อาจแตกต่างกันบ้างเนื่องจากองค์ประกอบและกรรมวิธีในการผลิต รวมทั้งสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย (ชัยวัฒน์ จาติเสถียร, 2520)

2.4 การจำแนกจุลินทรีย์ในลูกแป้งข้าวหมาก

2.4.1 เชื้อรา เชื้อราที่ตรวจพบในลูกแป้งจากทุก ๆ แหล่งที่มีรายงานการศึกษา ได้แก่ *Amylomyces ruxii* และ *Rhizopus* spp. ปริมาณที่พบนั้นมากน้อยขึ้นกับชนิดของลูกแป้ง เชื้อหลักที่พบในลูกแป้งข้างหมากได้แก่ *A. rouxii* นอกจากเชื้อราหลัก ๆ ที่กล่าวมาแล้วยังพบเชื้อราอื่นต่าง ๆ ชนิดกัน โดยขึ้นอยู่กับแหล่งที่ผลิตลูกแป้ง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เชื้อราในลูกแป้งจากแหล่งต่าง ๆ

แหล่งของลูกแป้ง	เชื้อรา
ลูกแป้งข้าวหมากไทย	*Amylomyces rouxii*
	Rhizopus spp.
	Mucor spp.
	Aspergillus niger
	Aspergillus spp.
	Aspergillus spp.
	Aspergillus spp.
	Hyalodendron spp.
ลูกแป้งข้าวหมากและ	*Amylomyces* rouxii,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกแป้งเหล้าอินโดนีเซีย	*Mucor dubius*
	Mucor javanicus,
	Rhizopus oryzae,
	Aspergillus niger
ลูกแป้งข้าวหมากและ	*Rhizopus stolonifer*,
ลูกแป้งเหล้าอินโดนีเซีย	*Amylomyces rouxii*
	Rhizopuscohnii.
	Zygorrhynchus moelleri
	Aspergillus oryzae,
	Aspergillus flavus,
	Rhizopus oligosporus,
	Rhizopus arrhizus
	Fusarium Ispp.
ลูกแป้งอินเดีย	*Mucor fragilis*,
	Amylomyces rouxii,
	Rhizopus fragilis
ลูกแป้งฟิลิปปินส์	*Rhizopus* spp.,*Mucor* spp.
ลูกแป้งจีน	*Rhizopus javanicus*
	Rhizopus chinensis,
	Rhizopus spp.,
	Amylomyces rouxii

ที่มา : นภา โลห์ทอง (2534)

ชัยวัฒน์ จาติเสถียร (2520) จำแนกเชื้อราที่แยกได้จากลูกแป้งข้าวหมากได้เป็น 5 สกุล จากเชื้อราทั้งหมด 176 isolate คือ *Rhizopus, Mucor, Clamydomucor, Penicillium* และ *Aspergillus* และรายงานถึงลักษณะดังต่อไปนี้

Rhizopus มีเส้นใยแบบ nonseptate mycelium มี rhizoid อยู่ใต้ส่วนของ node sporangium มีรูปร่างกลมและสีดำ ซึ่งอยู่บนส่วนของ node จะไม่แตกกิ่งก้านสาขาและมีจำนวน 1-6 อัน sporangiospore เป็นรูปไข่และที่ผิวมีลายตามยาว (longitudinally striate)

Mucor มีเส้นใยแบบ nonseptate mycelium sporangium มีขนาดเล็ก รูปร่างกลมและสีดำ ไม่แตกกิ่งก้านสาขาและไม่เป็นกลุ่ม ไม่พบส่วน node sporangiospore เป็นรูปไข่และมีผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clumydomucor มีเส้นใยแบบ nonseptate mycelium clamydospore ไม่มีสีและพบกระจายทั่วไปบนเส้นใย sporangium พบน้อยมาก ในโคโลนี และส่วนใหญ่เป็น abortive sporangium ส่วนของ rhizoid, sporangiophore และ sporangium มีลักษณะเหมือนกับราพวก *Rhizopus* (Ainswort et al., 1973) เชื้อรานี้ไม่เจริญที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่วนมากจะเจริญได้ดีที่ 40 องศาเซลเซียส เชื้อนี้มีอยู่เพียงชนิดเดียว คือ *Amylomyces rouxii* ให้กลิ่นและรสของข้าวหมากที่หอม (มนตรี เชาวน์สังเกต, 2521)

Penicillum มีเส้นใยแบบ septate mycelium conidiospore ไม่มีสีและผิวเรียบ ส่วนใหญ่เป็น uniseriate sterigma conidia ต่อกันเป็นเส้นสายและมีสีเขียว ลักษณะรวมของ sterigma กับ conidia คล้ายกับหวีเล็ก ๆ

Aspergillus มีเส้นใยแบบ sepate mycelium conidiophore มีผิวเรียบและไม่มีสี vesicle มีรูปร่างกลม ส่วนใหญ่เป็น biseriate sterigma ตอนอายุยังอ่อนนั้นส่วนของ conidial head มีรูปร่างกลมและมีสีน้ำตาลปนเหลือง เมื่อโตเต็มที่มีรูปร่างเปลี่ยนเป็น short column หรือ loose radiate และสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน

2.4.2 ยีสต์ ยีสต์ที่พบในลูกแป้งข้าวหมากส่วนใหญ่ได้แก่ *Endomycopsis* spp. เช่น Hansenula malanga โดยมี *Saccharomyces cerevisiae* ปนมาบ้าง นอกจากนั้นยังมียีสต์ที่พบในลูกแป้งเฉพาะแหล่งได้แก่ *Candida* spp. *Torulopsis* spp. ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ยีสต์ในลูกแป้งจากแหล่งต่าง ๆ

แหล่งของลูกแป้ง	ยีสต์
ลูกแป้งข้าวหมากไทย	*Endomycopisi fibuligera* *Endomycopsis* spp. *Hansenula malanga* *Candida tropicalis* *Torulopsis glabrata*
ลูกแป้งเหล้าอินโดนีเซีย	*Torulopsis indica,* *Hansenula anomala,* *Saccharomyces cerevisiae* *Endomycopsis chodati*
ลูกแป้งเหล้าอินโดนีเซีย	*Hansenula subpelliculosa,* *Hansenula subpelliculosa* *Candida guilliermondii*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Candida humicola,
	Candida intermedia,
	Candida japonica,
	Candida pelliculosa
	Endomycopsis fibuligera
ลูกแป้งอินเดีย	*Hansenula anomala*
ลูกแป้งฟิลิปปินส์	*Edomycopsis* spp.
	Saccharomyces spp.
ลูกแป้งจีน	*Endomycopsis* spp.

ที่มา : นภา โลห์ทอง (2534)

ชัยวัฒน์ จาติเสถียร (2520) ทำการแยกเชื้อยีสต์ได้ทั้งหมด 227 isolates ปรากฏว่าเป็นยีสต์ในสกุล *Endomycopsis, Hansenula* และ *Saccharomyces* ยีสต์ที่พบในลูกแป้งข้าวหมากส่วนใหญ่เป็นพวก *Endomycopsis* รองลงมาเป็นพวก *Hansenula* และพบ *Saccharomysis* น้อยที่สุด *Endimycopsis* เป็นยีสต์ที่มีความสามารถในการย่อยแป้ง นอกจากจะพบมากในลูกแป้งข้าวหมากแล้วยังพบมากข้าวหมากด้วยตามรายงานยีสต์ที่พบในลูกแป้งและข้าวหมาก คือ *Endomycopsis fibuligera* และ *Endomycopsis burtonii* ซึ่งยีสต์แต่ละชนิดมีลักษณะดังนี้

Endomycopsis ลักษณะของเซลล์มีรูปร่าง globose, ellipsoidal และ cylindroidal สร้างหน่อแบบ multiplebuding เซลล์ต่อกันเป็นเส้นใยแบบ true mycelium ซึ่งมี blastospore ติดอยู่ รูปร่างของ ascospore เป็นหมวกขนาดใหญ่ มีจำนวน 1-4 มักพบที่ปลายหรือระหว่างเส้นใย

Hansenula เป็นยีสต์ที่พบในปริมาณใกล้เคียงกันทั้งในลูกแป้งข้าวหมาก ลูกแป้งเหล้าและข้าวหมาก ยีสต์พวกนี้มีคุณสมบัติในการสร้างกลิ่นของเอสเทอร์ มีรายงานพบว่า *Hansenula anomala* ในลูกแป้งข้าวหมากอินโดนีเซีย (hesseltine,1965)ลักษณะเซลล์มีรูปร่าง globose, ellipsoidal และ cylindroidal สร้างหน่อแบบ multiple budding เซลล์ต่อกันเป็นเส้นใยแบบ pseudomycelium รูปร่างของ ascospore เป็นรูปหมวก มีจำนวน 1-4 spore

Saccharomyces พบน้อยมากในลูกแป้งข้าวหมากและในข้าวหมาก เนื่องจากข้าวหมากเป็นอาหารหมักที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำและมีรสหวาน แต่ช่วยเพิ่มกลิ่นและรสชาติของข้าวหมากให้ชวน รับประทานยิ่งขึ้นในกรณีที่มีเชื้อนี้มากเกินไปจะเป็นผลเสีย ทำให้ปริมาณน้ำตาลของข้าวหมากลดลงและมีแอลกอฮอล์มากเกินไป *Saccharomyces* มีรูปร่างแบบ globose, ellipsoidal สร้างหน่อแบบ multiple budding ไม่พบลักษณะเส้นใย ascopore รูปกลมผิวเรียบ มีจำนวน 1-4 spore

2.4.3 แบคทีเรีย มีรายงานการตรวจพบแบคทีเรียแลคติค ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ Pediococcus pentosaceus โดยปริมาณจะขึ้นอยู่กับที่มาของลูกแป้ง ในลูกแป้งข้าวหมาก และลูกแป้งเหล้าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยจากบางท้องถิ่น นอกจากนี้ยังตรวจพบ *Lactobacillus* spp. *Bacillus* spp. เป็นแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งที่มีรายงานว่าพบในลูกแป้งอยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ เช่น แป้งและสมุนไพร แต่หากส่วนผสมของสมุนไพรที่ใช้เหมาะสม จะลดปริมาณจุลินทรีย์นี้ไปได้มาก เพราะมีรายงานว่า ขิง ชะเอม อบเชย ดอกจันและลูกจัน สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อกระบวนการหมักข้าวมาก

เมื่อโรยผงลูกแป้งลงบนข้าวเหนียวนึ่งที่เป็นทั้งแหล่งอาหารและมีความชื้นที่พอเหมาะจุลินทรีย์จะเจริญและสร้างเอนไซม์ซึ่งมีบทบาทในการหมักข้าว เอนไซม์ดังกล่าวคือ amylase enzyme พบ 2 ชนิดคือ α anylase และ glucoamylase เป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการย่อยแป้งที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ให้เป็นน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง amylase enzyme จัดเป็น Extracellular enzyme คือ ซึ่งถูกปล่อยออกมาทำงานภายนอกเซลล์ สามารถแบ่งเอนไซม์ได้ตามตำแหน่งที่เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาได้ 2 จำพวก คือ

2.5.1 Endoamylase ย่อยสลายแป้งแบบสุ่มที่ตำแหน่ง α - 1,4 – glucosidic กรณีที่ย่อยไม่สมบูรณ์จะได้น้ำตาลกลูโคส มอลโตส และลิปิดเดกซ์ตริน กรณีที่ย่อยสมบูรณ์จะได้น้ำตาลมอลโตสและกลูโคส โดยเอนไซม์ประเภทนี้ได้แก่ α - amylase

2.5.2 Exoamylase ย่อยสลายแป้งจาก Non-Reducing end เอนไซม์ประเภทนี้ได้แก่

2.5.2.1 β - Amylase จะย่อยแป้งที่ตำแหน่ง α -1, 4 glucosidic จาก Non-Reducing end เข้าไปทีละ 2 หน่วยกลูโคส แต่ไม่สามารถย่อยลายพันธะที่ต่อแบบ α - 1,6 – glucosidic ได้ ผลที่ได้จากการย่อยแป้งจึงเป็นน้ำตาลมอลโตส และลิปิดเดกซ์ตรินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงปนอยู่ด้วย

2.5.2.2 γ-Amylase หรือ Glucoamylase สามารถย่อยแป้งได้อย่างสมบูรณ์จากปลาย Non-Reducing ที่ตำแหน่ง α - 1,4 และ -1,6 glucosidic เข้าไปทีละ 1 หน่วยกลูโคส ซึ่งได้กลูโคสเพียงอย่างเดียว ราส่วนใหญ่เช่น *Amylomyces* sp. *Mucor* sp. *Rhizopus* sp. และ *Aspergillus* sp. จะสร้าง α -amylase ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะเปลี่ยนแป้งเป็นกลูโคสและมอลโตส และบางส่วนของน้ำตาลนี้จะถูกยีสต์ *Hansenula* และ *Saccharomyces* นำไปใช้และสร้างเป็นเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ ทำให้กลิ่นรสของข้างหมากดีขึ้น นอกจากนี้เอสเทอร์อาจเกิดจาก lipid ในข้าวที่ถูกย่อยเป็น fatty acid โดยเอนไซม์ lipase และ fatty acid นี้ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้สารผสมของเอสเทอร์ได้ ราย่อยแป้งเพื่อใช้เป็นอาหารโดยผ่านวิถี Embden-Meyerhof-Parnas (ภาพที่ 2.1) และวิถี Hexose monophosphate (ภาพที่ 2.2) ขึ้นอยู่กับสภาวะการเจริญ เช่น ในระหว่างการเจริญและการสร้างคอนิเดีย *Aspergillus niger* ย่อยแป้งผ่านทั้ง 2 วิธี แต่ในช่วงการเจริญและการย่อยสลายจะผ่านวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Embden-Meyerhof-Parnas มากกว่าวิถี Hexose monophosphate ในขณะที่ช่วงการสร้างคอนิเดีย การย่อยสลายจะผ่านทางวิถี Hexose monophosphate มากกว่า

2.6 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักข้าวหมาก

ในกระบวนการผลิตข้าวหมากพบว่าแต่ละขั้นตอนมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.6.1 เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดในเมล็ดข้าว ระหว่างกระบวนการล้างน้ำและแช่ข้าว โดยการล้างข้าวเหนียวทำให้พื้นผิวของเมล็ดข้าวบางส่วนหลุดออกไปประมาณร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักเมล็ดข้าวและเมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำไว้ ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 9-17 จากน้ำหนักเริ่มต้น และเมื่อแช่น้ำเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำทำให้พองตัวและเกิดการละลาย (Swelling and Solubility) ซึ่งสมบัติด้านการพองตัวและการละลายเกิดจากเม็ดสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักภายในแป้งเกิดการดูดซับน้ำและมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งมีหลายประการ โดย Leach et al. (1959) รายงานว่า ชนิดของแป้ง ความบริสุทธิ์ของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะร่างแหภายในเมล็ดแป้ง การดัดแปลงทางเคมี และพันธุ์ข้าว เป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนี้การแช่ข้าวยังช่วยให้ความร้อนเข้าถึงภายในเมล็ดได้ง่าย เมื่อทำการนึ่ง อีกทั้งยังเร่งการเปลี่ยนของเม็ดแป้ง (starch granules) ในเมล็ดข้าว ระหว่างการล้างและการแช่ข้าว แร่ธาตุบางตัวเช่น โพแทสเซียม และน้ำตาลบางส่วนจะถูกปล่อยออกจากเมล็ด

