

ผลของการอบแห้งแบบ 2 ชั้นตอน และอุณหภูมิในการเก็บต่อปริมาณสารหอม
2-อะเซทิล-1-พีโรลีน และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105
Oryza sativa L.



นางสาวธัญญารัตน์ เตชะทรัพย์อมร

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-3438-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF TWO-STAGE DRYING AND STORAGE TEMPERATURES ON
AROMA COMPOUND 2-ACETYL-1-PYRROLINE AND MILLING
QUALITY OF KHAO DAWK MALI 105 *Oryza sativa* L.



Ms. Thunyarat Taechasubamorn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-3438-3

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการอบแห้งแบบ 2 ชั้นตอน และอุณหภูมิในการเก็บต่อ ปริมาณสารหอม 2-อะเซทิล-1-พิโรลีน และคุณภาพการสีของ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L.

โดย

นางสาวธัญญารัตน์ เตชทรัพย์อมร

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคส์ตฤศาสน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ละมุล วิเศษ)

ธัญญารัตน์ เตชทรัพย์อมร : ผลของการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน และอุณหภูมิในการเก็บ
ต่อปริมาณสารหอม 2-อะเซทิล-1-พีโรลีน และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105
Oryza sativa L. (EFFECTS OF TWO-STAGE DRYING AND STORAGE
TEMPERATURES ON AROMA COMPOUND 2-ACETYL-1-PYRROLINE AND
MILLING QUALITY OF KHAO DAWK MALI 105 *Oryza sativa* L.) อ.ที่ปรึกษา : อ.
ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.วรรณ ตูลยธัญ, 126 หน้า. ISBN
974-14-3438-3.

งานวิจัยนี้เป็นการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยนำเอาเทคนิคฟลูอิดเซชันมาใช้ร่วมกับการอบแห้งใน
โรงเก็บ เพื่อติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ภายหลังจากการอบแห้ง โดยแบ่ง
การวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชันจาก
ความชื้นเริ่มต้น 35% dry basis (db) ลดลงเป็น 23-25% db สำหรับอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 100 115 125
135 และ 150°C ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 4 นาที 40 วินาที 3 นาที 25 วินาที 3 นาที 5 วินาที 2 นาที 35 วินาที
และ 2 นาที 15 วินาทีตามลำดับ ต่อจากนั้นนำตัวอย่างข้าวเปลือกไปอบแห้งในโรงเก็บโดยใช้ภาวะแวดล้อม
จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 14-15% db ใช้เวลา 2-3 วันในช่วงที่สอง

การศึกษานในส่วนที่ 2 ศึกษาผลการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนต่อคุณภาพของข้าว พบว่าอุณหภูมิในการ
อบแห้งที่ต่างกันส่งผลให้ water activity (a_w) ความชื้น เเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ดัชนีความขาวของข้าวสาร ความ
เหลืองของข้าวสาร และปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ
สูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถช่วยรักษาในเรื่องดัชนีความขาว
ของข้าวสารและปริมาณ 2AP ไว้ได้ และเมื่อนำตัวอย่างข้าวสารไปส่องด้วยเครื่อง Scanning Electron
Microscopy (SEM) พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เม็ดแป้งที่บริเวณขอบของเมล็ดข้าวเกิดการหลอม
เพิ่มขึ้นและเกิดเจลาติไนซ์บางส่วนเพิ่มขึ้น โครงสร้างจัดเรียงตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีความแข็งแรงทนต่อ
แรงกระแทกในการสีได้ดี

การศึกษานในส่วนที่ 3 ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นเวลา
6 เดือน พบว่าการเก็บรักษาข้าวนานขึ้นส่งผลให้ ดัชนีความขาวของข้าวสารและปริมาณ 2AP ลดลงอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p \leq 0.05$) สำหรับผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ความ
เหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น ดัชนีความขาวของข้าวสารและปริมาณ 2AP ลดลงและเมื่อแปรค่าอุณหภูมิในการเก็บ
รักษาข้าวเปลือกที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง (28-30°C) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของ
ข้าว โดยการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ดัชนีความขาวของข้าวสารและปริมาณ 2AP ลดลงในขณะที่
เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน และความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนิสิต...ธัญญารัตน์...เตชทรัพย์อมร.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม...วรรณ ตูลยธัญ.....

4672537223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
 KEY WORD : FLUIDISED BED / SHADE DRY / KHAO DAWK MALI 105 /
 2-ACETYL-1-PYRROLINE / STORAGE

THUNYARAT TAECHASUBAMORN : EFFECTS OF TWO-STAGE DRYING AND STORAGE TEMPERATURES ON AROMA COMPOUND 2-ACETYL-1-PYRROLINE AND MILLING QUALITY OF KHAO DAWK MALI 105 *Oryza sativa* L. THESIS ADVISOR : CHALEEDA BOROMPICHAICHARTKUL, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. VANNA TULYATHAN, Ph.D., 126 pp. ISBN 974-14-3438-3.

Effects of two-stage drying and storage temperatures on 2AP and milling quality of Khao Dawk Mali 105 were investigated in this research. The study was divided into three parts, In the first part, paddy was dried under fluidised bed dryer using hot air temperatures of 100, 115, 125, 135 and 150°C, the suitable drying time for the first stage drying was 4 min 40 sec, 3 min 25 sec, 3 min 5 sec, 2 min 35 sec and 2 min 15 sec, respectively to reduce moisture content from 35% db to 23-25% db. The second stage drying, rice samples were shade dried at ambient temperature until their moisture content were down to 14-15% db. At this stage the drying time was 2-3 days.

In the second part of this study, 2AP and milling qualities of paddy after drying from various temperatures were examined. Water activity (a_w), moisture content, head rice yield, white index, b^* and 2AP content were significant different ($p \leq 0.05$) when dried under different drying temperatures. Head rice yield, b^* of the rice increased while white index and 2AP content decreased when drying temperature was increased. The structure of starch granule from drying conditions observed under SEM showed the melting of starch granule and partial gelatinisation when the drying temperature increased.

In the final part, dried paddy was stored at 15°C and ambient temperature for six months. It was found that the white index, 2AP content decreased. On the other hand, head rice yield and b^* was increased with storage time. For the effects of drying temperatures, head rice yield and b^* of the rice were increased while white index and 2AP content were decreased when drying temperature was increased. Storage at 15°C can retain white index and 2AP content, and retard the development of b^* better than ambient temperature and the head rice yield of paddy was decreased.