2.6.2 เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว ซึ่งการนึ่งจะทำให้แป้งเกิด gelatinization และโปรตีนเสียสภาพ ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ กับเอนไซม์ที่เชื้อจุลินทรีย์ในลูกแป้งสร้างขึ้นได้ง่าย โดยเริ่มแรกเป็นระยะที่น้ำแป้งไม่ละลายน้ำเย็น เกิดการดูดซึมน้ำเย็น และพองตัวอย่างจำกัด เม็ดแป้งคงรักษารูปร่างได้ เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำบริเวณรอบเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นจึงเกิดความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้เริ่มละลายออกมาจนน้ำแป้งมีความใสเพิ่มขึ้น จากนั้นพบว่าเม็ดแป้งมีรูปร่างไม่แน่นอน พันธะภายในเม็ดแป้งเกิดการแตกออกอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้การนึ่งยังเป็นการฆ่าเชื้อบางส่วนในข้าว ซึ่งการนึ่งนี้จะทำให้เม็ดข้าวดูดซับน้ำไว้เพิ่มขึ้นร้อยละ 7-12 จากน้ำหนักเริ่มต้น ดังนั้นจะทำให้มีน้ำอยู่ในเมล็ดข้าวประมาณร้อยละ 35-40 จากน้ำหนักเริ่มต้น

2.6.3 เกิดขึ้นภายหลังจากการคลุกเคล้าข้าวเหนียวนึ่งกับผงลูกแป้ง แล้วราในลูกแป้งจะสร้าง α - amylase และ glucoamylase เปลี่ยนแป้งในข้าวเป็นน้ำตาลกลูโคส จากนั้นน้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์โดยีสต์ ภายหลังจากการคลุกเคล้าผสมลูกแป้งจะเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

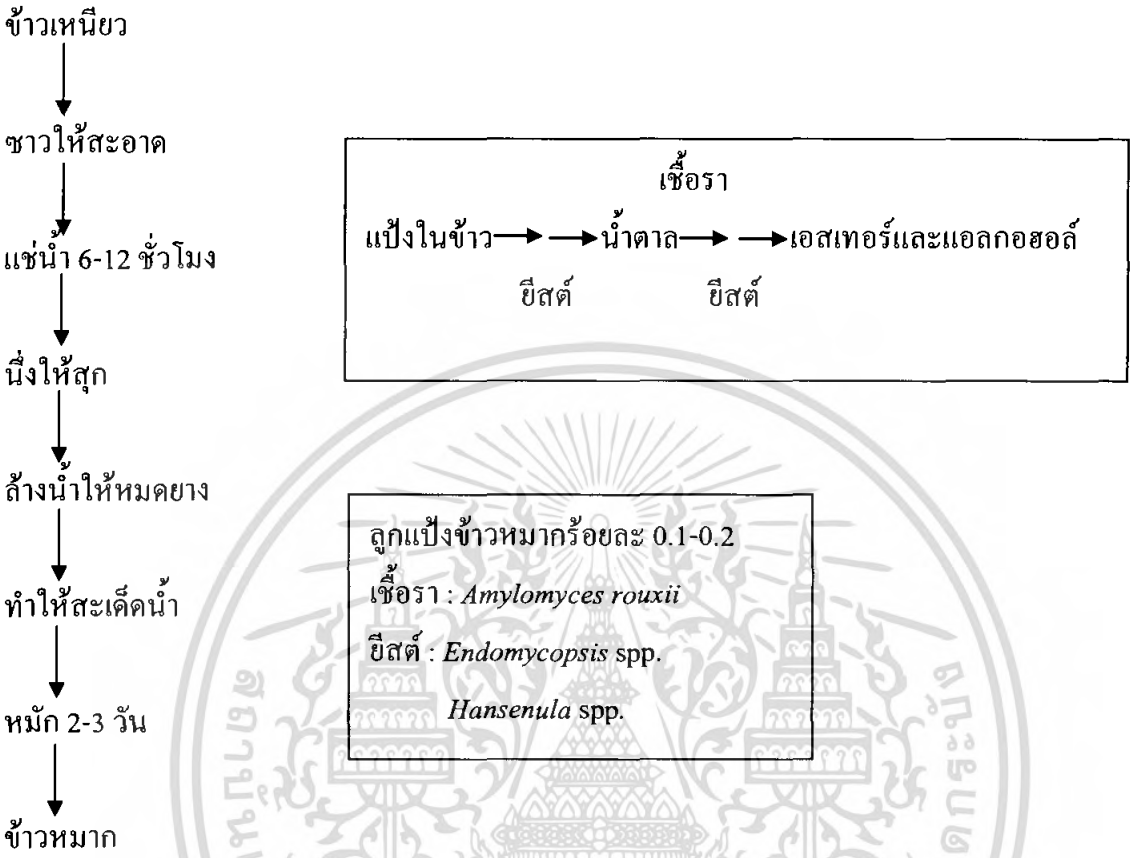
Liquefection ซึ่งเป็นขั้นตอนเพื่อลดความหนืดของแป้งที่ผ่านการ gelatinization มาแล้วโดยการย่อยโมเลกุลของแป้งในแบบสุ่ม (Random hydrolysis) ขนาดโมเลกุลลดลง ความหนืดก็ลดลง ในกระบวนการหมักข้าวหมาก นอกเหนือจากแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และกรดอะซิติก แล้วยังมีสารอื่น ๆ เกิดขึ้นด้วย เช่น Higher alcohol หรือ Fusel alcohol เช่น iso-amyl alcohols, propyl alcohol, butyl alcohol และ ester ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น และ higher alcohol เหล่านี้มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้มีรสขมและเกิดกลิ่นรสที่รุนแรงในเครื่องดื่ม นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการเมาค้าง (Hangover) เกิดสภาวะการขาดน้ำ (Dehydration) จะมีอาการปวดศรีษะ และคลื่นเหียน เนื่องจากแอลกอฮอล์ไปสลายน้ำตาลที่จะส่งไปยังตับ และเซลล์ตับต้องการกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานในการทำหน้าที่ต่าง ๆ การขาดน้ำตาลจะทำให้ร่างกายรู้สึกอ่อนเพลีย เฉื่อยชา และวิงเวียนศรีษะ โดยตับจะทำหน้าที่ในการกำจัดพิษที่เกิดขึ้นส่วนไตจะทำหน้าที่เป็น 2 เท่าในการกำจัดของเสียออก จะมีของเหลวจำนวนมากถูกกำจัดออกจากร่างกายทำให้ร่างกายขาดน้ำได้ ส่วนใหญ่แล้วระดับการเพิ่มของไฮเออร์แอลกอฮอล์จะขึ้นกับสภาพแวดล้อมคือ ไฮเออร์แอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของ pH และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่วนสายพันธุ์ของยีสต์จะมีผลมากต่อระดับการเปลี่ยนแปลงของ Higher alcohol โดยยีสต์ *Saccharomyces cereviviae* จะผลิตเฉพาะ amyl alcohol จากกรดอะมิโน isoleucine ขณะที่ผลิต amyl, iso-amyl และ n-propyl alcohol จากกรดอะมิโน threonone ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ผลผลิตที่ได้ในแต่ละกระบวนการในกระบวนการหมักจะมี Biochemical pathway และเอนไซม์เฉพาะอย่างของผลิตผลนั้น ๆ และมีบางส่วนที่เหมือนกัน Embden-Meyorhof-Parnas pathway และเอนไซม์บางชนิดก็เหมือนกันด้วย สำหรับ Biochemical pathway ที่ต่างกันจะเริ่มจาก pyruvate ภายใต้บรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน นอกจากนั้นยังมี higher alcohol ชนิดอื่นผลิตขึ้นอีกด้วย

2.7 วิธีการทำข้าวหมาก

เริ่มด้วยแช่ข้าวเหนียวทิ้งไว้ข้ามคืนหรืออย่างน้อย 3 ชั่วโมง จากนั้นก็นำมานึ่งให้พอสุก ในกรณีที่นึ่งนานเกินไปจะทำให้เมล็ดข้าวเหนียวเกาะกันแน่น เมื่อนำไปหมักจะได้ข้าวหมากเมล็ดไม่สวย เมื่อนึ่งข้าวเสร็จก็นำมาผึ่งให้เย็นในภาชนะที่สะอาด ล้างด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งข้าวเหนียวหมดยาวเหนียว ผู้ผลิตบางคนจะใช้น้ำปูนใสหรือสารส้ม เพื่อให้เม็ดข้าวรัดตัวทำให้ร่วนไม่เกาะกัน จากนั้นนำมาสะเด็ดน้ำแล้วเกลี่ยให้เป็นชั้นกระจายทั่วภาชนะ โรยลูกแป้งข้าวหมากที่บดละเอียดลงบนข้าวให้ทั่ว โดยทั่วไปใช้ลูกแป้งประมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักของข้าวเหนียว (นภา โลห์ทอง, 2534) คลุกเคล้าข้าวเหนียวนึ่งกับผงลูกแป้งให้เข้ากันเบา ๆ เมื่อดูว่าทั่วแล้วจึงนำใส่ภาชนะสะอาดที่เตรียมไว้สำหรับหมัก อาจเป็นถุงหรือกล่องใส่ข้าวให้พอมีที่วาง ไม่กดจนแน่น นำไปไว้ในที่เย็นโดยไม่ถูกลมหรือแดดจัด หมักไว้เป็นเวลาประมาณ 2-3 วัน เมล็ดข้าวจะเริ่มนุ่มมีน้ำซึม มีกลิ่นหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ปนเล็กน้อย ข้าวหมากที่มีลักษณะเช่นนี้พร้อมที่จะรับประทาน ขั้นตอนการหมักดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิการหมักข้าวหมาก (นภา โลห์ทอง, 2534)
ที่มา : เปมิกา ขำวีระ, 2547

2.8 การเสียของข้าวหมาก

ข้าวหมากมีขั้นตอนการทำไม่ยุ่งยาก แต่บางครั้งจะได้ข้าวหมากที่มีลักษณะกลิ่นรสที่ไม่ชวนรับประทานเช่น เมล็ดข้าวไม่สวย รสไม่หวานหรือมีรสเปรี้ยวจัด เมล็ดข้าวมีน้ำมากเกินไป ฯลฯ ข้าวหมากที่มีลักษณะดังที่ได้กล่าวข้างต้น เป็นข้าวหมากที่ไม่มีคุณภาพหรือจัดเป็นข้าวหมากเสีย พอสรุปสาเหตุของการเสียได้ประการ เช่น

2.8.1 ข้าวแฉะ ข้าวเหนียวที่นึ่งนานเกินไปจนเมล็ดข้าวเละ เมื่อนำมาล้างให้หมดยาง เมล็ดข้าวจะอมน้ำไว้ มากทำให้ข้าวเหนียวแฉะ หรือล้างข้าวเหนียวในขณะที่ข้าวยังร้อนอยู่ หรือคลุกผงลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งในขณะที่ข้าวยังไม่สะเด็ดน้ำ จากสาเหตุทั้งหมดนี้จะทำให้ข้าวหมากที่ได้มีรสไม่หวานเพราะมีน้ำปนเข้ามามาก และอาจมีรสเปรี้ยวปนด้วยเนื่องจากการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในน้ำ

2.8.2 ลูกแป้งเก่า ลูกแป้งข้าวหมากที่ใช้เก่าเกินไป ทำให้ใช้เวลาในการหมักนานขึ้นเพราะจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลูกแป้งอาจมีปริมาณลดลง ทำให้ข้าวหมากมีกลิ่นไม่ค่อยดี มีรสหวานน้อย การใส่ลูกแป้งมากหรือน้อยไปก็เป็นสาเหตุหนึ่งของการเสีย ถ้าใส่น้อยก็จะได้ข้าวหมากช้า เนื้อข้าวไม่นิ่ม ถ้าใส่ลูกแป้งมากอาจมีกลิ่นเครื่องเทศมากจนฉุน

2.8.3 คุณภาพของน้ำ น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการทำข้าวหมาก บางแห่งใช้น้ำบาดาลหรือน้ำฝน สาเหตุของการเสียน่าจะมาจากน้ำไม่สะอาดพอมีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์

2.8.4 ความสะอาด ภาชนะที่ใช้ อาจทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากไม่สะอาดเพียงพอ

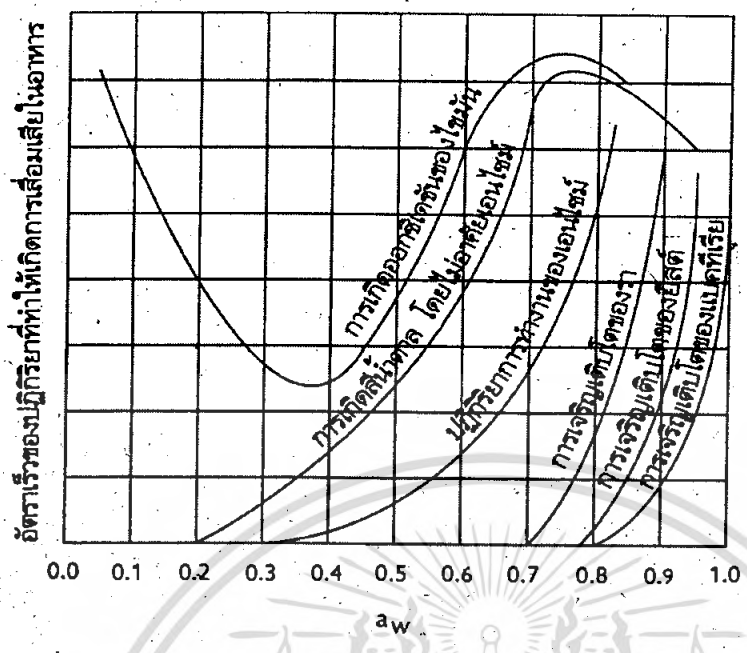
2.8.5 กระบวนการผลิต เช่น การกดข้าวแน่นเกินไปในขั้นตอนการบรรจุจะทำให้เมล็ดข้าวไม่สวยหรือคลุกเคล้าลูกแป้งไม่ทั่วข้าวเหนียว ทำให้การหมักเกิดไม่พร้อมกัน

2.9 บทบาทของน้ำในอาหารและความหมายของการทำแห้ง

น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในอาหาร อาหารที่มีน้ำหนักมากมักจะเสื่อมเสียและเน่าเสียได้ง่าย บรรพบุรุษตั้งแต่สมัยโบราณพบว่า การทำให้อาหารสดที่มีน้ำมากนั้นแห้งจะทำให้อาหารนั้นเสื่อมเสียและเน่าเสียได้ยากขึ้น สามารถเก็บได้นานขึ้น ดังนั้น น้ำในอาหารจึงมีบทบาทที่สำคัญและเกี่ยวข้องอย่างมากกับการถนอมและแปรรูปอาหารโดยการทำแห้ง

2.9.1 บทบาทของน้ำในอาหาร น้ำในอาหารนั้นอาจจัดได้เป็น 2 ลักษณะทั่วๆไป คือ น้ำที่ถูกยึดไว้กับองค์ประกอบของอาหาร (bound water) และน้ำที่อยู่อิสระ (free water) ซึ่งน้ำอิสระนี้ (available water) หรือ water activity,a_w) โดยน้ำนี้เป็นน้ำส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการเสื่อมเสียและการเน่าเสียของอาหาร ดังนั้น น้ำอิสระหรือค่า a_w นี้จึงเป็นปริมาณน้ำหรือค่าที่มีความสำคัญและต้องคำนึงถึงในการถนอมและการแปรรูปอาหารด้วยการทำแห้งค่า a_w นี้ยังหมายถึง อัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกันซึ่งค่า a_w นี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.0 โดยค่า a_w ของอาหารนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทต่อความคงตัวของอาหารโดยจะมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหารที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ การเสื่อมเสียและเน่าเสียของอาหาร ซึ่งความสำคัญของค่า a_w กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหารแสดงไว้ในภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง water activity (a_w) และอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหาร

ที่มา : อรวินท์ เลาหรัชตนันท์ ศศิมน ปรีดี และ โชคชัย ธีรกุลเกียรติ.,2545

จากภาพความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าอาหารที่มีค่า a_w สูงมักจะมีโอกาสเสื่อมเสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาเคมีมากกว่าอาหารที่มีค่า a_w ต่ำ กล่าวคือ อาหารที่มี a_w สูง ได้แก่ ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ปลา และอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณน้ำ โดยเฉพาะน้ำอิสระอยู่มากมักจะเสื่อมเสียและเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากปริมาณน้ำอิสระนั้นมีมากเพียงพอต่อความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย นอกจากนี้ ปริมาณน้ำอิสระยังเพียงพอและเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของอาหาร เช่น การเกิดสีน้ำตาลของผักผลไม้โดยการทำงานของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นที่ระดับต่ำ a_w สูงๆ ยังทำให้มีปริมาณน้ำอิสระเพียงพอแก่การเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่น การเกิดสีน้ำตาลในอาหารโดยไม่อาศัยเอนไซม์ การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร เป็นต้น ดังนั้น น้ำในอาหาร โดยเฉพาะน้ำอิสระหรือ a_w จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ และมีบทบาทอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาต่างๆในอาหาร ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการเสื่อมเสียและเน่าเสียของอาหาร ในที่สุดการลดปริมาณน้ำในอาหาร โดยเฉพาะน้ำอิสระจึงเป็นการลดค่า a_w ของอาหาร ซึ่งเป็นผลให้อัตราเร็วของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาเคมีบางชนิดลดลงด้วย ซึ่งเป็นการลดการเสื่อมเสียและเน่าเสียของอาหารนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ความหมายของการทำแห้ง การทำแห้งอาหาร โดยทั่วไปหมายถึง การลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อลดค่า a_w ลงมาให้อยู่ในระดับต่ำพอที่จะสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร และทำให้ค่า a_w อยู่ที่ระดับที่ปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพนั้นอยู่ในระดับต่ำสุด ดังนั้นการทำแห้งจึงจัดเป็นการถนอมอาหารเนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้เสื่อมเสียได้ยากขึ้นสามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ โดยทั่วไปผลจากการทำแห้งจะทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา และเป็นการแปรรูปอาหารให้อยู่ในรูปที่สะดวกแก่การนำไปใช้ประโยชน์ และบริโภค หรือเพื่อพัฒนาให้เป็นรูปแบบใหม่ของผลิตภัณฑ์อาหารแก่ผู้บริโภค ได้แก่ การผลิตอาหารแห้งรูปผง เช่น เครื่องดื่มผง ซุปผง เป็นต้น ดังนั้น การทำแห้งนอกจากจะเป็นการถนอมอาหารแล้ว ยังจัดเป็นการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่งด้วย ตามปกติผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการถนอมและแปรรูป โดยการทำแห้งนั้น จะหมายถึง อาหารที่มีความชื้นต่ำ (low moisture food) ซึ่งโดยทั่วไปมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 และผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นสามารถนำมาบริโภคได้เลย เช่น เนื้อแห้ง ปลาแห้ง ผลไม้แห้ง หรือ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางชนิดอาจมีการนำมาทำให้คืนสภาพ (rehydration) ในน้ำเพื่อให้ดูดน้ำกลับเข้าไปในอาหารก่อนบริโภค เช่น ผักตากแห้ง นมผง ชาผง น้ำผลไม้ผง เป็นต้น การทำแห้งเพื่อลด a_w ของอาหาร โดยการดึงหรือลดปริมาณน้ำในอาหารนั้นส่วนใหญ่จะอาศัยความร้อนในการระเหย (vaporization) น้ำออกจากอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งอาหารมีหลายวิธี โดยอาจจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือการทำแห้งโดยวิธีทางธรรมชาติ (Natural drying) ได้แก่ การตากแดด (Sun drying) และการทำแห้งแบบตู้อบพลังแสงอาทิตย์ (Solar drying) อีกประเภทคือการทำแห้งโดยวิธีเชิงกล (Artificial drying หรือ Mechanical drying) ซึ่งเป็นการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่างๆ ซึ่งในการทำแห้งต้องมีการเลือกวิธีการและเครื่องทำแห้งให้เหมาะสม

2.10 กระบวนการทำแห้งอาหาร

การทำแห้ง (drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity,a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้น 15-20% แต่ถ้าเป็นเมล็ดธัญพืชเก็บที่ความชื้นนี้จะเกิดราได้ การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่มนุษย์คุ้นเคยมาแต่โบราณเช่น ตากหญ้า ฟางข้าว เป็นอาหารสำหรับวัวควาย ตากเมล็ดพืชพันธุ์ฤดูกาลหน้า ตากเนื้อสัตว์ผักผลไม้และธัญชาติที่เหลือกินไว้เป็นอาหารเช่น เนื้อเค็ม ปลาเค็ม กล้วยตาก ข้าวเปลือก เป็นต้น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เรียกว่า การตากแห้ง การใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า ก๊าซ หรือไอน้ำในเครื่องอบแห้งเรียกว่า การอบแห้ง จึงรวมเรียกทั้งสองอย่างว่า การทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ประโยชน์ของการทำแห้ง

2.11.1. ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์

2.11.2. ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน นอกฤดูกาลหรือในแหล่งห่างไกล

2.11.3. เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็นให้เปลืองค่าใช้จ่าย

2.11.4. ลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่ง

2.11.5. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ลูกเกด จากการทำแห้งองุ่น

2.11.6. ให้ความสะดวกในการใช้ เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป

2.12 การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร

ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจากธรรมชาติและกระแสลมที่พัดผ่านอาหารทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำ เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิไม่ได้สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่สูงพอ ทำให้การตากแห้งต้องใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอบที่มีการให้พลังงานความร้อนในปริมาณที่ควบคุมได้และมีอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหาร การถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดได้เร็วอาหารจึงแห้งได้เร็วขึ้นการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธีคือ

2.12.1. การให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสลมร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นแบบการพาความร้อน (convection)

2.12.2. การแผ่อาหารเป็นชิ้นบางๆบนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (convection) ทำให้ไอน้ำกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้ไอน้ำกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้นๆ อาจมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหาร ซึ่งทำให้สามารถลดความชื้นได้ต่ำลงอีกหรือไม่ต้องใช้อุณหภูมิอาหารที่สูงนัก

2.12.3. การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องอบด้วยการนำความร้อนหรือแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก

2.12.4. การปรับสภาพความดันและอุณหภูมิให้น้ำในอาหารเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสามสถานะ (triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงอีกทำให้เกิดการระเหิด น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง วิธีการนี้เรียกว่าการทำแห้งด้วยการแช่แข็ง (freeze drying หรือ lyophilization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำแห้งอีกแบบหนึ่งไม่เกี่ยวกับพลังงานความร้อนแต่เป็นการใช้ความดันออสโมติกลดปริมาณน้ำจากชิ้นอาหารได้แก่ การทำผลไม้แช่อิ่ม เมื่อแช่ชิ้นผลไม้ในน้ำเชื่อม น้ำในอาหารจะเคลื่อนย้ายออกมาที่น้ำเชื่อมข้างนอกและน้ำตาลเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นผลไม้ จนความเข้มข้นของน้ำตาลภายในและภายนอกชิ้นผลไม้เท่ากัน แต่วิธีนี้ยังคงเหลือน้ำในชิ้นผลไม้อีกมากจึงนิยมนำไปทำแห้งต่อ

2.13 การเคลื่อนที่ของน้ำ

การเคลื่อนที่ของน้ำเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากภายในชิ้นอาหารออกมาที่ผิวมี 2 วิธีคือ

2.13.1. การเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบ (capillary force)

เป็นการเคลื่อนที่ในอาหารที่มีเซลล์โปร่ง มีช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นทางแคบๆเกิดแรงดันของน้ำขึ้นมาตามท่อ การเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้สะดวกรวดเร็ว แต่จะหยุดเมื่อน้ำในทางแคบๆนั้น ขาดตอนลง

2.13.2. การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (diffusion) ผ่านเซลล์

เป็นการเคลื่อนที่ในอาหารที่มีเนื้อแน่น ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ต่อเนื่องเป็นทางแคบๆหรือเกิดในอาหารที่อบแห้งไประยะหนึ่งที่แรงผ่านช่องแคบหมดไปแล้ว น้ำจะต้องแพร่ผ่านเซลล์จึงเคลื่อนที่ได้ช้า

เมื่อน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารแล้วจึงระเหยกลายเป็นไอ เคลื่อนย้ายออกไปกับกระแสลมหรือถูกดูดออกไปด้วยระบบสุญญากาศ

2.14 อัตราการทำแห้ง

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา) ถ้าอาหารมีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่เป็นแบบการไหลผ่านช่องแคบ (capillary flow) น้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ผิวอาหารเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จึงเรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ต่อมาเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไป น้ำต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนมาที่ผิวไม่เพียงพอผิวอาหารจึงแห้ง การระเหยเกิดขึ้นได้ช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง อาหารที่มีเนื้อแน่นน้ำเคลื่อนที่จากภายในชิ้นอาหารได้ช้าจึงมีเฉพาะช่วงอัตราการทำแห้งลดลง การทำแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของอากาศในเตาสมดุลกับความชื้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
85371

อาหารหรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับค่าวอเตอร์แอกติวิตีของอาหารคูณ 100 และเรียกความชื้นของอาหารขณะนั้นว่าความชื้นสมดุล

2.15 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนี้คือ

2.15.1. การหดตัว

การเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ

2.15.2. การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสีน้ำตาลอุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้น 10-20% มีผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

2.15.3. การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันสมควร

2.15.4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้เหมือนเดิม เพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่แข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน

2.15.5. การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย

เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแครอทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินจากแสง ไทอะมีนจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดลงหรือแตกต่างไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

การทำแห้งอาหารโดยทั่วไป จะอาศัยความร้อนส่งผ่านเข้าไปให้น้ำในอาหาร เพื่อทำให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่และระเหยออกจากผิวอาหารไปนั้น ในขณะทำแห้งจะเกิดปรากฏการณ์ที่สำคัญ 2 ประการ คือ การส่งผ่านความร้อน (heat transfer) จากแหล่งให้ความร้อนไปยังน้ำในอาหารและการเคลื่อนที่ของมวล (mass-transfer) ของน้ำในอาหารมาที่ผิวอาหารเพื่อระเหยออกไป ดังนั้น อัตราการทำแห้งโดยทั่วไปจะช้าหรือเร็วเพียงใด ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำในอาหาร และประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำมาที่ผิวอาหาร เพื่อระเหยออกไปจากอาหาร ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนและการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารนั้น ย่อมจะมีผลต่ออัตราการทำแห้งของอาหารซึ่งอัตราการทำแห้งโดยทั่วไปจะหมายถึงอัตราการระเหยของน้ำหรือการลดลงของปริมาณในอาหาร (โดยน้ำหนัก) ต่อหน่วยเวลา โดยปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่ออัตรา การทำแห้งอาหารพอจะกล่าวได้ดังต่อไปนี้

2.17 สภาพธรรมชาติของอาหาร

2.17.1 สภาพธรรมชาติของอาหารหรือคุณลักษณะของอาหารที่นำมาทำแห้งนั้น เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดประการแรกที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งของอาหารดังกล่าว ซึ่งสภาพธรรมชาติของอาหารนั้นจะเป็นอย่างไร ขึ้นกับโครงสร้าง สภาพของน้ำในอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีในอาหารดังกล่าว ซึ่งสภาพธรรมชาติของอาหารจะมีผลต่ออัตราการทำแห้งคือถ้าสภาพธรรมชาติของอาหารนี้เอื้ออำนวยหรือสะดวกต่อการส่งผ่านของความร้อนมายัง โมเลกุลของน้ำในอาหาร และง่ายต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำและไอน้ำในอาหารระเหยออกไปที่ผิวอาหารจะทำให้อัตราการทำแห้งของอาหารชนิดนั้นเป็นไปได้เร็ว

2.17.2. ขนาด รูปร่าง การเตรียมและการจัดเรียงอาหาร อาหารที่จะนำมาทำแห้งที่มีขนาดและรูปร่างต่างกันจะมีผลต่ออัตราการทำแห้งของอาหารนั้น โดยอาหารที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรอาหารมาก จะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งผ่านความร้อนไปทั่วชิ้นอาหาร เพื่อระเหยน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น นอกจากการลดขนาดของอาหารด้วยการตัดแต่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว เพื่อทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้นแล้วการเตรียมอาหารในลักษณะอื่นๆ ก่อนการทำแห้งอาจมีผลต่ออัตราการทำแห้ง เช่น การลวกผักในน้ำร้อนก่อนที่จะนำมาตากแห้ง นอกจากจะมรผลในการช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแล้ว ยังเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพหรือคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ และอาจทำลายเนื้อเยื่อบางส่วน ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกมาได้เร็วขึ้นในขณะทำแห้ง ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 สภาวะในขณะทำแห้งอาหาร

นอกจากสภาพธรรมชาติของอาหาร ขนาด รูปร่าง การเตรียม และการจัดเตรียมอาหารที่จะนำมาทำแห้งจะมีผลต่ออัตราทำแห้งแล้ว สภาวะในขณะทำแห้งด้วยวิธีการหรือเครื่องทำแห้งแบบต่างๆนั้น ก็เป็นปัจจัยสำคัญมากประการหนึ่งที่มีผลต่อการทำแห้งอาหาร เนื่องจากถ้าสภาวะในขณะทำแห้งเอื้ออำนวยให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนเข้าไป ทำให้น้ำในอาหารเป็นไปได้ดี และขณะเดียวกันช่วยทำให้น้ำหรือไอน้ำเคลื่อนที่ออกจากอาหารได้เร็วขึ้น จะเป็นผลให้อัตราทำแห้งเร็วขึ้น ปัจจัยต่างๆที่สำคัญ เกี่ยวข้องกับสภาวะขณะทำแห้งอาหารนั้น พอจะกล่าวได้พอสังเขปดังนี้

2.18.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิในขณะทำแห้งอาหาร เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง กล่าวคือ ถ้าตัวกลางที่ให้ความร้อนแก่น้ำในอาหาร เช่น อากาศร้อนในเครื่องทำแห้งแบบตู้มีอุณหภูมิสูง จะมีผลทำให้อุณหภูมิของอากาศร้อน กับอุณหภูมิของน้ำในอาหารนั้นมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ความร้อนส่งผ่านให้กับน้ำในอาหารได้ดี ซึ่งจะทำให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่และระเหยออกจากอาหารได้ง่ายและทำให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอย่างอื่นด้วย ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของการทำแห้งที่สูงขึ้นโดยทั่วไปมักจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้นก็ตามแต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งอาหารนั้น ควรให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่ควรสูงเกินไป เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการเสื่อมเสียคุณภาพและคุณค่าทางอาหารของอาหารที่นำมาทำแห้งเนื่องจากผลของความร้อน เช่น การสูญเสียวิตามินต่าง ๆ ในอาหาร การเกิดสีน้ำตาลและรสขมของอาหารเนื่องจากผลของการไหมเกรียมของอาหาร ทำให้อาหารมีคุณภาพไม่เหมาะสมแก่การบริโภคเป็นต้น