Department:Food Technology..... Student's Signature: *Thunyarat Taechasubamorn*
 Field of Study:Food Technology..... Advisor's Signature: *Chaleeda Borompichaichartkul*
 Academic Year:2006..... Co-advisor's Signature: *V. Tulyathan*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตูลย์ธัญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำแนวทางในการวิจัย และคำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างมากกับวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคส์ตฤศาสน์ ซึ่งเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวณิช และ อาจารย์ ดร. ละมุล วิเศษ ซึ่งเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ โสภณวรรณฤทธิ์ สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องอบแห้ง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกัญญา วงศ์พรชัย และ คุณทินกร สีเสียดคำ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และโครงการ Postgraduate Education and Research Program in Chemistry Higher Education Development Project, Ministry of Education (PERCH) ที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ พี่น้องๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือที่มีให้ และขอบคุณพี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการที่อำนวยความสะดวกในการวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่สนับสนุนด้านการเงิน ให้ความห่วงใย และกำลังใจแก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	2
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	86
ภาคผนวก ข.....	96
ภาคผนวก ค.....	124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	126

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	16
4.1	31
4.2	33
4.3	34
4.4	35
4.5	38
4.6	41
4.7	42
4.8	43
4.9	47
4.10	54
4.11	59
4.12	60
4.13	68
ก.1	90
ข.1	95

ตารางที่	หน้า
ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปริมาณความชื้นข้าวเปลือก (% db) กับเวลาของตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C.....	96
ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก (°C) กับเวลาของตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C.....	97
ข.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (db) กระเปาะเปียก (wb) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของอากาศที่อุณหภูมิห้องในระหว่างการอบแห้งในโรงเก็บ.....	97
ข.5 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (db) กระเปาะเปียก (wb) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของอากาศที่อุณหภูมิห้องในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	98
ข.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (db) กระเปาะเปียก (wb) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของอากาศที่ 15°C ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	100
ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน a_w ที่ระยะเวลา 0 เดือน.....	101
ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความชื้นที่ระยะเวลา 0 เดือน.....	101
ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ระยะเวลา 0 เดือน.....	101
ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนดัชนีความขาวของข้าวสารที่ระยะเวลา 0 เดือน.....	102
ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเหลืองของข้าวสารที่ระยะเวลา 0 เดือน.....	102
ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณ 2AP ที่ระยะเวลา 0 เดือน.....	102
ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน a_w ที่ระยะเวลา 6 เดือน.....	103
ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความชื้นที่ระยะเวลา 6 เดือน.....	103
ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ระยะเวลา 6 เดือน.....	104
ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนดัชนีความขาวของข้าวสารที่ระยะเวลา 6 เดือน.....	104
ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเหลืองของข้าวสารที่ระยะเวลา 6 เดือน.....	105
ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณ 2AP ที่ระยะเวลา 6 เดือน.....	105
ข.19 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ a_w	106
ข.20 ผลของอุณหภูมิต่อ a_w	106
ข.21 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w	106
ข.22 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิต่อ a_w	107
ข.23 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w	108
ข.24 ผลของอุณหภูมิต่อ a_w	108

ตารางที่

หน้า

ข.53 ผลของระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP.....	123
ข.54 ผลของอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP.....	123



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	4
2.2 ลักษณะของข้าวต้นและข้าวหัก.....	5
2.3 ลักษณะของฟลูอิดไซเบต.....	11
2.4 ลักษณะเครื่องฟลูอิดไซเบต.....	12
2.5 สูตรโครงสร้างสาร 2AP (C ₆ H ₉ NO).....	15
2.6 กลไกการเกิดสาร Hexanal.....	17
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร 2AP ต่ออุณหภูมิในการอบแห้ง.....	18
2.8 การเกิดปฏิกิริยา Strecker degradation ระหว่าง proline กับ 2-oxopropanal.....	19
2.9 กลไกการเกิดสาร 2AP.....	19
2.10 ผลของการเติม amino acid ต่อปริมาณสาร 2AP.(<input checked="" type="checkbox"/> ปริมาณสาร 2AP ในต้นอ่อน จากเมล็ดหลังการเติม amino acid <input type="checkbox"/> ปริมาณสาร 2AP ในเนื้อเยื่อหลังการเติม amino acid).....	20
2.11 การเกิดสาร 2AP จาก proline.....	21
2.12 ปริมาณสาร 2AP ของตัวอย่างข้าวที่ได้จากการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ และเก็บรักษาเป็น เวลา 10 เดือน.....	21
2.13 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา.....	24
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไซเบตที่อุณหภูมิ 100°C.....	28
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการ อบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไซเบตที่อุณหภูมิ 115°C.....	29
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไซเบตที่อุณหภูมิ 125°C.....	29
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไซเบตที่อุณหภูมิ 135°C.....	30
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไซเบตที่อุณหภูมิ 150°C.....	30

รูปที่	หน้า
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของตัวอย่างอ้างอิงที่ผ่านการอบแห้งในโรงเก็บ.....	32
4.7 ภาพตัดขวางของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 100°C โดย A1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่เป็นตัวอย่างอ้างอิงกำลังขยาย 1,500 เท่า, A2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่เป็นตัวอย่างอ้างอิงกำลังขยาย 55 เท่า, B1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 100°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, B2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 100°C กำลังขยาย 55 เท่า.....	36
4.8 ภาพตัดขวางของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 115 และ 150°C โดย C1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 115°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, C2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 115°C กำลังขยาย 55 เท่า, D1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 150°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, D2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิ 150°C กำลังขยาย 55 เท่า.....	37
4.9 โครมาโตแกรมของสาร 2AP จากตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 115°C.....	39
4.10 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ a_w	44
4.11 ผลของอุณหภูมิต่อ a_w	44
4.12 ผลของอุณหภูมิต่อ a_w	45
4.13 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อกับอุณหภูมิต่อ a_w	45
4.14 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อกับอุณหภูมิต่อ a_w	46
4.15 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้นกับอุณหภูมิต่อ a_w	46
4.16 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น.....	48
4.17 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น.....	48
4.18 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น.....	49

รูปที่	หน้า
4.19 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณความชื้น.....	49
4.20 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ ความชื้น.....	50
4.21 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น.....	50
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง.....	51
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่ 15°C.....	52
4.24 การเปรียบเทียบระหว่างความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 15°C.....	52
4.25 การเปรียบเทียบระหว่างความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 15°C.....	53
4.26 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน.....	55
4.27 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน.....	55
4.28 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน.....	56
4.29 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ ข้าวตัน.....	57
4.30 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ ข้าวตัน.....	57
4.31 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน.....	58
4.32 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร.....	61
4.33 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร.....	61
4.34 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร.....	62
4.35 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อความเหลืองของข้าวสาร.....	62
4.36 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร.....	63
4.37 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร.....	63
4.38 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาว ของข้าวสาร.....	64

รูปที่	หน้า
4.39 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อความเหลืองของข้าวสาร.....	65
4.40 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร.....	65
4.41 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร.....	66
4.42 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร...67	67
4.43 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร.....	67
4.44 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP.....	69
4.45 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP.....	70
4.46 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP.....	70
4.47 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP.....	71
4.48 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP.....	72
4.49 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP.....	73
4.50 อัตราการลดลงของ 2AP ในตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง.....	73
ก.1 เครื่องกะเทาะเปลือก (Satake).....	88
ก.2 เครื่องขัดข้าว (Mc.Gill.Miller).....	88
ก.3 เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Sizing device).....	89
ก.4 กราฟมาตรฐานของ 2AP.....	92
ก.5 เครื่อง Headspace Gas Chromatography.....	93
ก.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด.....	95