2.18.2 ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เป็นตัวการในขณะทำแห้งอาหาร เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง ไม่ว่าจะเป็นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในบรรยากาศในขณะทำแห้งอาหารด้วยการตากแดด หรือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ เช่น ในเครื่องทำแห้งแบบตู้ เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะทำแห้งนั้นมีค่าสูง จะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากชิ้นอาหารมาสู่อากาศโดยรอบนั้น เป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากอากาศภายนอกนั้นมีปริมาณน้ำสูงอยู่แล้ว โดยทั่วไปจึงเป็นผลให้อัตราการทำแห้งช้าลงดันตัวอย่างง่าย ๆ เช่น กรณีการตากกล้วยโดยการตากแดด ในวันที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง จะพบว่ากล้วยตากจะแห้งช้า เป็นต้น

2.18.3 ความดันของบรรยากาศ ในการทำแห้งอาหารโดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นการตากแดดหรือการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้ง เช่น เครื่องทำแห้งแบบตู้ จะทำแห้งที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นสภาพบรรยากาศปกติ อย่างไรก็ตาม ถ้าลดความดันของบรรยากาศในขณะทำแห้ง จะทำให้จุดเดือดของน้ำในอาหารนั้นลดลง ทำให้การเคลื่อนตัวและการระเหยของน้ำออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอาหารได้ง่ายขึ้น โดยน้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นในเครื่องทำแห้งบางประเภทจึงมีการปรับปรุงสภาวะบรรยากาศในขณะทำแห้ง โดยมีเครื่องดูดอากาศออก ทำให้ความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศในขณะทำแห้ง เพื่อให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันสามารถทำแห้งอาหารได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งเหมาะที่จะใช้ทำแห้งอาหารเสื่อมคุณภาพได้ง่ายเนื่องจากความร้อนเครื่องทำแห้งพวกนี้ เช่น เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบชั้น (vacuum shelf drier) เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบลูกกลิ้ง (vacuum drum drier) เป็นต้น

2.18.4 ความเร็วลม ในขณะทำแห้งอาหาร ถ้าบรรยากาศโดยรอบมีลมพัดผ่าน จะช่วยทำให้น้ำและไอน้ำเคลื่อนมาที่ผิวอาหารนั้น ระเหยออกจากผิวอาหารได้รวดเร็วขึ้น ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้น ความเร็วลมในบรรยากาศขณะทำแห้งจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราทำแห้งซึ่งอาจสังเกตได้ง่าย อย่างเช่น กรณีอาหารที่ตากแดดไว้ ในวันที่มีลมพัดผ่านดี จะทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้น หรือเปรียบเทียบง่าย ๆ กับการตากผ้าในวันที่มีลมพัดผ่านดีจะทำให้ผ้าแห้งเร็วขึ้น เป็นต้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยต่าง ๆ ของสภาวะขณะทำแห้งนั้นจะมีผลต่ออัตราทำแห้งอาหารดังนั้น การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ อันได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศและความเร็วลม ในขณะทำแห้งอาหาร จะสามารถควบคุมอัตราการทำแห้งอาหารได้

2.19 อิทธิพลของการทำแห้งต่ออาหาร

การทำแห้งอาหารส่วนใหญ่จะกระทำโดยการระเหยน้ำออกจากอาหารด้วยความร้อนนั้น จะมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบและคุณภาพของอาหารในแง่ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.19.1 อิทธิพลของการทำแห้งต่อจุลินทรีย์ในอาหาร อาหารสดไม่ว่าจะเป็นผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ปลาและอื่น ๆ จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งมีค่า a_w สูง อาหารสดเหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่ว ๆ ไป ทั้งในน้ำ ดิน และอากาศ จุลินทรีย์เหล่านี้มักเจริญเติบโตได้ดี และทำให้อาหารสดเน่าเสียได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจากอาหารสดมีน้ำอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่มาก ซึ่งอาหารสอมักมีค่า a_w สูงกว่าค่า a_w ต่ำสุดที่จุลินทรีย์ต่าง ๆ จะสามารถเจริญเติบโตได้โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุลินทรีย์ต่าง ๆ แบคทีเรียปกติจะมีความชื้นสูง (a_w มากกว่า 0.91) ส่วนยีสต์และราปกติจะต้องการค่า a_w ต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโตที่ 0.88 และ 0.80 ตามลำดับ เมื่อนำอาหารสดซึ่งมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์มาทำแห้ง ในขั้นตอนการเตรียมอาหารดังกล่าวเพื่อการทำแห้งนั้นจะมีการล้างตัดแต่ง ซึ่งจะช่วยลงปริมาณจุลินทรีย์ได้ในระดับหนึ่งในขณะทำแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะใช้ความร้อนในการระเหยน้ำเพื่อลดค่า a_w ของอาหาร ความร้อนที่ใช้อาจมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่ติดมากับอาหาร ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณอาหารความร้อนที่ใช้และชนิดของผลิตภัณฑ์ หลังจากการทำแห้งปริมาณน้ำในอาหารจะลดลงทำให้ค่า a_w ของอาหารอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับต่ำลง ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ปะปนมาในอาหารสด เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารสดเน่าเสียนั้น ต้องการค่า a_w สูง ดังนั้นอิทธิพลของการทำแห้ง จึงสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดังกล่าว และเมื่อเก็บอาหารแห้งไว้ในสภาวะที่แห้งจุลินทรีย์เหล่านั้นจะตายไปในที่สุด อย่างไรก็ตาม อาหารเมื่อทำแห้งแล้วจุลินทรีย์ชนิดใดจะเจริญเติบโตและเป็นผลทำให้อาหารเน่าเสียได้ ปัจจัยที่สำคัญมากประการหนึ่งคือ ค่า a_w ของอาหารแห้งดังกล่าวตามปกติอาหารแห้งส่วนมากมักมีปัญหาการเน่าเสียและเสื่อมคุณภาพของอาหารเนื่องจากรา โดยเฉพาะราที่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำ ซึ่งสามารถทนความแห้งได้ดีได้แก่ ราพวกเซโรฟิลลิก (Xerophilic mold) ซึ่ง a_w ที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงประมาณ 0.75 ถึง 0.61 เช่น เซโรมัยซีส ไบสปอรัส (Xeromyces bisporus) แอสเพอร์จิลลัส กลอคัส (Aspergillus glaucus) ซึ่งเจริญเติบโตได้แม้ค่า a_w ต่ำถึง0.70 และ แอสเพอร์จิลลัส เอคคินูลาทัส (Aspergillus echinulatus) ที่ค่า a_w เท่ากับ 0.64 เป็นต้น นอกจากนี้ ยีสต์บางชนิดที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดีก็สามารถเจริญเติบโตได้ เช่น ไซโกแซ็กคาโรมัยซีส รูซีไอ (Zygosaccharomyces rouxi) ซึ่งเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำถึง 0.62 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การทำแห้งจะลดค่า a_w ของอาหารซึ่งมีอิทธิพลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่จะเจริญเติบโตในอาหาร ซึ่งจะก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียของอาหาร

2.19.2 อิทธิพลของการทำแห้งต่อองค์ประกอบในอาหาร การทำแห้งจะมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบต่างๆ ในอาหารได้แก่ น้ำ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน และเอนไซม์ ดังต่อไปนี้

2.19.2.1 อิทธิพลของการทำแห้งต่อน้ำในอาหาร ในการทำแห้งนั้นตามที่ทราบแล้วว่าจะเป็นการลดปริมาณน้ำหรือลดค่า a_w ในอาหาร ทำให้อาหารสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้นดังนั้นหลังจากการทำแห้ง ปริมาณความชื้นในอาหารจะลดลงเช่น ความชื้นของน้ำนมก่อนนำมาทำแห้งมีค่าประมาณร้อยละ 90 จะลดเหลือประมาณร้อยละ 5 หลังทำแห้ง เมื่อปริมาณ น้ำในอาหารลดลง จะมีผลทำให้สารอาหารอื่นๆที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น เมื่อทำแห้งถั่วสดซึ่งมีความชื้นร้อยละ 74 โดยน้ำหนัก หลังจากทำแห้งให้มีความชื้นร้อยละ 5 พบว่า ความเข้มข้นของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต จะสูงขึ้นจากร้อยละ 7.1 และ 17 เป็นร้อยละ 25.3 และ 65 โดยน้ำหนักตามลำดับ ดังนั้นอาหารสดเมื่อนำมาทำแห้งแล้วอาหารแห้งจะให้สารอาหารต่อน้ำหนักมากกว่าอาหารสดหลายเท่า การทำแห้งซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหารจะเป็นการลดน้ำหนักและปริมาตรของอาหาร ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และการเก็บรักษาด้วย

2.19.2.2 อิทธิพลของการทำแห้งต่อโปรตีนในอาหาร การทำแห้งส่วนใหญ่จะส่วนใหญ่จะใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกจากอาหารความร้อนที่ให้แก่อาหารนั้นอาจมีผลต่อการเสียสภาพธรรมชาติ (denature) ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่สูงเกินไปนัก อาจมีผลทำให้โปรตีนในอาหารแห้งสามารถย่อยโดยเอนไซม์ในร่างกายได้ง่ายขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆเช่น ชนิดของอาหาร และวิธีการทำแห้ง แต่ถ้าทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง และเป็นเวลานาน โปรตีน และกรดอะมิโน อาจสลายตัว (decompose) ร่างกายจะสามารถใช้ประโยชน์ได้น้อยลง

2.19.2.3 อิทธิพลของการทำแห้งต่อไขมันในอาหาร อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ เมื่อมาทำแห้งไขมันในอาหารสามารถเกิดออกกซิเดชัน และเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นหืนของอาหารได้ โดยเฉพาะการทำแห้งอาหารที่มีไขมันอยู่สูงและที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศปกติที่มีออกซิเจนเพียงพอ จะทำให้เกิดออกซิเดชันของไขมันได้มากขึ้นอย่างไรก็ตามการทำแห้งอาหารที่มีไขมันสูงโดยใช้อุณหภูมิต่ำหรือใช้การทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ จะทำให้การเกิดออกซิเดชันของไขมันลดลง นอกจากนี้อาจมีการใช้วัตถุกันหืน (antioxidant) เช่น บีเอชที (BHT หรือ butylated hydroxy toluene) ร่วมในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดวัยค่า a_w ของอาหารหลังการทำแห้งก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ และมีผลต่ออัตราการเกิดออกซิเดชันโดยปกติการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะต่ำลงในช่วงค่า a_w ประมาณ 0.2-0.5

2.19.2.4 อิทธิพลของการทำแห้งต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหาร สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาล ในขณะทำแห้งโดยเฉพาะในอาหารที่มีน้ำตาลมาก และทำแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจเกิดการไหม้ของน้ำตาลขึ้น ซึ่งเรียกว่า คาราเมลไลเซชัน (caramlisation) นอกจากนี้ในขณะทำแห้งอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) กับสารที่มีหมู่อะมิโน หรือกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบ อาจทำปฏิกิริยากันเกิดสารสีน้ำตาลขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาเมลาร์ด (mailard reacton)

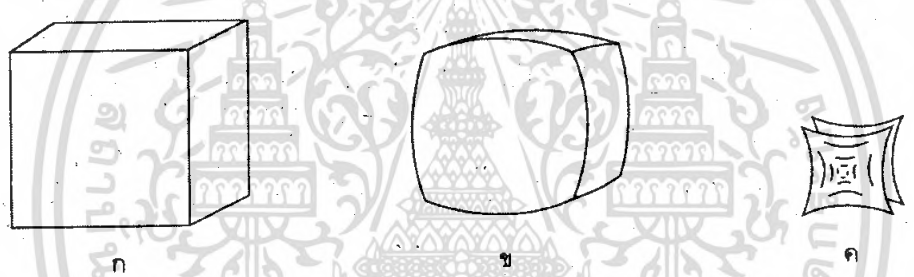
2.19.2.5 อิทธิพลของการทำแห้งต่อวิตามินในอาหาร ในขณะทำแห้งโดยใช้ความร้อน จะมีผลทำให้เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินในอาหาร เช่น วิตามินซี หรือ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ในผลไม้ วิตามินบีหนึ่ง หรือไทอะมีน (thiamine) ในเนื้อหมูเป็นต้น การเสื่อมสลายของวิตามินจะมากขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิสูง และเวลาในการทำแห้งอาหารดังกล่าว นอกจากนี้การเสื่อมสลายและเสียของวิตามินโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายในน้ำ อาจเกิดขึ้นได้มากในขณะเตรียมอาหารก่อนการทำแห้ง เช่น การล้าง การลวกน้ำร้อน เป็นต้น

2.19.2.6 อิทธิพลของการทำแห้งต่อเอนไซน์ในอาหาร เอนไซน์ซึ่งเป็นตัวการที่สำคัญอย่างหนึ่ง ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหาร เช่น เอนไซน์พอลีฟีนอลออกซิเดสในกล้วย จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เป็นต้น ในขณะทำแห้งความร้อนที่ใช้นั้นอาจมีผลทำให้เอนไซน์ต่าง ๆ ในอาหารสูญเสียสภาพธรรมชาติ และสูญเสียความสามารถในการทำงานไปได้แต่จะสูญเสียไปมากน้อยเพียงใดขึ้นกับอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งว่าสูงเพียงใด อย่างไรก็ตาม ในการเตรียมอาหารก่อนการทำแห้งจะมีปฏิบัติการต่าง ๆ เช่นการลวกน้ำร้อน การแช่ในกรด การแช่ในสารละลายซัลเฟอร์ของการเตรียมผักผลไม้บางชนิด เป็นต้น เพื่อทำลายยับยั้งเอนไซน์ที่อาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารในขณะเตรียมและทำแห้ง นอกจากนี้ ผลจากการทำแห้งซึ่งเป็นการลดค่า a_w ในอาหารจะทำให้เอนไซน์ในอาหารทำงานได้ลดลง เช่น เอนไซน์พอลีฟีนอลออกซิเดสในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร อาหารสดชนิดต่างๆ เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อ ปลา ซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เมื่อนำมาทำแห้งแล้วการทำแห้งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของประสาทสัมผัสของอาหารดังกล่าว ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (appearance) เนื้อสัมผัส (texture) สี (color) กลิ่นรส (flavor) ซึ่งสามารถกล่าวได้พอสังเขปดังต่อไปนี้

2.19.3.1 อิทธิพลของการทำแห้งต่อลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของอาหาร อาหารสดซึ่งมีน้ำอยู่มาก เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ จะมีความชุ่มฉ่ำและมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม หลังจากทำแห้งแล้วน้ำในอาหารจะลดลงจะทำให้ความแห้งและความแข็งลดลง ทำให้ความแห้งและความแข็งเพิ่มขึ้น โดยจะมีการหดเหี่ยว (shrinkage)ของเนื้อเยื่อ ขนาดและรูปร่างจะเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่าง เช่น แครอท มันเทศ ที่หั่นเป็นรูปลูกบาศก์ เมื่อทำแห้งในเครื่องทำแห้งแบบตู้อบแล้ว เนื้อเยื่อจะมีการหดเหี่ยวเนื้อเยื่อแข็งขึ้น ไม่ชุ่มฉ่ำ ขนาดจะเล็กลง รูปร่างจะบิดเบี้ยวไปจากเดิม ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของพืชหัวที่หั่นเป็นรูปลูกบาศก์ในขณะทำแห้งจากก่อนทำแห้ง (ก) ระหว่างทำแห้ง (ข) จนถึงหลังทำแห้ง (ค)
ที่มา : อรวินท์ เลาหรัชตนันท์ ศศิมน ปรีดี และ โชคชัย ธีรกุลเกียรติ.,2545

2.19.3.2 อิทธิพลของการทำแห้งต่อสีของอาหาร อาหารเมื่อทำแห้งแล้วสีของอาหารอาจมีการเปลี่ยนแปลง โดยอาจจะเกิดเป็นสีน้ำตาล (Browning) เนื่องจากผลของการใช้ความร้อนที่สูงเป็นเวลานานขณะทำแห้ง ทำให้เกิดการไหม้ของน้ำตาล หรือการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลร์ลาด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่อะมิโนหรือกรดอะมิโน นอกจากนี้อาหารบางชนิดอาจเกิดการซีดจางของสีหลังทำแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากผลของความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง ทำให้เกิดการเสื่อมสลายหรือการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีในอาหาร โดยเฉพาะอาหารจากพืช เช่น การเสื่อมสลายหรือการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีพวกคลอโรฟิลล์ในพืชสีเขียว เป็นต้น

2.19.3.3 อิทธิพลของการทำแห้งต่อกลิ่นรสของอาหาร นอกจากการทำแห้งจะมีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏเนื้อสัมผัส สีของอาหารแล้ว ยังมีอิทธิพลต่อกลิ่นรสของอาหารได้ ในขณะทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อระเหยน้ำออกจากอาหารนั้น จะมีการระเหยของสารระเหยที่ใช้กลิ่นของอาหารดังกล่าวออกไปด้วย ทำให้ความเข้มของกลิ่นลดลง และความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ในขณะทำแห้ง เช่น ก๊าซออกซิเจน อาจเป็นผลทำให้กลิ่นเกิดการสลายตัวเปลี่ยนแปลง หรืออาจก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่ต้องการได้ เช่น กลิ่นเหม็นหืน จากการเกิดออกซิเดชันของสารพวกไขมันในอาหาร เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นการใช้อุณหภูมิสูงๆในการทำแห้งอาหารทำให้เกิดการไหม้เกรียม (scorching) ของอาหาร ทำให้อาหารมีกลิ่นไหม้ และเกิดรสขมได้เช่นกัน

2.20 วิธีการทำแห้งอาหาร

2.20.1. การทำแห้งโดยวิธีทางธรรมชาติ เป็นการทำแห้งโดยอาศัยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ การตากแดด และการทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ การตากแดดและการทำแห้งด้วยตู้อบพลังแสงอาทิตย์

2.20.1.1 การทำแห้งด้วยการตากแดด โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการระเหยน้ำออกจากอาหาร และยังมีลมเป็นตัวช่วยในการนำไอน้ำออกไปจากผิวอาหาร

2.20.1.2 การทำแห้งด้วยตู้อบพลังแสงอาทิตย์ จะยังอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์อยู่ แต่ออกแบบลักษณะเป็นตู้ หรือกล่องดูดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีอยู่ในตู้ เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการทำแห้งให้เร็วขึ้น และในขณะเดียวกันตู้ดังกล่าวจะมีวัสดุกั้น เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนต่างๆ ตู้อบพลังแสงอาทิตย์มีการออกแบบหลายรูปแบบ อย่างเช่นแบบกล่องจะทำด้วยไม้ปิดด้วยแผ่นกระจก โดยอาหารที่ต้องการทำแห้งนั้น จะวางบนตะแกรง ในขณะเดียวกันที่กล่องจะมีช่องให้อากาศหมุนเวียนได้ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำแห้ง

2.20.2. การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้ง เป็นการนำหลักการทางวิทยาสาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มาออกแบบเครื่องมือการทำแห้ง โดยอาศัยแหล่งพลังงานความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า ไอน้ำหรือ เชื้อเพลิง การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งนั้น จะสามารถควบคุมสภาวะทั่วไปขณะทำแห้งได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การหมุนเวียนอากาศ เป็นต้น

2.20.2.1 แบบตู้ เป็นการทำแห้งโดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนประเภทการพาความร้อนเป็นหลัก ขณะเครื่องทำแห้งทำงาน พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกเข้าไปในเครื่อง ซึ่งส่วนมากจะผ่านแผ่นกรองอากาศที่จะกรองพวกฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ปะปนมาในอากาศ อากาศที่กรองแล้วจะผ่านขดลวดให้ความร้อน ทำให้เกิดกระแสลมร้อน ซึ่งจะพัดผ่านอาหารในถาดที่วางอยู่ในตู้ความร้อนจากจากลมร้อนจะถ่ายเทให้น้ำในอาหารเพื่อให้น้ำกลายเป็นไอและระเหยออกจากผิวอาหาร

2.20.2.2 แบบอุโมงค์ ขณะเครื่องทำแห้งทำงาน อากาศภายนอกจะถูกดูดด้วยพัดลมซึ่งอากาศมักจะผ่านแผ่นกรองอากาศเข้ามายังแหล่งให้ความร้อนซึ่งจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กระแสลมร้อนไหลเข้ามาผ่านไปบนอาหารในถาดซึ่งอยู่บนตู้ล้อเลื่อน ซึ่งเคลื่อนเข้ามาในทิศทางสวนทางกับการไหลของกระแสลมร้อนทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนให้น้ำในอาหารเพื่อระเหยน้ำออกไป

2.20.2.3 แบบสายพาน เป็นการทำแห้งโดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนประเภทการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งเป็นการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสายพานลักษณะผสม ระหว่างแบบอากาศร้อนไหลสวนทางกับอาหารและแบบอากาศร้อนไหลทางเดียวกับอาหาร

2.20.2.4 แบบฟลูอิไดซ์เบด นิยมใช้ในการทำแห้งพวกเมล็ดธัญพืชต่างๆ ความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทให้น้ำในเมล็ดธัญพืชเพื่อระเหยน้ำออกไปในรูปของไอ ลมร้อนชื้นที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกทางช่องระบายอากาศทางด้านบน

2.20.2.5 แบบพ่นฝอย ขณะทำแห้งนั้น อาหารเหลวจะถูกพ่นให้แตกเป็นละอองด้วยหัวฉีด ละอองอาหารเหลวนี้จะสัมผัสกับความร้อนจากลมร้อนที่ผ่านเข้ามาในห้องทำแห้ง น้ำในละอองอาหารเหลวจะระเหยออกไปในรูปไอน้ำ ส่วนละอองอาหารเหลวจะแห้ง ได้ลักษณะอาหารผง ซึ่งจะแยกออกทางส่วนแยกอาหารผง

2.20.2.6 แบบลูกกลิ้ง โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวนั้น อาหารข้นเหลวจะถูกป้อนทางด้านล่าง โดยอาจใช้เครื่องสูบช่วยส่งไป อาหารข้นเหลวจะจับเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ โดยรอบลูกกลิ้งทรงกระบอกร้อน ซึ่งมักทำด้วยวัสดุที่นำความร้อนได้ดี และลูกกลิ้งนี้มักได้รับพลังงานความร้อนมาจากไอน้ำ ความร้อนจากลูกกลิ้งจะถ่ายเทให้กับน้ำในอาหารข้นเหลวจับเป็นแผ่น น้ำจะระเหยออกไป อาหารที่แห้งแล้วจะถูกใบมีดขูดออกเป็นแผ่น

2.20.2.7 แบบสุญญากาศ โดยเครื่องทำแห้งแบบนี้จะประกอบด้วยห้องด้วยห้องทำแห้งสุญญากาศที่มีชั้นจัดเรียงอยู่ โดยชั้นดังกล่าวจะได้รับความร้อนจากแหล่งให้พลังงานความร้อน จะถ่ายเทให้กับน้ำในอาหาร โดยอาศัยการนำความร้อน และการแผ่รังสีเป็นส่วนใหญ่ น้ำในอาหารจะระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดปกติ แล้วไอน้ำที่ระเหยออกมาจะแยกออกไปโดยผ่านเครื่องควบแน่นไอน้ำ

2.20.2.8 แบบแช่แข็ง ในขั้นแรกต้องนำอาหารไปแช่แข็งก่อน วิธีที่นิยมคือ การแช่แข็งแบบเร็ว เพื่อทำให้น้ำในอาหารเป็นน้ำแข็ง จากนั้นจึงนำอาหารที่แช่แข็งเข้าเครื่องทำแห้งโดยลดความดันในห้องทำแห้งให้เป็นสุญญากาศและอุณหภูมิต่ำ ทำให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอจนอาหารอาหารแห้ง มีความชื้นต่ำตามที่ต้องการ

2.20.3การปฏิบัติหลังการทำแห้งอาหาร

2.20.3.1. การปรับความชื้น โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้หลังการทำแห้งนั้นแต่ละชิ้นหรือแต่ละส่วนของอาหารแห้งมักมีความชื้นไม่สม่ำเสมอ หรือความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ยังไม่ต่ำพอ ดังนั้นจึงต้องมีปฏิบัติการเพื่อปรับความชื้นให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ มีความชื้นต่ำพอเหมาะ และสม่ำเสมอในอาหารแห้งทุกชิ้น หรือทุกส่วน ซึ่งการปรับความชื้นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถปรับได้หลายวิธี เช่น การนำอาหารแห้งเป็นชิ้นมาทำแห้งอีกครั้งหนึ่ง โดยการใช้ทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และให้มีการไหลเวียนของอากาศที่ดีด้วย

2.20.3.2. การตรวจสอบและการคัดแยก ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งมาแล้วนั้น ควรจะมีการตรวจสอบเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อน และผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีความผิดปกติไม่ได้คุณภาพตามกำหนดออกไป เพื่อให้แน่ใจว่าได้เฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีคุณภาพดี และสม่ำเสมอเท่ากัน ซึ่งปฏิบัติการตรวจสอบนี้ อาจใช้คน หรือเครื่องมือ เช่น การใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการแยกพวกเศษโลหะที่อาจปนเปื้อนมาเป็นต้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางอย่างมีข้อกำหนดในเรื่องของขนาด เช่น ผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งที่เป็นชิ้น ซึ่งในช่วงการทำแห้งนั้นอาจมีเศษชิ้นเล็กของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือมีขนาดและรูปร่างผิดปกติไป ดังนั้นจึงมักมีการคัดแยกพวกผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานออกไป เช่น การใช้ตะแกรงในการแยกพวกผลิตภัณฑ์ที่เป็นเศษชิ้นเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในขณะตัดหั่นเพื่อเตรียมวัตถุดิบและติดมากับอาหารที่จะนำมาทำแห้ง เป็นต้น

2.20.3.3. การลดขนาด ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางชนิด อาจมีการลดขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทำแห้ง เพื่อให้อยู่ในสภาพความต้องการของผู้บริโภค ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นแผ่นบางๆ ดังนั้น มักจะมีปฏิบัติการลดขนาดผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้อยู่ในลักษณะผงเพื่อให้สะดวกและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปทำให้คืนสภาพก่อนบริโภค เช่น มะเขือเทศผง กล้วยผง เป็นต้น

2.20.3.4. การปรับปรุงความสามารถในการคืนสภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้น มีความสำคัญมากในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ที่ก่อนจะบริโภค จำเป็นต้องทำให้อาหารแห้งดังกล่าวคืนสภาพให้อยู่ในสภาพเดิมก่อน ซึ่งการคืนสภาพของอาหารแห้งก็กระทำได้ โดยการนำผลิตภัณฑ์อาหารแห้งดังกล่าวมาเติมน้ำ เพื่อให้น้ำดูดกลับเข้าไปในโครงสร้างของอาหารแห้งดังกล่าว ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมักต้องทำให้คืนสภาพก่อนบริโภค เช่น ผักแห้ง เครื่องดื่มผงต่างๆ โจ๊กผง เป็นต้น ดังนั้น ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งดังกล่าวหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแล้ว สามารถนำมาผ่านปฏิบัติการอื่นเพื่อทำให้ความสามารถในการคืนสภาพดีขึ้น กล่าวคือทำให้อัตราเร็วที่อาหารแห้งจะดูดซึมน้ำกลับเข้าไปนั้น ดีและรวดเร็วขึ้น ในกรณีอาหารแห้งที่มีลักษณะเป็นชิ้น เช่น ผัก ผลไม้ ความสามารถในการคืนสภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น โครงสร้างของอาหาร ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่อยู่ในลักษณะอาหารผงนั้น ความสามารถในการคืนสภาพ ก็จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาด และคุณลักษณะของอาหารผง องค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปอาหารผงที่จะมีความสามารถในการคืนสภาพได้ดีนั้น ควรมีคุณลักษณะที่สามารถเปียก จม กระจายตัวและละลายน้ำได้ดี ปฏิบัติการที่ใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการคืนสภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นมีหลายวิธีและควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งชนิดดังกล่าวตัวอย่างเช่น การใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติการรีดเป็นแผ่น (flaking) ด้วยลูกกลิ้งสำหรับอาหารแห้งบางชนิดที่เป็นชิ้น ปฏิบัติการที่ทำให้อนุภาคของอาหารผงที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เกิดการรวมกลุ่มกัน (agglomeration) โดยการนำอาหารผงดังกล่าวมาผ่านไอน้ำ หรืออากาศร้อนชื้นทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ผิวของอนุภาคอาหารผงนั้น ทำให้อนุภาคเกาะกัน จากนั้นจึงนำไปทำแห้งอีกครั้งหนึ่งและทำให้เย็นลง ซึ่งจะทำให้อาหารผงที่มีคุณสมบัติในการคืนสภาพดีขึ้น

2.20.3.5. การบีบอัด (compression) นิยมใช้ปฏิบัติกับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางชนิด เช่น ผลไม้แห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดปริมาตร สะดวกในการบรรจุ ซึ่งทำให้เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบรรจุ การขนส่ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งดังกล่าวอีกด้วย ตัวอย่างเช่น บลูเบอรี่แห้งที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง แล้วมาบีบอัดบรรจุลงในกระป๋อง ที่ใช้สำหรับส่งไปให้ทหารบริโภคในบางประเทศ เป็นต้น

2.20.3.6. การบรรจุ เป็นการปฏิบัติการที่มีความสำคัญมากสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ทั้งนี้เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งมาแล้ว จะมีความชื้นต่ำซึ่งต่ำกว่าสภาพบรรยากาศทั่วไป ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนำผลิตภัณฑ์อาหารแห้งดังกล่าว มาบรรจุลงในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม เพื่อรักษาคุณภาพ และคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งไว้ ซึ่งโดยทั่วไปภาชนะบรรจุที่ใช้ในการบรรจุอาหารแห้งนั้น ควรที่จะสามารถป้องกันความชื้น แสง อากาศ ฝุ่นละออง จุลินทรีย์ แมลง และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ได้ และควรมีความคงทน มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม อีกทั้งต้องปลอดภัยต่อสุขภาพ เนื่องจากภาชนะบรรจุมักต้องสัมผัสอาหารโดยตรง และควรมีราคาที่เหมาะสมกับมูลค่าของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่จะนำมาบรรจุ ซึ่งภาชนะที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นมีหลายประเภท เช่น ถุงพลาสติก กระเบื้อง ขวดแก้กล่อง กระดาษ เป็นต้น ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดและมูลค่าของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นๆ

2.21 ถุงที่ใช้ในการเก็บรักษา

2.21.1. โพลีเอธิลีน (polyethylene, PE) เป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ทนทาน ป้องกันความชื้นมิให้ผ่านเข้าออกได้ แต่ให้ก๊าซต่างๆ ซึมผ่านได้ ทนกรดและด่างอ่อน ไม่ทนน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันก๊าซและน้ำมันเบนซิน มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 ในรูปแผ่นบาง สามารถพับงอได้ดี มีความยืดตัวได้สูง ฉีกขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ไม่สามารถทนความร้อนสูง แต่ทนความเย็นได้ถึง –100 องศาฟาเรนไฮต์ เม็ดพลาสติก PE แบ่งได้ตามเกรดเป็น 3 ชนิดคือ