บทที่ 1

บทนำ

ในบรรดาผู้ส่งออกข้าวประเทศไทยสามารถครองตำแหน่งเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับหนึ่งของโลกมานานกว่ายี่สิบปีติดต่อกัน โดยข้าวขาวดอกมะลิ 105 ถือว่าเป็นพันธุ์ข้าวที่ส่งออกมากประมาณ 20-25% ของยอดการส่งออกข้าวไทยทั้งหมด ซึ่งในปี 2547 ประเทศไทยสามารถส่งออกข้าวขาวดอกมะลิได้สูงกว่า 2 ล้านตัน (กระทรวงพาณิชย์, 2547; งามชื่น คงเสรี, 2545) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นที่รู้จักกันดีในหมู่ผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นข้าวที่มีคุณภาพสูง ลักษณะข้าวเปลือกเรียวยาว เมื่อสีเป็นข้าวสารจะได้ข้าวเมล็ดเรียวยาว ขาวใส เมื่อนำไปหุงข้าวสวยที่ได้จะนุ่มเหนียว และมีลักษณะพิเศษคือ มีกลิ่นหอมโดยธรรมชาติ ต่างจากข้าวทั่วไปที่มีข้าวสวยค่อนข้างร่วนแข็ง (นิสากร ปานประสงค์, 2547)

คุณภาพของข้าวจะดีหรือไม่ย่อมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย หนึ่งในปัจจัยเหล่านี้ เช่น ความชื้นของเมล็ดข้าว พบว่าข้าวหลังการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวด ข้าวเปลือกที่ได้จะมีความชื้นในเมล็ดอยู่สูงจึงจำเป็นต้องทำการลดความชื้นในเมล็ดให้แห้งโดยเร็วที่สุด เช่น การตากแดด การอบแห้งด้วยความร้อน เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถป้องกันการทำลายของแมลงศัตรูในโรงเก็บ เชื้อรา การเสื่อมคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาได้ ในขณะเดียวกันความร้อนและความชื้นกลับเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้กลิ่นหอมซึ่งเป็นลักษณะพิเศษในข้าวหอมเสื่อมเร็วขึ้น นั่นคือความร้อนจะช่วยส่งเสริมการระเหยของสารหอม ส่วนความชื้นจะทำให้ข้าวเกิดกลิ่นเหม็นสาบ (กิตติยา กิจควรดี, 2545) ดังนั้นหากเราสามารถหาภาวะในการลดความชื้นจากเมล็ดข้าวที่เหมาะสมได้ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรักษาคุณภาพของข้าวให้ได้มาตรฐาน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (การอบแบบฟลูอิดไรซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) และอุณหภูมิในการเก็บต่อปริมาณสารหอม 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพื่อเป็นทางเลือกในการลดความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้อย่างถูกต้องที่ภาวะที่เหมาะสมส่งผลให้ข้าวเปลือกที่ผลิตได้มีคุณภาพสูงเมื่อนำไปแปรรูปเป็นข้าวขาวย่อมได้ข้าวขาวที่มีคุณภาพที่ดี

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชวงศ์หญ้า (วงศ์ Gramineae) มีความหลากหลายของชนิดอยู่ 23 ชนิด ในจำนวนนี้เป็นข้าวปลูกเพียง 2 ชนิดคือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* L.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) ข้าวเอเชียนั้นมีการปลูกมากกว่าข้าวแอฟริกา และจากการศึกษาพันธุ์ข้าวเอเชียโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นพบว่า มีลักษณะข้าวที่แตกต่างกันเป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ ข้าวอินดิกา ข้าวจาปอนิกา และข้าวจาวานิกา แหล่งปลูกข้าวชนิดแรกนั้นอยู่ในประเทศเขตร้อน ได้แก่ฟิลิปปินส์ เวียดนาม ไทย กัมพูชา ลาว พม่า ศรีลังกา อินเดีย บังคลาเทศ และอินโดนีเซีย และกลุ่มที่สองปลูกมากในประเทศญี่ปุ่นและเกาหลี ส่วนกลุ่มสุดท้ายนั้นพบในอินโดนีเซียบางพื้นที่ (เอกสงวน ชูวิสิฐกุล, 2544) นอกจากกลุ่มย่อยทั้งสามกลุ่มแล้วอาจมีการแบ่งกลุ่มย่อยของข้าวเพิ่มขึ้นอีกเป็น กลุ่มจาปอนิกาเขตร้อน (Tropical japonica) ข้าวเหนียว และข้าวหอม (นิสากร ปานประสงค์, 2547)

การจำแนกประเภทของข้าว เราอาจจำแนกประเภทของข้าวได้ตามสมบัติที่เหมือนกันของข้าว ซึ่งสามารถแยกได้หลายวิธี เช่น การแยกตามสมบัติทางเคมี (แยกตามชนิดเนื้อแป้งในเมล็ดข้าว หรือแยกตามปริมาณแอมิโลสหรือแอมิโลเพกทิน) ประกอบด้วย

2.1.1 ข้าวเหนียว (Glutinous rice หรือ Waxy rice) เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวขุ่น เมื่อนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่จับตัวติดกันเหนียวแน่น และมีลักษณะใส นุ่มกว่า ข้าวเหนียวประกอบด้วยแอมิโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่มากประมาณ 95% และมีแอมิโลสอยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ตัวอย่างข้าวเหนียว เช่น ข้าวพันธุ์กข 10 ข้าวพันธุ์สันป่าตอง เป็นต้น

2.1.2 ข้าวเจ้า (Nonglutinous rice) เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวใส เมื่อนึ่งหรือหนึ่งสุกแล้วข้าวสุกจะมีสีขาวขุ่นและแข็งร่วนกว่าข้าวเหนียว ข้าวเจ้าจะมีปริมาณแอมิโลสอยู่ประมาณ 7-33% ที่เหลือเป็นแอมิโลเพกทิน ตัวอย่างข้าวเจ้า เช่น ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าคุณภาพสูงถูกบันทึกเป็นครั้งแรกว่านำมาจากบ้านแหลมประดู่ อำเภอพนังนคม จ.ชลบุรี เพื่อนำไปปลูกที่บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา ในปี 2488 ได้มีการรวบรวมข้าวขาวดอกมะลิมาทั้งสิ้น 199 รวง เพื่อนำไปปลูกและปรากฏว่าข้าวขาวดอกมะลิรวงที่ 105 เป็นสายพันธุ์ที่ดีที่สุดในเรื่องความหอมและคุณภาพของเมล็ด จึงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในปี 2502 ทั้งนี้โดยใช้ชื่ออย่างเป็นทางการว่า "ข้าวขาวดอกมะลิ 105" หรือที่ชาวบ้านเรียก ข้าว

หอมมะลิ มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ความสูงของต้นข้าวประมาณ 140 cm เมล็ดข้าวกล้องมีความยาว 7.4 mm ลักษณะรูปร่างข้าวเปลือกจะเรียวยาว เมื่อสีเป็นข้าวสารจะได้ข้าวเมล็ดเรียวยาว ขาว ใส เป็นเงา แกร่ง มีท้องไข่น้อยและมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย ขณะที่ข้าวกำลังเดือดพล่านอยู่ในหม้อจะส่งกลิ่นหอมออกมากับไอน้ำ เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะมีรสชาติดี อ่อนนุ่ม (เอกสงวน ชูวิสิฐกุล, 2544)

2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (รูปที่ 2.1) ดังนี้

2.2.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก 2 ชนิด (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดไว้ภายใน ประกอบด้วย เซลลูโลส ลิกนิน เพนโตเซน และเถ้า

2.2.2 เปลือกหุ้มผล (pericarp) เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ดตามความยาวของเมล็ด มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงสร้าง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุอื่นๆ ด้วย

2.2.3 เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

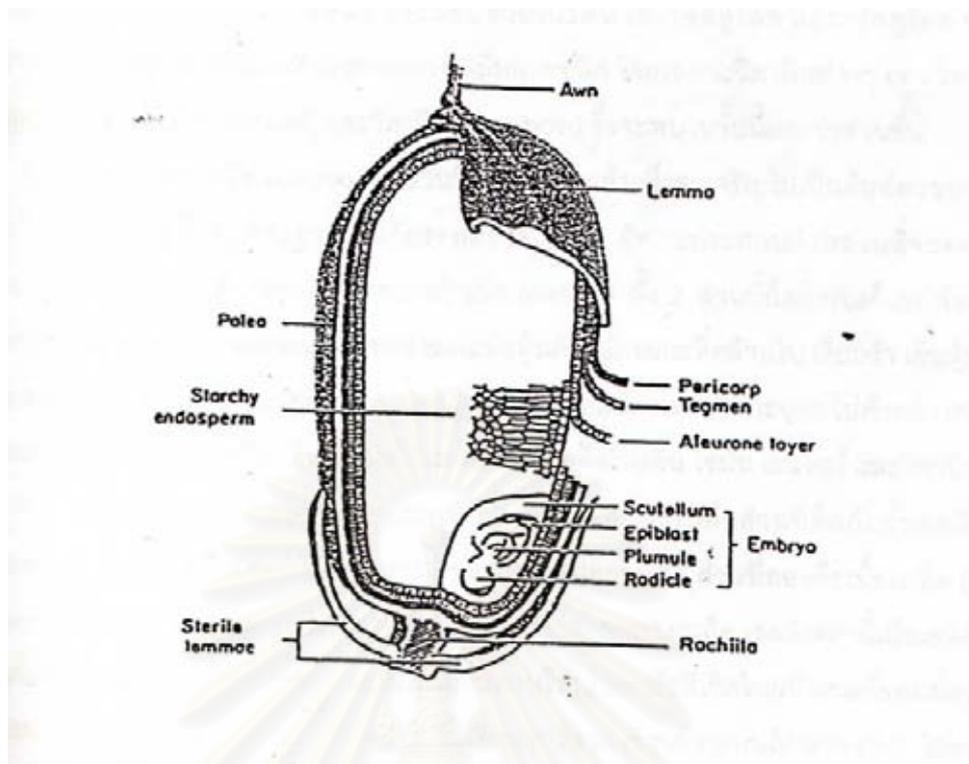
ก) เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) เซลล์ในชั้นนี้มีไขมันสูงทำให้สามารถป้องกันไม่ให้น้ำเข้าสู่เนื้อเมล็ดได้

ข) ชั้นเนื้อเยื่อโปร่งแสง (hyaline layer หรือ nucellus) อยู่ติดกับชั้นของเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะที่โปร่งใส

ค) ชั้นแอลิวโรน หรือเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) ผนังเซลล์หนา ประกอบด้วยโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นแหล่งสะสมของวิตามินหลายๆชนิด

ง) คัพภะ (germ หรือ embryo) เป็นส่วนของจุมูกข้าวที่จะเจริญไปเป็นต้นอ่อนต่อไป จึงอยู่ด้านฐานใกล้รอยต่อของเมล็ด คัพภะประกอบด้วยส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (plumule) และส่วนที่จะงอกเป็นรากแรกกำเนิด (radicle) นอกจากนี้แล้วส่วนของคัพภะทั้งหมดจะอยู่ในชั้นแอลิวโรน คัพภะอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน เอนไซม์ และวิตามิน

จ) เนื้อเมล็ด (endosperm) ในเนื้อเมล็ดประกอบด้วยสตาร์ชและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ สตาร์ชที่เกิดขึ้นภายในผนังเซลล์ของเนื้อเมล็ดจะรวมอยู่ในเม็ดสตาร์ช (starch granule) ทั้งในลักษณะที่รวมกันเป็นกลุ่ม หรือเป็นเม็ดเดี่ยว โดยส่วนที่เป็นเม็ดเดี่ยวจะอยู่ร่วมกันกับโปรตีนและเกาะกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งอยู่ติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: Juliano (1985)

2.3 คุณภาพข้าว

ปัจจุบันการผลิตข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตที่สูงแล้วยังต้องคำนึงถึงคุณภาพข้าวควบคู่กันด้วย ซึ่ง คุณภาพข้าวแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

2.3.1 คุณภาพด้านการหุงต้ม และการรับประทาน โดยคุณภาพในข้อนี้สัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่ได้ บางคนชอบข้าวแข็ง บางคนชอบข้าวนิ่ม

2.3.2 คุณภาพด้านโภชนาการ เช่น ผู้บริโภคหันมาบริโภคข้าวกล้องมากขึ้นเนื่องจากมีสารอาหารที่มีประโยชน์ ตลอดจนนำเอาข้าวมาแปรรูปเพื่อนำไปใช้ในอาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน

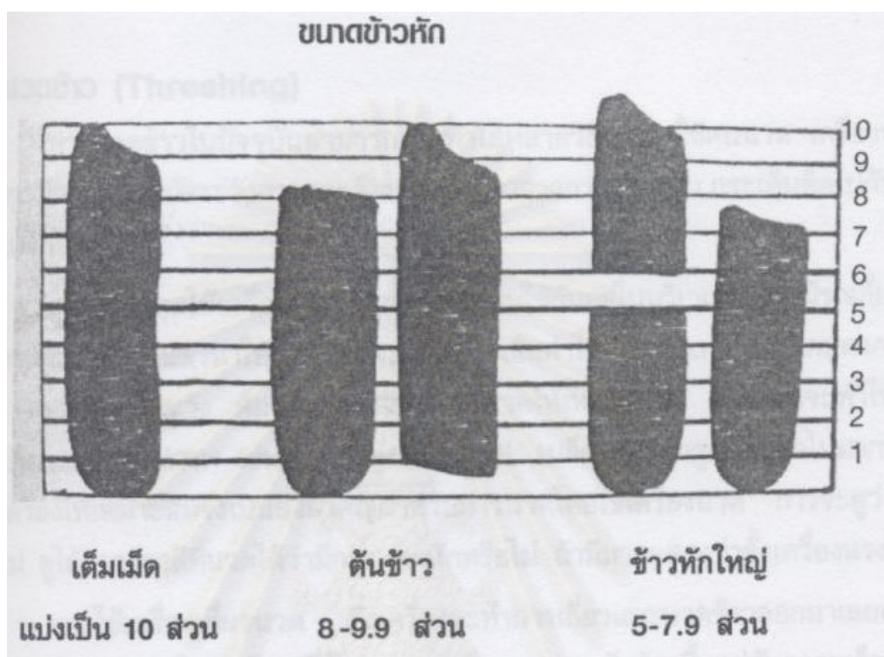
2.3.3 คุณภาพในการซื้อขาย

2.3.3.1 ความชื้น ควรอยู่ในช่วง 13-14% ถ้าความชื้นสูงกว่านี้ราคาข้าวจะต่ำลง

2.3.3.2 ลักษณะทางกายภาพของข้าว เช่น ท้องไข่ ความใสขุ่นของเมล็ด สิ่งเจือปน เป็นต้น

2.3.3.3 คุณภาพการสี โดยประเมินจากปริมาณข้าวต้นและข้าวหัก หากให้ข้าวเต็มเม็ดมีความยาวทั้งหมด 10 ส่วน ถ้าตัวอย่างข้าวมีความยาวอยู่ในช่วง 8 ส่วนขึ้นไปจะถือว่าเป็นข้าวต้น

และถ้ามีความยาวต่ำกว่า 8 ส่วนถือว่าเป็นข้าวหัก ในการผลิตข้าวสารถ้าข้าวสารให้ข้าวต้นมาก ราคาข้าวสารที่ได้จะสูง ด้วยเหตุนี้คุณภาพการสีจึงถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคาข้าวสาร ทั้งนี้เนื่องจากเป็นคุณภาพภายนอกที่ตรวจสอบได้ไว ง่าย และชัดเจน (งามชื่น คงเสรี, 2545) (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ลักษณะของข้าวต้นและข้าวหัก

ที่มา : งามชื่น คงเสรี (2545)

คุณภาพการสี

เป็นคุณภาพที่สำคัญที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคาข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสี

1. พันธุ์ข้าว (rice variety) คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะต่างๆของพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาวมาก มีท้องไข่มาก จะให้ปริมาณข้าวต้นต่ำ เป็นต้น

2. ระยะเวลาและการเก็บเกี่ยว โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวนับจากวันออกดอกไป 28-30 วัน ความชื้นประมาณ 22-25% สังเกตได้ว่ารวงข้าวจะมีลักษณะโน้มลง เมล็ดที่โคนรวงยังมีสีเขียว 3-5 เมล็ด

3. การลดความชื้นเมล็ดข้าว เพื่อให้ความชื้นอยู่ในช่วง 12-14% ถือเป็นช่วงความชื้นที่ปลอดภัยต่อการเสื่อมคุณภาพในข้าว

4. การเก็บรักษา การเสื่อมคุณภาพในระยะนี้สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการทำลายของเชื้อรา

การลดความชื้นในเมล็ดข้าว ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพการสี ทำให้ข้าวมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป แบ่งเป็น 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีธรรมชาติ (sun drying) ซึ่งใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อน พบว่าในการลดความชื้นให้เหลือ 12-14% ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 96 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเท่ากับ 40.10 ถือว่าวิธีนี้ใช้เวลาค่อนข้างนาน ไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าวได้ ดังนั้นจึงมีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการพัฒนาวิธีการอบแห้งเมล็ดพืชขึ้นในข้อ 2

2. การใช้เครื่องอบ (artificial drying) วิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถปฏิบัติได้ทุกภาวะอากาศ ใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นไม่มากและยังสามารถควบคุมคุณภาพของข้าวเปลือกได้ดีกว่าวิธีธรรมชาติ เช่น การอบแห้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยการใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมแห้งที่อุณหภูมิ 30-40°C ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 9-11 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเท่ากับ 60.14-61.26 ในขณะที่ใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมร้อนที่อุณหภูมิ 40-70°C ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 8-9 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเท่ากับ 32.03-61.60 (Wongpornchai และคณะ, 2004) เครื่องอบแห้งทั้งสองข้างต้นพบว่าต้องใช้เวลาในการอบแห้งที่นาน ต่อมาจึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งฟลูอิดไรซ์เบดขึ้นมาโดยอบแห้งข้าวพันธุ์ Langi Amaroo และ Chainart ที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 125 และ 150 °C พบว่าใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 2-4 นาทีเท่านั้น เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นอยู่ในช่วง 78.30-86.00 ส่งผลให้ราคาขายข้าวสูง ดังนั้นจึงนิยมนำเครื่องอบแห้งชนิดนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมการอบแห้งต่างๆมากขึ้น (Wiset และคณะ, 2003)

2.4 การอบแห้ง (สมชาติ ไสภภรณ์ฤทธิ์, 2540)

การอบแห้ง คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังอาหารพร้อมกับการถ่ายเทความชื้นจากอาหารไปยังอากาศ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นที่ผิวอาหารและ/หรือภายในอาหาร ในการอบแห้งอาหารทั่วไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งโดยความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ เมื่ออาหารได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิวอาหารมายังกระแสอากาศ ขั้นตอนในการอบแห้งแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ (preheat period)

ช่วงนี้เป็นการเริ่มให้ความร้อนแก่อาหารเปียกเพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารและน้ำขึ้นจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulb temperature) ของอากาศร้อน การใช้อัตราความร้อนสูงจะทำให้ช่วงนี้มีระยะสั้น ซึ่งในการอบแห้งช่วงต่อไปจะมีระยะเวลานานกว่าช่วงนี้ จึงอาจไม่ต้องคำนึงถึงช่วงนี้ก็ได้

2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant drying rate period)

ในช่วงนี้อุณหภูมิจากอาหารจะมีค่าคงที่อยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนตลอดเวลาที่ภายในตัวอาหารและผิวอาหารยังคงมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำอิสระ การถ่ายเทความชื้นระหว่างอาหารกับอากาศจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณรอบๆ ผิวอาหารเท่านั้น โดยอัตราเร็วของการอบแห้งจะมีค่าคงที่จนกระทั่งถึงจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงจากอัตราคงที่ไปเป็นอัตราลดลง