2.21.1.1 โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene - LDPE) ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ เช่น กระสอบ ถุงเย็น ซองใส่ของ ตลอดจนเป็นวัตถุดิบผลิตของเล่นเด็กพลาสติกและฉนวนหุ้มสายไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำวัสดุเคลือบผิว (coating or lamination)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และใช้กับงานขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยการเป่า (blow molding) เช่น ขวดพลาสติก คุณสมบัติเด่นของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดนี้คือ มีความเหนียว และคงทน

2.21.1.2 โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) ใช้กับงานเป่าขึ้นรูป (blow moulding) โดยใช้ทำเป็นขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุประเภทต่างๆ ที่ต้องทนต่อแรงดันและต้องมีแรงต้านทานสูง นอกจากนี้ยังใช้ในงานด้านการฉีดขึ้นรูป (injection) เช่น ผลิตของเล่นเด็ก และเครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน ตลอดจนใช้ทำแผ่นฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อ และรางน้ำ ทั้งนี้ ท่อที่ทำจาก HDPE สามารถใช้แทนท่อที่ทำจากพีวีซี เนื่องจากมีความทนทานใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า

2.21.1.3 โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low-density polyethylene - LLDPE) เป็นวัสดุใช้ผสมกับ LDPE เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับตัวผลิตภัณฑ์

2.21.2. โพลีโพรพิลีน (polypropylene - PP) เป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติคล้ายโพลีเอธิลีน ยมให้แสงผ่านได้ดี สามารถมองเห็นอาหารที่บรรจุอยู่ภายในได้ ทนความร้อนได้สูงกว่า PE ถึง 300 องศาฟาเรนไฮต์ รับแรงดึงได้ถึง 100,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และมีความเหนียวทนทานกว่า ในประเทศไทยใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนเป่าเป็นถุงบรรจุเอนกประสงค์ ทั้งถุงร้อนและถุงเย็น รวมทั้งทำเป็นเชือก กระสอบ พื้นพรม สนามหญ้าเทียม ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องใช้ภายในบ้าน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1. วัตถุดิบ

1. ลูกแป้งข้าวหมาก
2. ข้าวเหนียว

3.1.2 อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์ในการตรวจวิเคราะห์หาเชื้อจุลินทรีย์
2. ชุดอุปกรณ์ในการนึ่งข้าวเหนียว
3. ถาดอะลูมิเนียม
4. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave)
5. หลอดทดลอง
6. เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze dryer)
7. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
8. ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven)
9. เครื่องแพ็คสุญญากาศ
10. เครื่องวัด Aw
11. เครื่องวัด pH meter
12. เครื่องชั่งน้ำหนัก
13. ตู้ปลอดเชื้อ
14. รีแฟกซ์เบอร์ 1 , 2
15. ถุงมือกันร้อน
16. ถุงเย็น (Polyetylene (PE))
17. ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์
18. aluminium can

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3. สารเคมี

1. NaOH
2. ฟีนอลทาลีน
3. อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1. ศึกษาการทำแห้งข้าวหมาก

3.2.1.1 การทำข้าวหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

↓

บ่มที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน

วิเคราะห์ พีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งละลาย (° Brix) ของข้าวหมากที่ได้

3.2.1.2 การอบข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อน

ข้าวหมากในจานเพาะเชื้อจากข้อ 1.

↓

นึ่งด้วยไอน้ำ 20 นาที

↓

ชั่งน้ำหนักข้าวหมากก่อนอบ

↓

เข้าตู้อบลมร้อน

↓

อบที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

↓

ชั่งน้ำหนักแล้วนำเข้าตู้อบซ้ำจนน้ำหนักคงที่

↓

วิเคราะห์ ค่า a_w และปริมาณความชื้น

↓

เก็บใส่ถุงถุงเย็นและถุงอะลูมิเนียมฟอล์ย นาน 1 เดือน

↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ ค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณยีสต์รา

3.2.1.3 การอบข้าวหมากด้วยตู้อบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 การอบข้าวหมากด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง freeze drying

3.2.2 การวิเคราะห์ข้าวหมากแห้งก่อนเก็บและหลังเก็บไว้ 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

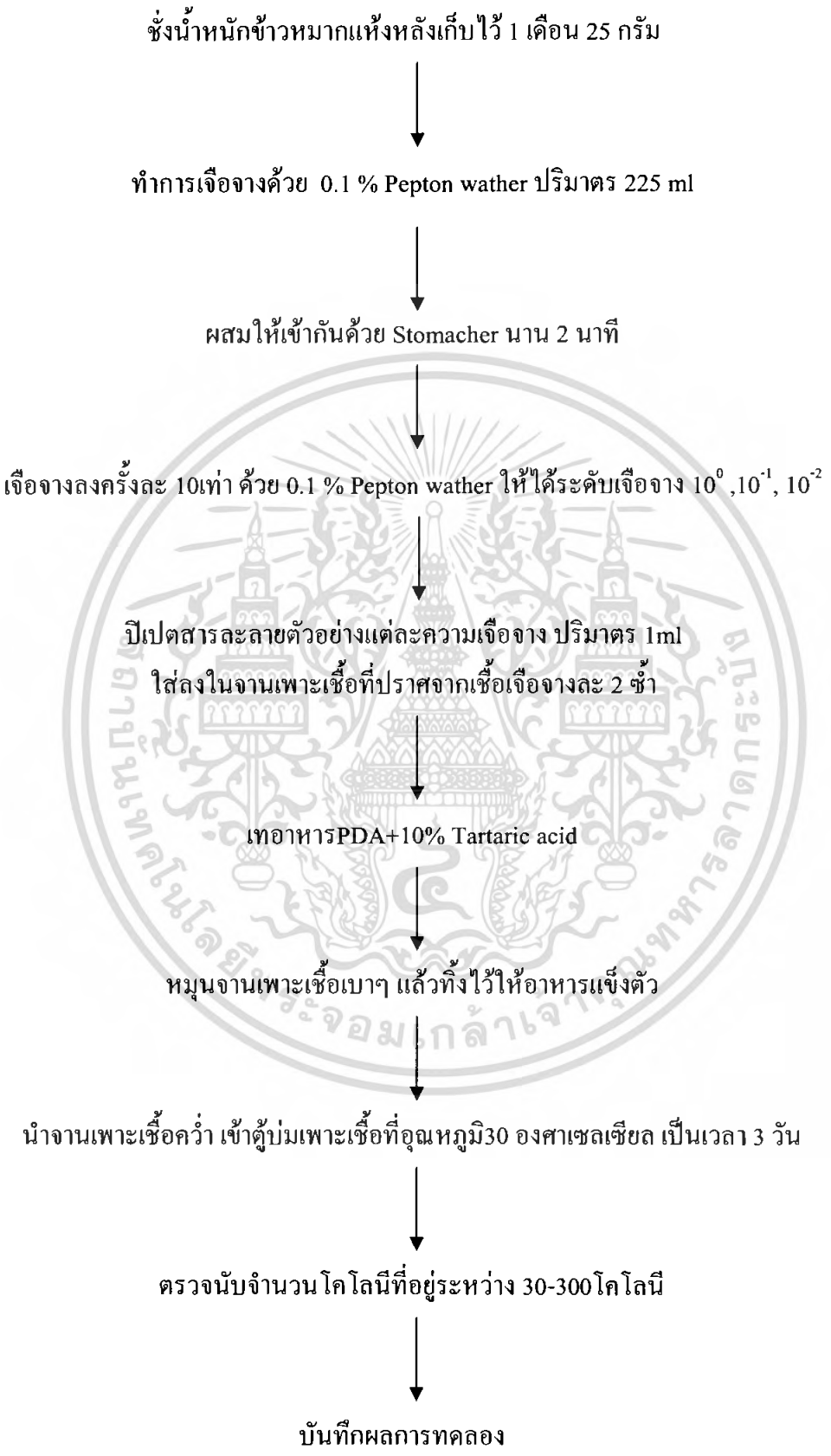
3.2.2.1 วิเคราะห์ ค่า a_w

นำข้าวหมากไปหาค่าAWด้วยเครื่องวัดค่าAW

3.2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

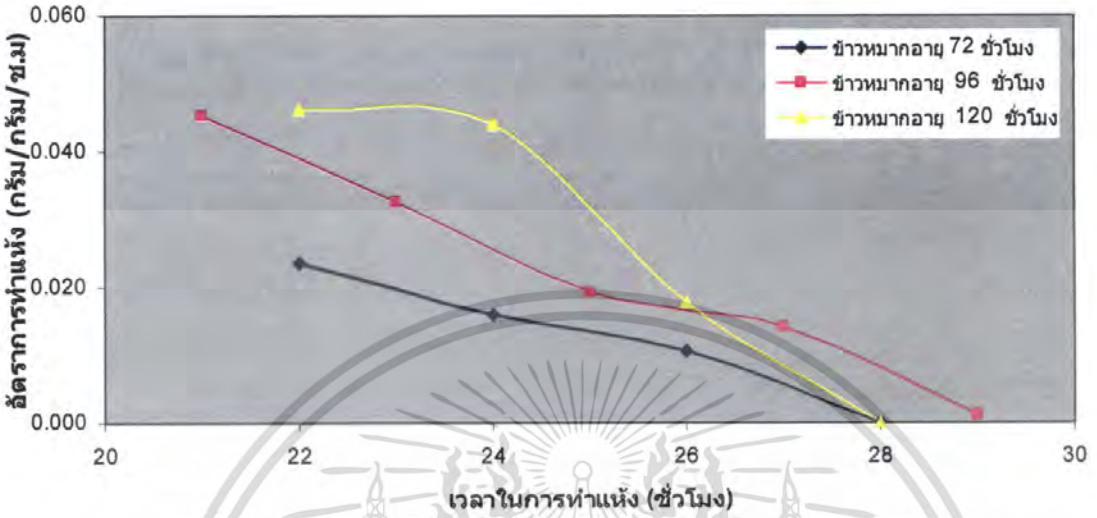
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3 วิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบตู้อบลมร้อนกับตู้อบสุญญากาศซึ่งมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหารซึ่งทำให้สามารถลดความชื้นได้เร็วต่ำลงอีก โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิอาหารที่สูงนัก



ภาพที่ 4.2 แสดงผลของอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

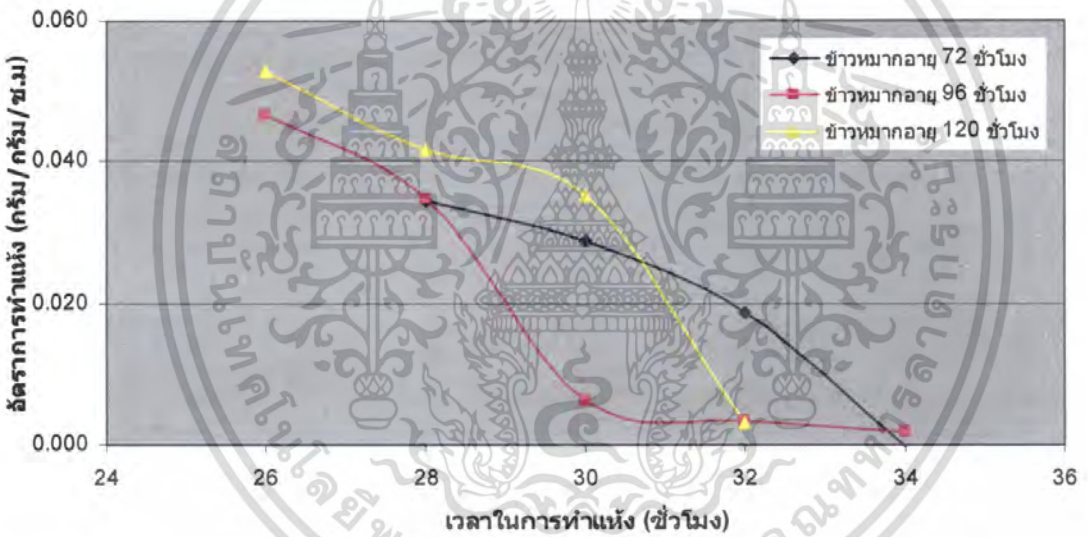
จากภาพที่ 4.2 แสดงอัตราการทำแห้งข้าวหมากที่มีอายุต่างๆ กันด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าข้าวหมาก 72 และ 120 ชั่วโมง จะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยกว่าข้าวหมากที่มีอายุ 96 ชั่วโมง โดยข้าวหมากที่มีอายุ 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทำแห้ง 28, 29 และ 28 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมากกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพราะเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารได้เร็วกว่า การระเหยกลายเป็นไอ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ ต่อมาเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไปน้ำต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนมาที่ผิวไม่เพียงพอ ผิวอาหารจึงแห้ง และการระเหยเกิดขึ้นได้ช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง ดังนั้นจึงทำให้ข้าวหมากที่อายุ 96 ชั่วโมง ของชิ้นอาหารอาจมีการรับความร้อนไม่เท่ากันอาจใช้เวลาในการทำแห้งน้อยซึ่งแตกต่างกันไม่มากกับข้าวหมากที่อายุต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบสุญญากาศจะใช้เวลาใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของอายุข้าวหมากและอุณหภูมิในการทำแห้งต่ออัตราการทำแห้ง

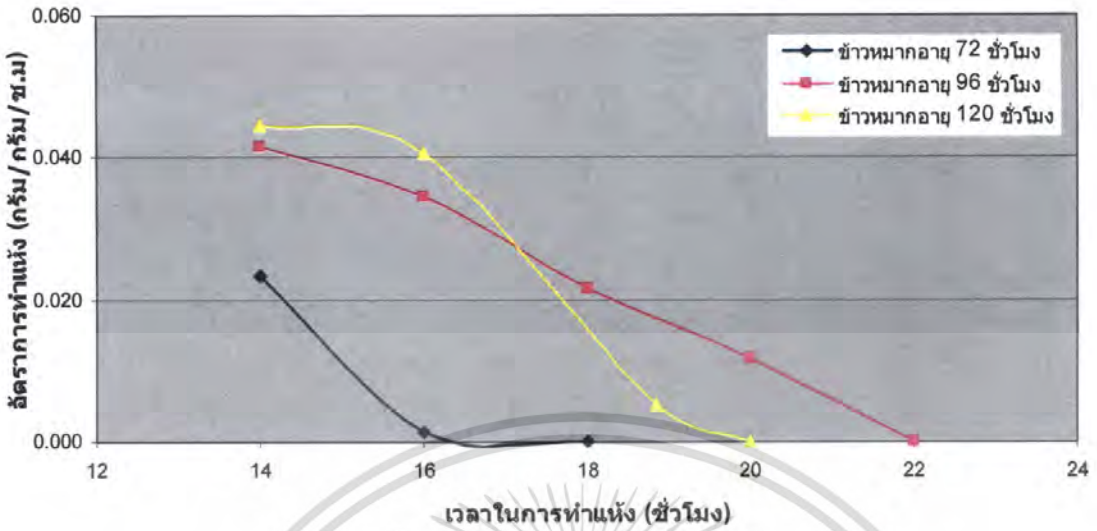
ในการทำแห้งอาหารที่อุณหภูมิใดๆ การทำแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ที่อุณหภูมินั้นๆ เนื่องจากความชื้นของอากาศในเตาอบสมดุลกับความชื้นของอาหารหรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับค่าวอเตอร์แอกติวิตีของอาหารและเรียกความชื้นนั้นว่าความชื้นสมดุล



ภาพที่ 4.1 แสดงผลของอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.1 แสดงอัตราการทำแห้งข้าวหมากที่มีอายุต่างๆ กันด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าข้าวหมาก 96ชั่วโมง จะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยกว่าที่ข้าวหมากที่มีอายุ 72 และ120 ชั่วโมง โดยข้าวหมากที่มีที่อายุ 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทำแห้ง 34, 30 และ 32 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากว่าที่อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง มีน้ำตาลโมเลกุลใหญ่จึงมีโอกาสเกิดเปลือกแข็งมากถ้าอายุข้าวหมากมากขึ้นน้ำตาลโมเลกุลใหญ่จะเปลี่ยนเป็นโมเลกุลเล็กลง ทำให้ข้าวหมากที่มีอายุ 96 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทำแห้งใกล้เคียงกับข้าวหมากที่มีอายุ 120 ชั่วโมง

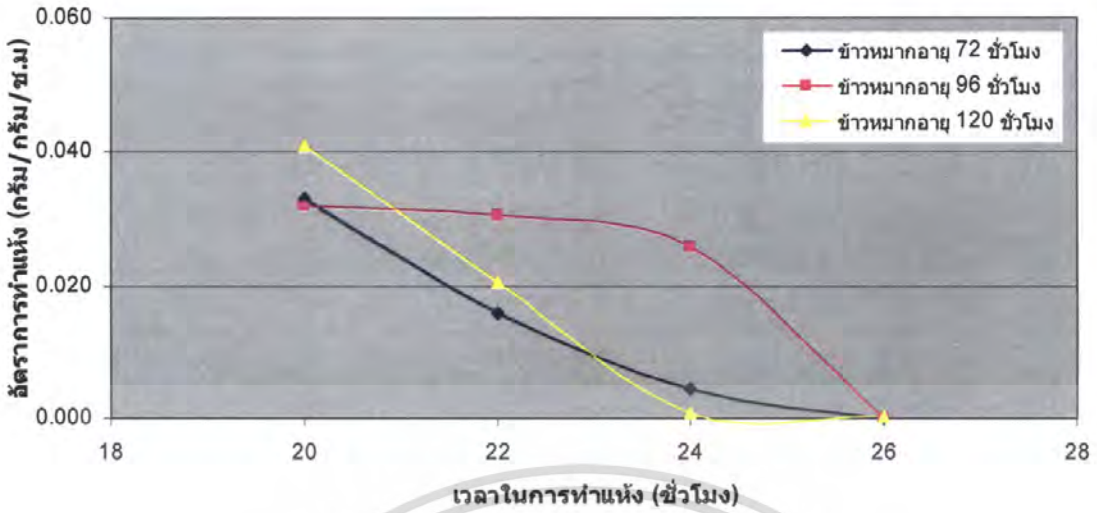
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงผลอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.3 แสดงอัตราการทำแห้งข้าวหมากที่มีอายุต่างๆ กันด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าข้าวหมาก 72 ชั่วโมง จะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยกว่าข้าวหมากที่มีอายุ 96 และ 120 ชั่วโมง โดยข้าวหมากที่มีอายุ 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทำแห้ง 16, 22 และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงจึงเกิดเปลือกแข็งได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ50 และ60 องศาเซลเซียส ส่วนข้าวหมากที่มีอายุ 72 ชั่วโมงใช้เวลาเร็วกว่าเพราะมีน้ำตาลโมเลกุลใหญ่กว่าที่อายุข้าวหมากอื่นๆ จึงทำให้น้ำหนักลดลงเร็วกว่า และข้าวหมากที่มีอายุ 96 และ 120 ชั่วโมงใช้เวลาใกล้เคียงกัน ส่วนการทำแห้งโดยอาศัยอากาศร้อน เมื่ออากาศร้อนสัมผัสกับอาหารความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของชิ้นอาหารและทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอน้ำนี้จะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆชิ้นอาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่อากาศร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวของอาหารลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับอากาศร้อน ความแตกต่างนี้จะเป็นแรงผลักดันให้น้ำจากอาหารระเหยออกมา เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิต่างๆ จะเห็นได้ว่าการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดเปลือกแข็งได้เร็วและใช้เวลาในการทำแห้งน้อย สำหรับตู้อบสุญญากาศจะใช้เวลามากกว่าตู้อบลมร้อน เพราะตู้อบสุญญากาศเกิดเปลือกแข็งได้ช้า อัตราการทำแห้งจึงคงที่ได้ช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



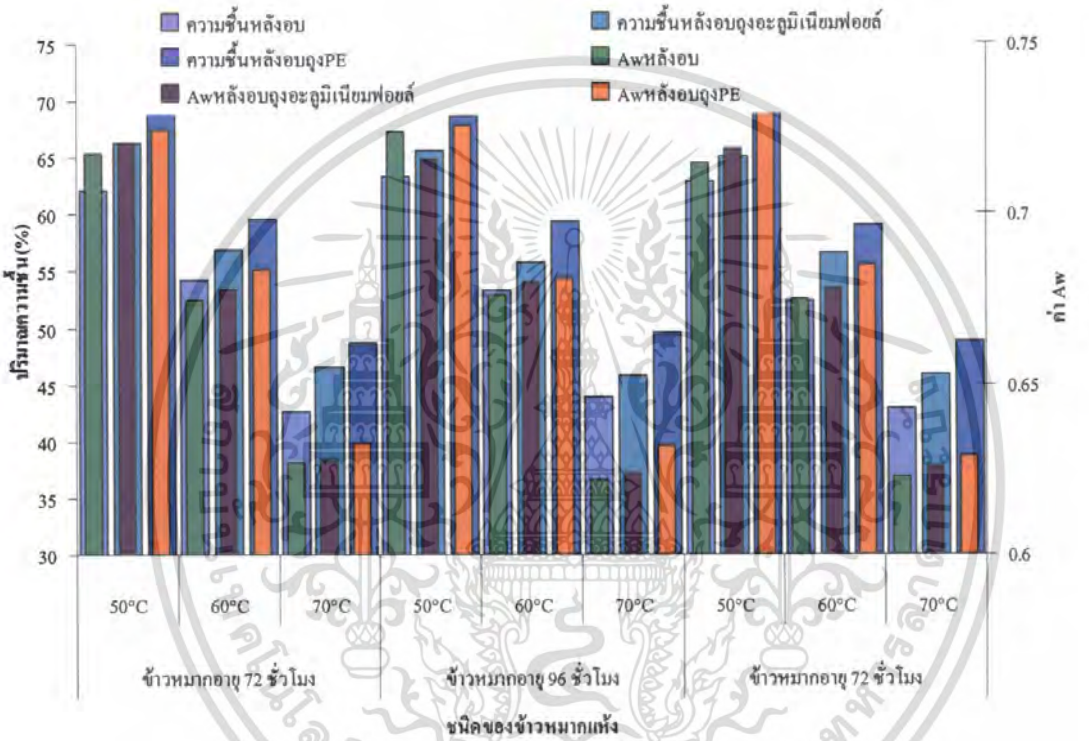
ภาพที่ 4.4 แสดงผลของอายุข้าวหมากต่ออัตราการทำแห้งในการทำแห้งข้าวหมากด้วย ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.4 แสดงอัตราการทำแห้งข้าวหมากที่มีอายุต่างๆ กันด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าข้าวหมาก 120 ชั่วโมง จะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยกว่าที่อายุข้าวหมาก 72 และ 96 ชั่วโมง โดยข้าวหมากที่มีอายุ 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทำแห้ง 26 ,26 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับเนื่องจากมีน้ำตาลโมเลกุลใหญ่กว่าที่อายุข้าวหมากอื่นๆ จึงทำให้น้ำหนักลดลงเร็วกว่า และข้าวหมากที่มีอายุ 72 และ 96 ชั่วโมงใช้เวลาเท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนจะเห็นได้ว่าตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ55 องศาเซลเซียส อัตราการทำแห้งข้าวหมากจะลดลงช้ากว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แต่จะเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เพราะการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดเปลือกแข็งได้เร็วและใช้เวลาในการทำแห้งน้อย สำหรับตู้อบสุญญากาศจะใช้เวลามากกว่าตู้อบลมร้อน ส่วนตู้อบสุญญากาศเกิดเปลือกแข็งได้ช้า อัตราการทำแห้งจึงคงที่ได้ช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งที่ผ่านการทำแห้งของตู้อบลมร้อน ตู้อบสุญญากาศและเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

4.2.1 การศึกษาปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน



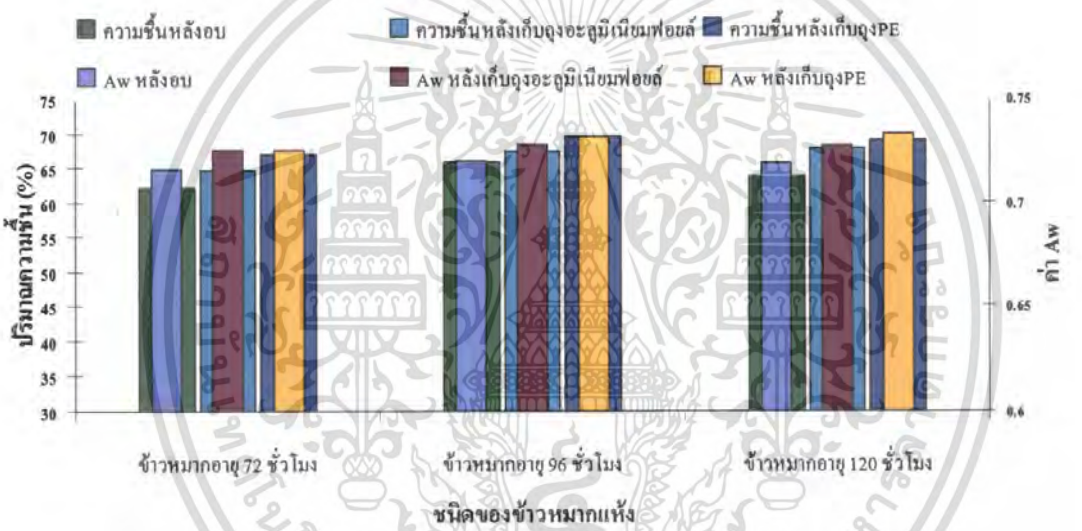
ภาพที่ 4.5 แสดงผลของอายุข้าวหมาก อุณหภูมิในการทำแห้งและชนิดของถุงที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งภายหลังอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียส และภายหลังการเก็บด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE ที่อุณหภูมิห้องนาน 1เดือน

เมื่อนำข้าวหมากแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสมาหาปริมาณความชื้นค่า Aw พบว่าข้าวหมากแห้งที่ทำจากข้าวหมากทุกอายุที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่า Aw ใกล้เคียงกัน โดยข้าวหมากแห้งที่ทำจากข้าวหมากทุกอายุที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่า ปริมาณความชื้นและค่า Aw อยู่ในช่วง 68, 60, 56 % และ 0.71, 0.67, 0.62. ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่าอายุของข้าวหมากไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้ง และข้าวหมากแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีค่าปริมาณความชื้นและค่า Aw ต่ำกว่าข้าวหมากแห้งที่อบที่อุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนการเก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE หลังการทำแห้งนาน 1 เดือนจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งถุง PE จะมีค่ามากกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เพียงเล็กน้อย เห็นว่าได้ว่า ถึงแม้ว่าได้ทำการบรรจุข้าวหมากแห้งด้วยถุง PE ในสภาพสุญญากาศปริมาณความชื้นภายหลังการเก็บจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าข้าวหมากแห้งสามารถดูดความชื้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวหมากแห้งมีปริมาณน้ำตาลสูง

4.2.2 การศึกษาค่า Aw ของข้าวหมากแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ

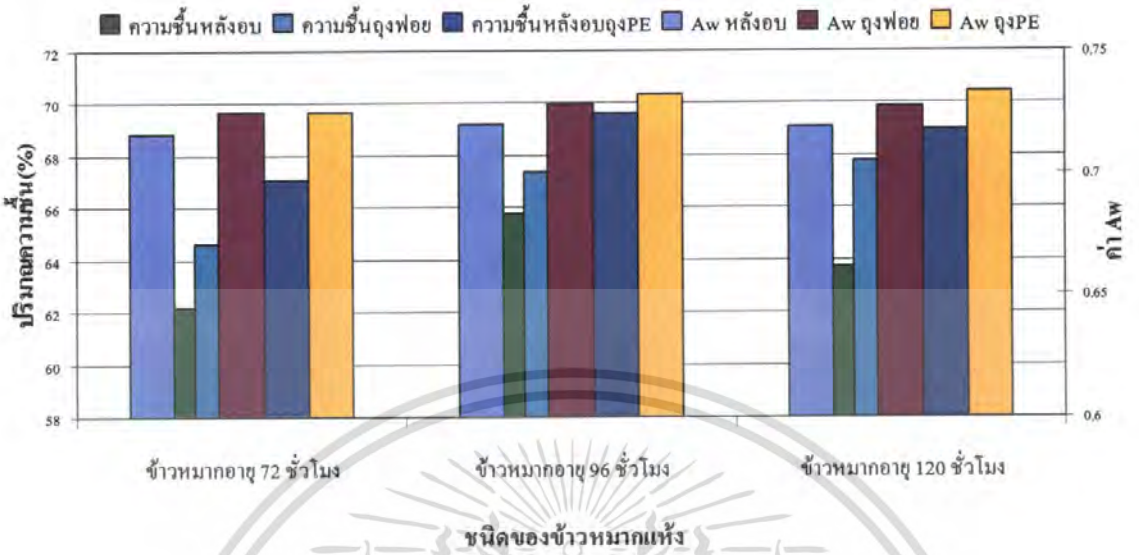


ภาพที่ 4.6 แสดงผลของอายุข้าวหมาก อุณหภูมิในการทำแห้งและชนิดของถุงที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งภายหลังอบด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ55 องศาเซลเซียส และภายหลังการเก็บด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE ที่อุณหภูมิห้องนาน 1เดือน

จากภาพที่ 4.6 แสดงปริมาณความชื้นและค่าAw ของข้าวหมากแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอายุของข้าวหมากไม่มีผลต่อค่าปริมาณความชื้นและค่าAw ของข้าวหมาก โดยข้าวหมากแห้งที่ทำจากข้าวหมากทุกอายุที่ผ่านการทำแห้งจะมีค่าปริมาณความชื้นและค่า Aw 65 % และ 0.72 ส่วนการเก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงPEหลังการทำแห้งนาน 1 เดือน จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความชื้นและค่าAw ของข้าวหมากแห้งถุงPEจะมีค่ามากกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การศึกษาค่า Aw ของข้าวหมากแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบแช่แข็ง

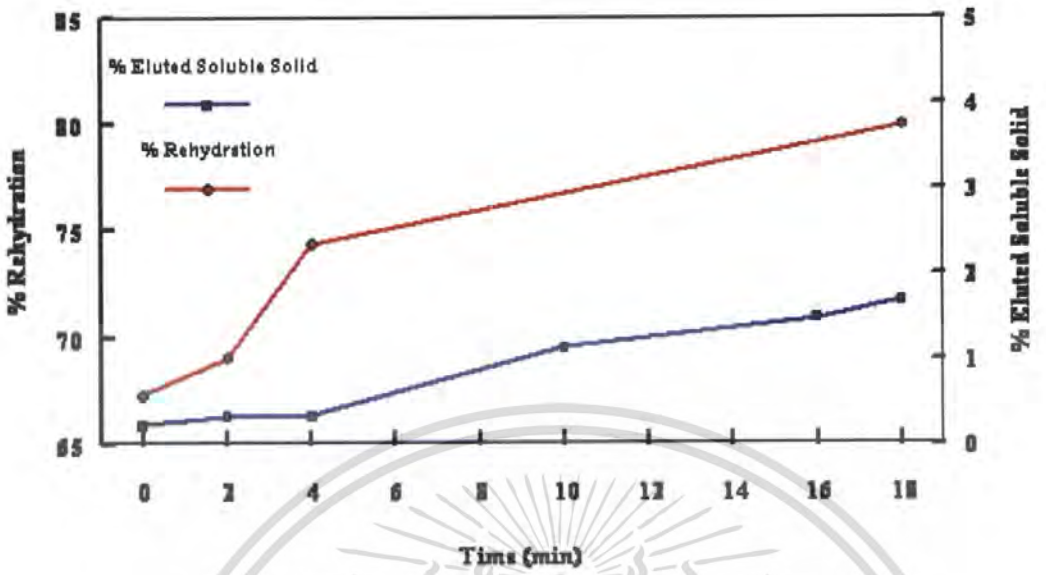


ภาพที่ 4.7 แสดงผลของอายุข้าวหมาก อุณหภูมิในการทำแห้งและชนิดของถุงที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw ของข้าวหมากแห้งภายหลังอบด้วยตู้อบแห้งแบบแช่แข็ง และภายหลังการเก็บด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุง PE ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 เดือน