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling drying rate period)

ในช่วงนี้ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยไปหมด เพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากภายในอาหารเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำที่ออกจากผิวอาหาร ดังนั้นผิวของอาหารจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิจากอาหารจะเริ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะค่อยๆ ลดลง

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (เปี่ยมศิลป์ ทองทิพย์, 2540)

สภาวะการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการดำเนินงานและการควบคุมสภาวะภายนอกที่สำคัญและมีผลต่ออัตราการอบแห้งวัสดุ ได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ และน้ำหนักของวัสดุอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การกวน การแบ่งขนาดของชิ้นวัสดุ

2.4.1.1 อุณหภูมิของลมร้อน

โดยการอบแห้งแบบถาดที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ในกรณีดังกล่าวถือว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยคงที่ ในกรณีที่มีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในขณะอบแห้งจะถือว่าอุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้งเป็นอย่างมาก ในกรณีการอบแห้งวัสดุที่ความเร็วลมร้อนคงที่ อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกกับกระเปาะแห้งของอากาศเท่านั้น ดังนั้นอัตราการอบแห้งมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าสูงและความชื้นของอากาศมีค่าต่ำสุด ในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแห้งเท่านั้น ส่วนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงวัสดุอบแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น

2.4.1.2 ความเร็วของลมร้อน

ความเร็วของลมร้อนไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอากาศ อุณหภูมิและการนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อม การนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อมทำให้องค์ประกอบและคุณสมบัติของอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงไปแต่จะไม่มีผลต่อความเร็วลมร้อน โดยปกติในการอบแห้งจะควบคุมให้ความเร็วของลมร้อนคงที่ตลอดช่วงของการอบแห้ง ในกรณีที่

มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมร้อน ความเร็วของลมร้อนจะมีผลต่ออัตราการอบแห้งเนื่องจากความเร็วลมร้อนจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ดังนั้นถ้าปัจจัยอื่นๆคงที่การอบแห้งความเร็วลมร้อนสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น

2.4.1.3 ความชื้นของลมร้อน

ความชื้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อม และยังขึ้นอยู่กับอัตราการอบแห้งที่เวลาใดๆ หากลมร้อนมีความชื้นสูงจะทำให้ความสามารถในการดึงน้ำในวัสดุอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของลมร้อนลดลง นั่นคืออัตราการอบแห้งจะลดลงด้วยและในทางทฤษฎีสามารถที่จะควบคุมความชื้นของลมร้อนโดยการควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อม ซึ่งหากเพิ่มการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมมากขึ้นเท่าใดอัตราการอบแห้งจะลดลงมากขึ้นเท่านั้น ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมได้แน่นอน และวิธีที่นิยมทดลองกันคือ การลองผิดลองถูกหรือหาความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างความชื้น อัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่งและสัดส่วนของการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมโดยการสมดุลมวลสาร

2.4.1.4 น้ำหนักของวัสดุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หรือความหนาของชั้นวัสดุ

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิววัสดุเท่านั้น ดังนั้นความหนาของวัสดุไม่มีอิทธิพลต่อการอบแห้งในช่วงนี้เลย แต่เมื่อถึงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การแพร่ของน้ำจากภายในสู่พื้นผิวของวัสดุซึ่งเกิดการระเหยจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ในช่วงนี้การเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง

2.4.1.5 ปัจจัยอื่นๆ

นอกจากอุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ และความหนาของชั้นวัสดุอบแห้งแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น การสลับตำแหน่งในชั้นวัสดุขณะทำการอบแห้ง ขนาดของของชั้นวัสดุอบแห้ง

2.5 การอบแห้งในถังเก็บ (In-store drying) (สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์ และ สมชาย ฉิมสกุล ธนากร, 2533)

การอบแห้งในถังเก็บ (In-store drying) ลักษณะของการอบแห้งแบบนี้คือ เมื่อทำการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชแล้วจะขนย้ายมาไว้ในถังเก็บ ซึ่งมีการออกแบบให้มีการเป่าอากาศเข้าไปในกองของเมล็ดพืชภายในถังเก็บ มักใช้อุณหภูมิของอากาศอบแห้งที่ค่อนข้างต่ำ คือ ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม หรืออาจใช้อากาศแวดล้อมโดยที่ไม่มีการให้ความร้อนจากแหล่งความร้อนใดๆนอกจากพัดลมเท่านั้น เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีความสูงของชั้นเมล็ดพืชมากกว่า

เครื่องอบแห้งชนิดอื่นๆ อาจสูงถึง 6 m อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศต่ำ อากาศที่ใช้เป็นอากาศแวดล้อม อัตราการไหลของอากาศที่ใช้กันประมาณ 1-5 m³/min ต่อลูกบาศก์เมตร ข้าวเปลือก การอบแห้งจะใช้เวลาหลายสัปดาห์ เพื่อหลีกเลี่ยงการเจริญของเชื้อราความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชจึงไม่ควรสูงเกินไป

สมชาติ ไสภนรณฤทธิ์ (2532) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกในประเทศไทยโดยใช้การอบแห้งในถังเก็บ พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บเป็นวิธีการที่เหมาะสม เพราะได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ดีมากโดยให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันเท่ากับ 60% สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่ำและการลงทุนครั้งแรกต่ำ แต่การอบแห้งต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน ส่วนการอบแห้งแบบเป็นงวด และแบบเมล็ดพืชไหลใช้เวลาในการอบแห้งน้อยมาก คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างสูงและการลงทุนครั้งแรกที่สูงด้วย นอกจากนี้แล้วการอบแห้งในถังเก็บควรกำหนดความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่า 20% wet basis (wb) ความหนาของชั้นข้าวประมาณ 3-4 m อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ประมาณ 2.0-3.6 m³/min ต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เวลาที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 200-270 ชั่วโมงเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกให้เหลือเป็น 14%

สมชาติ ไสภนรณฤทธิ์ และ สมชาย ฉิมสกธนากร (2533) ได้ศึกษาการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบในถังเก็บและแบบเป็นงวด พบว่าหากต้องการการอบแห้งข้าวเปลือกอย่างช้าๆ ควรเลือกการอบแห้งแบบใช้อัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ โดยเป่าอากาศเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าต่ำพอหรือเป่าอากาศอย่างต่อเนื่อง แต่อุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นเล็กน้อยเฉพาะในช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมมีค่าสูงกว่า 75% และหากต้องการอบแห้งอย่างรวดเร็วควรอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อัตราการไหลของอากาศที่สูง