จากภาพที่ 4.7 แสดงปริมาณความชื้นและค่าAw ของข้าวหมากแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบแช่แข็ง จะเห็นได้ว่าอายุของข้าวหมากไม่มีผลต่อค่าปริมาณความชื้นและค่าAw ของข้าวหมาก จึงทำให้ค่าปริมาณความชื้นและค่าAw ของข้าวหมากที่มีอายุ 72, 96 และ 120 ชั่วโมง โดยข้าวหมากแห้งที่ทำจากข้าวหมากทุกอายุที่ผ่านการทำแห้งจะมีค่าปริมาณความชื้นและค่า Aw 65.8%และ 0.71 ส่วนการเก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงPEหลังการทำแห้งนาน 1 เดือน จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความชื้นและค่าAw ของข้าวหมากแห้งถุงPEจะมีค่ามากกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เพียงเล็กน้อย

4.3 ศึกษาการคืนสภาพน้ำและการถูกชะของของแข็งในระหว่างการคืนสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 แสดงการคืนสภาพน้ำและการถูกชะของของแข็งละลายในระหว่างการคืนสภาพน้ำของข้าวหมากแห้งแบบแช่แข็งที่อุณหภูมิห้อง

จากผลการทดลองภาพที่ 4.8 แสดงการคืนสภาพน้ำและการถูกชะของของแข็งละลายในระหว่างการคืนสภาพน้ำของข้าวหมากแห้งแบบแช่แข็งที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปเปอร์เซ็นต์การคืนสภาพก็จะเพิ่มมากขึ้นแต่ของแข็งที่ถูกละลายก็เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การคืนสภาพที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงเวลา 4 นาทีเพราะการคืนสภาพน้ำจะใกล้เคียงกับข้าวหมากเดิมแต่ปริมาณของแข็งที่ถูกละลายจะน้อยจึงทำให้ข้าวหมากมีรสชาติคล้ายข้าวหมากเดิมแต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้เหมือนเดิม เพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่แข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ศึกษาปริมาณยีสต์และรา

ชนิดของข้าวหมากแห้ง	ยีสต์และรา(cfu /กรัม)
ตู้อบลมร้อน 50 °C	< 300
ตู้อบลมร้อน 60 °C	< 300
ตู้อบลมร้อน 70 °C	< 100
ตู้อบสุญญากาศ 55 °C	< 300
เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง	< 300

ตารางที่ 4.1 ปริมาณยีสต์และราในตัวอย่างข้าวหมากแห้งหลังเก็บ 1 เดือน

จากตารางที่ 4.1 ปริมาณยีสต์และรา จะเห็นได้ว่าปริมาณยีสต์และราของข้าวหมากแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 50 °C ตู้อบลมร้อน 60 °C ตู้อบสุญญากาศ 55 °C และเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งจะมีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 300 cfu /กรัม ส่วนตู้อบลมร้อน 70 °C จะมีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 100 cfu /กรัม จะเห็นได้ว่าถ้าใช้อุณหภูมิมากจะมีปริมาณยีสต์และราน้อย แต่ไม่เหมาะต่อการทำแห้งเพราะจะเกิดเปลือกแข็งก่อนการทำแห้งและเกิดสีน้ำตาลขึ้นโดยที่ไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อน จะมีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสคล้ายสัปปะรดกวน และมะม่วงกวน เป็นต้น แต่จะไม่สามารถคืนสภาพได้ แต่ในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง จะสามารถคืนสภาพได้โดยที่ข้าวหมากยังมีสภาพคล้ายเดิมอยู่ ในการทำแห้งข้าวหมากด้วยตู้อบลมร้อน จะใช้อายุข้าวหมาก96 ชั่วโมง จะใช้เวลาในการทำแห้งข้าวหมากที่ 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจาก 96ชั่วโมง ใช้เวลาน้อยกว่า 72 และ 120 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การเกิดเปลือกแข็งของข้าวหมากจะเกิดน้อยกว่าอุณหภูมิ 60และ70 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ จะใช้อายุข้าวหมาก 120 ชั่วโมง จะใช้เวลาในการทำแห้ง 24 ชั่วโมง เนื่องจากเวลาน้อยกว่าอายุข้าวหมาก 72 และ 96 ชั่วโมง และการทำแห้งแบบแช่แข็งจะใช้อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง เนื่องจากมีความหวานมากกว่าที่อายุข้าวหมาก 96 และ 120 ชั่วโมง

จากการศึกษาการเก็บข้าวหมากแห้งในถุง PE และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาพสุญญากาศนาน 1 เดือน พบว่าลักษณะปรากฏของข้าวหมากแห้งที่ผ่านการเก็บไม่แตกต่างกัน แต่ข้าวหมากแห้งที่เก็บไว้ในถุง PE มีปริมาณความชื้นและค่า Aw สูงกว่าข้าวหมากแห้งที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เพียงเล็กน้อย ในการเก็บรักษาจะเป็นแบบ acid food ซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องแบคทีเรีย แต่จะมีปัญหาเรื่องปริมาณยีสต์และรา จากผลการทดลองจะมีปริมาณยีสต์และราน้อยมาก เนื่องจากว่า ก่อนการทำแห้งข้าวหมากทำการนึ่งด้วยไอน้ำนาน 20 นาที ซึ่งสามารถทำลายปริมาณยีสต์และราได้ และในการทำแห้งข้าวหมากจะใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงโดยใช้อุณหภูมิ 50 °c ขึ้นไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเชื้อจุลินทรีย์ การทำแห้งข้าวหมากสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งจะเหมาะต่อการคืนสภาพ สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกได้

ข้อเสนอแนะ

- ในการเก็บรักษาข้าวหมากแห้งควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติด้วย
- การศึกษาอายุข้าวหมากควรเก็บให้นานกว่า 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

สิรินทรเทพ ภักดีศุภผล.2523. **" การหมักข้าวหมากด้วยเชื้อบริสุทธิ์."** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยวัฒน์ จาติเสถียร.2520**. "การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราและยีสต์ในลูกแป้งสำหรับการหมักข้าวหมาก."** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เปมิกา ขำวีระ.2547**. "คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ข้าวหมาก"**วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พรพล รมย์นุกูล. **การถนอมอาหาร.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 2545

วรายุ ลี้ประเสริฐ. **การทำข้าวหมากและสาโทไบโอเทคพื้นบ้านไทย**.กรุงเทพฯ: ชมรมเด็ก. 2546

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.**วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.2546

อรวินท์ เลาหรัชตนันท์ ศศิมน ปรีดี และ โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. 2545. **การถนอมและการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4** มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงน้ำหนักที่ลดลงของข้าวหมากแห้งกับระยะเวลาของอายุข้าวหมากที่ 72 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง		
อุณหภูมิ	ชั่วโมง	น้ำหนัก
ตู้อบลมร้อน 50°C	28	73.19
	30	73.99
	32	74.41
	34	75.59
	36	75.59
ตู้อบลมร้อน 60°C	22	72.46
	24	74.59
	26	74.95
	28	75.27
	30	75.28
ตู้อบลมร้อน 70°C	20	76.36
	22	77.62
	24	77.67
ตู้อบสุญญากาศ 55°C	20	72.56
	22	74.37
	24	75.18
	26	75.41
	28	75.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงน้ำหนักที่ลดลงของข้าวหมากแห้งกับระยะเวลาของอายุข้าวหมากที่ 96 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

อายุข้าวหมาก 96 ชั่วโมง		
อุณหภูมิ	ชั่วโมง	น้ำหนัก
ตู้อบลมร้อน 50°C	26	73.29
	28	77.75
	30	77.7
	32	77.99
	34	78.22
	36	78.23
ตู้อบลมร้อน 60°C	21	73.56
	23	75.92
	25	77.52
	27	78.44
	29	79.09
	31	79.09
ตู้อบลมร้อน 70°C	14	76.06
	16	77.3
	18	78.77
	20	79.65
	22	80.12
ตู้อบสุญญากาศ 55°C	20	72.12
	22	72.6
	24	74.42
	26	76.18
	28	76.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงน้ำหนักที่ลดลงของข้าวหมากแห้งกับระยะเวลาของอายุข้าวหมากที่ 120 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

อายุข้าวหมาก 120 ชั่วโมง		
อุณหภูมิ	ชั่วโมง	น้ำหนัก
ตู้อบลมร้อน 50°C	26	71.46
	28	72
	30	73.13
	32	73.38
	34	73.54
ตู้อบลมร้อน 60°C	22	69.59
	24	71.45
	26	74.35
	28	75.4
ตู้อบลมร้อน 70°C	20	77.29
	22	78.93
	24	80.29
	26	80.45
ตู้อบสุญญากาศ55°C	20	72.55
	22	73.79
	24	75.82
	26	75.86
	28	75.87

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงค่า Aw ของข้าวหมากแห้งของอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อน

ค่า Aw	อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง			อายุข้าวหมาก 96 ชั่วโมง			อายุข้าวหมาก 120 ชั่วโมง		
อุณหภูมิ	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
ความชื้นก่อนเก็บ	0.718	0.675	0.627	0.724	0.676	0.622	0.715	0.675	0.623
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	0.721	0.678	0.628	0.716	0.68	0.624	0.719	0.678	0.626
ถุงPE	0.725	0.684	0.633	0.726	0.681	0.632	0.73	0.685	0.629

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงค่า Aw ของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมง ด้วยตู้อบสุญญากาศ

ค่า Aw	อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 96 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 120 ชั่วโมง
ค่า Aw ก่อนเก็บ	0.716	0.72	0.719
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	0.725	0.728	0.727
ถุงPE	0.725	0.732	0.733

ตารางภาคผนวกที่ 6 แสดงค่า Aw ของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

ค่า Aw	อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 96 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 120 ชั่วโมง
ค่า Aw ก่อนเก็บ	0.645	0.639	0.641
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	0.65	0.642	0.647
ถุงPE	0.655	0.649	0.653

ตารางภาคผนวกที่ 7 แสดงปริมาณความชื้นของข้าวหมากแห้งของอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อน

ความชื้น	อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง			อายุข้าวหมาก 96 ชั่วโมง			อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง		
อุณหภูมิ	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
ความชื้นก่อนเก็บ	62.15	54.25	42.68	63.33	53.33	43.95	62.78	52.43	42.92
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	66.35	56.89	46.58	65.64	55.75	45.73	64.98	56.58	45.86
ถุงPE	69.02	59.52	48.72	68.59	59.32	49.57	68.97	58.98	48.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 แสดงปริมาณความชื้นของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยตู้อบสุญญากาศ

ความชื้น	อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 96 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 120 ชั่วโมง
ความชื้นก่อนเก็บ	62.16	65.75	63.74
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	64.62	67.39	67.81
ถุงPE	67.05	69.6	69

ตารางภาคผนวกที่ 9 แสดงปริมาณความชื้นของข้าวหมากแห้งกับอายุข้าวหมากที่ 72 96 และ120 ชั่วโมงด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

ความชื้น	อายุข้าวหมาก 72 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 96 ชั่วโมง	อายุข้าวหมาก 120 ชั่วโมง
ความชื้นก่อนเก็บ	63.32	65.57	65.67
ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	65.58	68.8	67.06
ถุงPE	67.21	70.01	69.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 10 แสดงเวลาการคืนสภาพน้ำและการถูกชะของของแข็งละลายในระหว่างการคืนสภาพน้ำของข้าวหมากแห้งแบบแช่แข็งที่อุณหภูมิห้อง

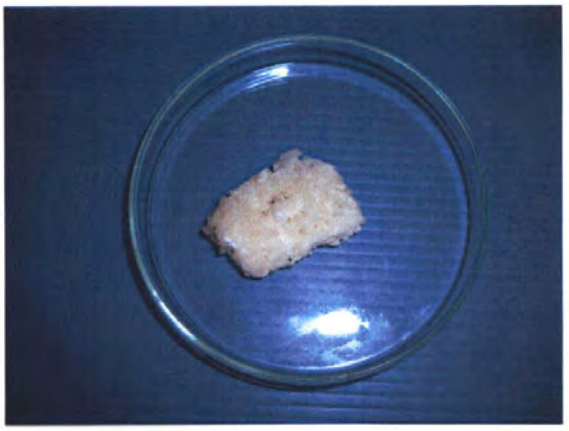
เวลา (นาที)	การถูกชะของของแข็ง	ค่าเฉลี่ย
0	0.1937	0.2152
0	0.2367	
2	0.309	0.3221
2	0.3352	
4	0.3532	0.3266
4	0.3	
6	1.1294	1.0356
6	0.9419	
8	1.2359	1.2943
8	1.3527	
10	1.3065	1.128
10	0.9497	
12	2.0393	1.9367
12	1.8341	
14	1.7262	1.6663
14	1.6064	
16	1.5505	1.467
16	1.3836	
18	1.7743	1.6839
18	1.5936	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพแสดงการคืนสภาพน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 1 นำข้าวหมากหลังจากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งมาชั่งเครื่องชั่ง 4 กรัม

ภาพผนวกที่ 2 ปิเปตน้ำที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส 20 มิลลิลิตรลงใน plateข้าวหมาก ขั้นตอนที่ 1 จากนั้นทิ้งไว้ 0,2,4,6,8,10,12,14,16,18 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 3 นำข้าวหมากที่แช่ทิ้งไว้ตามระยะเวลาในขั้นตอนที่2 มากรองด้วยกระดาษเบอร์1 30นาที จากนั้นนำน้ำส่วนที่กรองได้ไประเหยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำจะระเหยออกหมด

ภาพผนวกที่ 4 นำน้ำส่วนที่กรองได้ไประเหยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำจะระเหยออกหมด นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาการถูกชะของของแข็งที่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจรีรัตน์ สัชฌุกรกุล เกิดวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 จังหวัดชลบุรี สำหรับการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี พ.ศ. 2547 ปัจจุบันศึกษาอยู่ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตร์ (สาขาเทคโนโลยีการหมัก)

นางสาวอภิรดี ศรีมุล เกิดวันที่ 26 กรกฎาคมพ.ศ. 2528 จังหวัดกาฬสิญธุ์ สำหรับการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษก จังหวัดกาฬสิญธุ์ พ.ศ. 2547 ปัจจุบันศึกษาอยู่ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตร์ (สาขาเทคโนโลยีการหมัก)

นางสาวทิพวัล คุ้มจันทร์ เกิดวันที่ 10 มิถุนายนพ.ศ. 2528 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ จังหวัดกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2547 ปัจจุบันศึกษาอยู่ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตร์ (สาขาเทคโนโลยีการหมัก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้