สมเกียรติ และคณะ (2537) ออกแบบและทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บ โดยในงานวิจัยได้ออกแบบระบบอบแห้ง ซึ่งประกอบด้วยท่อลมหลักรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 0.7 m x 0.8 m ทำจากสังกะสีแผ่นเรียบ ท่อลมแยกทั้งหมดเป็น 6 ท่อด้วยกัน สร้างจากเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm และเหล็กฉากประกอบเป็นโครงสร้างสำหรับรับน้ำหนักข้าวเปลือก พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วมีขนาดพื้นที่หน้าตัดประมาณ 0.18 m² มีมุ้งอะลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นตัวกระจายลมที่ใช้ในการอบแห้ง พัดลมที่ใช้เป็นแบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง มอเตอร์ขนาด 11.2 kw และมีวาล์วปีกผีเสื้อ 6 ตัว ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของลมในแต่ละท่อให้เท่ากัน สำหรับเครื่องมือวัดที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ เครื่องมือวัดอุณหภูมิในกองข้าวเปลือก และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล type K ต่อเข้ากับ data logger ซึ่งมีความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และเครื่องมือวัดความสูญเสียความดันของระบบอบแห้งวัดโดยใช้มาโนมิเตอร์ โดยระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี การสูญเสียความดันในระบบอบ

แห้งส่วนใหญ่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านกองข้าวเปลือก ในการลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 16% wb เหลือเป็น 14% wb โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ $2.03 \text{ m}^3/\text{min}$ ต่อลูกบาศก์เมตร ข้าวเปลือกมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 19 บาท/ตันข้าวเปลือก คุณภาพของข้าวเปลือกอยู่ในเกณฑ์ดีไม่ว่าจะเป็นเปอร์เซ็นต์ข้าวตันหรือสีของข้าว โดยเปอร์เซ็นต์ข้าวตันมากกว่าตัวอย่างอ้างอิงซึ่งมีค่าเพียง 42.4% ส่วนความขาวของข้าวสารมากกว่า 39.8 และเปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่ได้ดีกว่าการอบแห้งโดยวิธีตากแดดประมาณ 11% ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้นประมาณ 14% wb ควรมีการระบายความร้อนจากกองข้าวเปลือกเป็นระยะๆ โดยเป่าอากาศแวดล้อมผ่านกองข้าวเปลือกเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ถ้าไม่มีการระบายความร้อนออกจะทำให้เมล็ดข้าวเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีเหลือง ซึ่งเกิดจากความร้อนจะไปเร่งช่วงปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้คุณภาพของเมล็ดข้าวลดต่ำลง จากการทดลองแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์พบว่าหากต้องการลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 18%wb เหลือเป็น 14%wb อัตราการไหลของอากาศเป็น $1.3 \text{ m}^3/\text{min}$ ต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 35 บาทต่อตันข้าวเปลือกและใช้เวลาในการอบแห้งโดยเฉลี่ย 179 ชั่วโมง

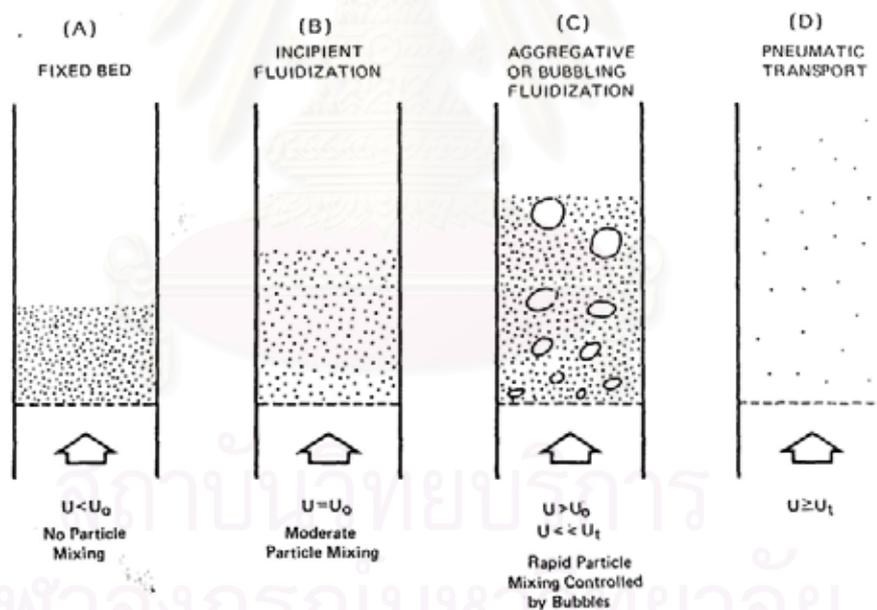
พิพัฒน์ อมตฉายา (2538) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกในที่เก็บและการรักษาในสถานที่ใช้งานจริง รายงานว่าแนวทางที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกในเขตร้อนชื้น อาจทำได้โดยแบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วงในช่วงแรกของการอบแห้งจะอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยใช้เครื่องอบหรือตากบนลานเพื่อลดความชื้นลงเหลือ 18% wb แล้วนำมาอบต่อในช่วงที่ 2 ในโรงเรือนเก็บข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นลงจนถึงระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา โดยมีความชื้นประมาณ 13-14% wb ซึ่งงานวิจัยนี้จะศึกษาในช่วงที่ 2 โดยใช้อากาศแวดล้อมเป่าผ่านกองข้าวเปลือกขนาด 105 ตันด้วยอัตราการไหล $0.57 \text{ m}^3/\text{min}$ ต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เก็บข้อมูลที่ผิวบน, ที่ระดับความลึก 30 cm 2 m และ 4 m จากผิวบนกองข้าวเปลือกพบว่า ในการลดความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ย 17% wb ให้เหลือ 11.2% wb จะใช้เวลาในการอบแห้ง 9 สัปดาห์โดยชั้นความลึก 4 m และ 2 m จะแห้งเร็วกว่าที่ระดับความลึก 30 cm และที่ผิวบนตามลำดับ หลังจากที่อบแห้งและเก็บรักษาในที่เก็บนานประมาณ 10 สัปดาห์พบว่า ความขาวเฉลี่ยของแต่ละระดับความลึกอยู่ในเกณฑ์ดีซึ่งมากกว่า 35 เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวเปลือกอ้างอิง ส่วนเปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่ได้มีค่ามากกว่า 41% ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่ได้จากการตากลาน 8%

2.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด

ฟลูอิดไคซ์เบด คือ กระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้น (ตัวอย่างอาหาร) สัมผัสกับของไหล (ก๊าซหรือของเหลว) ที่ผ่านมาทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของของแข็ง ทำให้ของแข็งขยับตัวลอยขึ้นเป็นอิสระมีคุณสมบัติคล้ายเป็นของไหล

2.6.1 ลักษณะของ fluidized bed

อาณาเขตในการอบแห้งที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าจะเม็ดนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหล ซึ่งจะเริ่มนับตั้งแต่แผ่นตะแกรงรองรับเม็ดของแข็งจนถึงระดับสูงสุดที่ผิวของเม็ดของแข็งลอยอยู่ จะเรียกว่า เบด (bed) เมื่อเม็ดของแข็งถูกบรรจุเข้าไปในห้องอบแห้ง เมื่อเริ่มปล่อยของไหลผ่านขึ้นไปทางด้านบนของตะแกรงในห้องอบแห้ง ในขณะที่ของไหลความเร็วยังน้อยเม็ดของแข็งจะไม่ขยับตัว เรียก เบดนิ่ง (fixed bed) (A) ถ้าหากของไหลมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนทำให้เม็ดของแข็งขยับลอยตัวเป็นอิสระ เรียก ฟลูอิดิซ์เบดหนาแน่น (dense phase fluidized bed) (B) ในภาวะนี้เม็ดของแข็งดูเหมือนว่ายังจับตัวเป็นกลุ่มก้อน และถ้าหากเพิ่มความเร็วให้ของไหลอีกจนทำให้เม็ดของแข็งลอยตัวมากขึ้น ระยะห่างระหว่างเม็ดของแข็งมีมากขึ้น จะเรียกว่า ฟลูอิดิซ์เบดแบบเจือจาง (diluted phase fluidized bed) (C) และถ้าหากเพิ่มความเร็วของไหลอีกเม็ดของแข็งก็จะถูกทำให้หลุดออกไปจากห้องอบแห้ง ซึ่งจะถูกพัดพาออกจากเบดติดไปกับของไหล จะเรียกว่า การถูกพัดพาของเบด (lean phase fluidized bed) ลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า การขนถ่ายของอากาศ (pneumatic transport) (D)

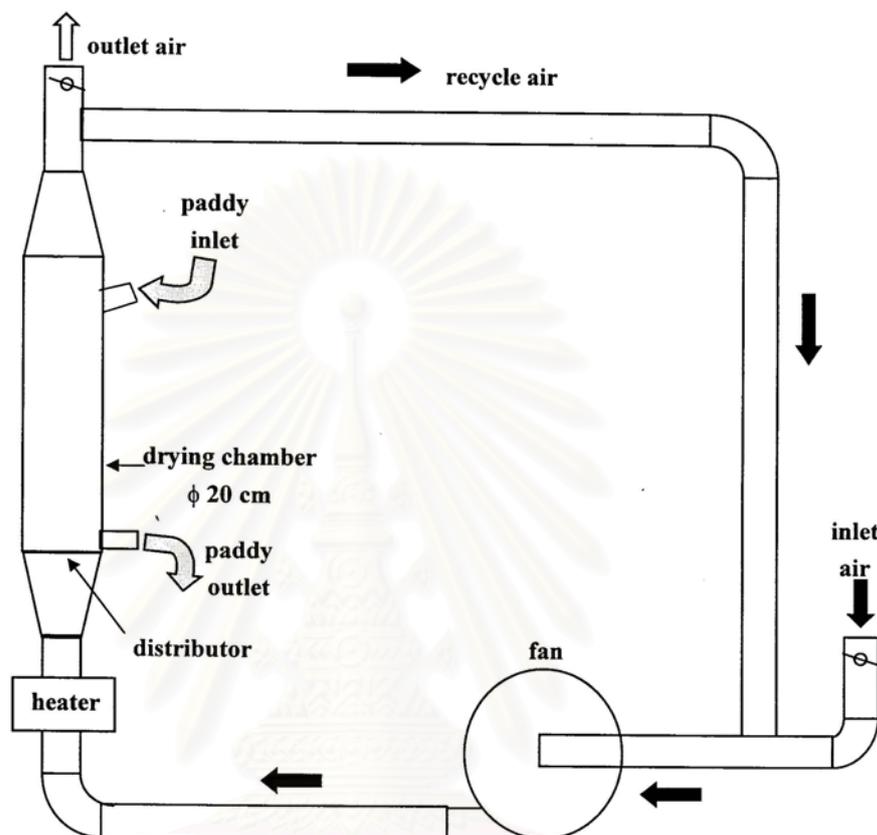


รูปที่ 2.3 ลักษณะของฟลูอิดิซ์เบด

ที่มา: Hovmand (1987)

หลักการการทำงานของเครื่องฟลูอิดิซ์เบด อธิบายได้ว่าเครื่องอบแห้งจะดูดอากาศที่บริเวณรอบๆ แล้วไหลไปผสมกับอากาศร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ น้ำมันดีเซล แล้วไหลมาผสมกับอากาศอบแห้งที่หมุนเวียนกลับมาในห้องผสมอากาศ โดยมี Blower เป็นตัวดูดและเป่าเข้าห้อง

อบแห้ง หลังจากนี้นำตัวอย่างใส่ลงในห้องอบแห้ง เมื่อได้เวลาครบตามต้องการนำตัวอย่างออกจากห้องอบแห้ง อากาศส่วนน้อยจะออกไปในระหว่างการอบแห้ง ในขณะที่อากาศส่วนใหญ่ที่ยังคงร้อนอยู่จะไหลไปผสมกับอากาศที่ได้จากการเผาไหม้ต่อไป



รูปที่ 2.4 ลักษณะเครื่องฟลูอิดไธเซเบด

ที่มา: นเรศ มีใส (2541)

2.6.2 ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งแบบฟลูอิดไธเซชัน

ข้อดี

1. ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น เนื่องจากอัตราส่วนการไหลของอากาศต่อมวลผลิตภัณฑ์ที่ทำกรอบแห้งมีค่าสูง
2. ความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง และอุณหภูมิภายในเบดมีความสม่ำเสมอทำให้สามารถอบแห้งในช่วงอุณหภูมิที่สูงๆได้
3. มีการจัดเรียงตัวของเม็ดของแข็ง เม็ดที่น้ำหนักน้อยจะอยู่ด้านบน เม็ดที่น้ำหนักมากจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของเม็ดของแข็งได้
4. แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อย

5. จากพฤติกรรมกรรมการไหลของเม็ดของแข็งจึงทำให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
6. พื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมีมากขึ้นเมื่อเทียบกับเบตหนึ่ง

ข้อเสีย

1. การทำงานมีข้อจำกัด ถ้าใช้ความเร็วของของไหลสูงเกินไปจะทำให้เม็ดของแข็งหลุดลอยจากเบตไปพร้อมกับของไหล
2. เวลาในการสัมผัสกันของของไหลกับของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบตสูงๆหรือหลายชั้น ดังนั้นจึงเปลืองเงินลงทุน
3. ใช้กับเม็ดของแข็งที่เปียกหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะจะเกาะกันแล้วไหลตกลงมาส่วนล่างของเบต

อรอนงค์ ศรีพวาทกุล และคณะ (2537) ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบตอย่างต่อเนื่องโดยใช้สมการการอบแห้งของ Page พบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศจำเพาะและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบแห้ง ส่วนภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 115°C ความสูงของเบต 10 cm อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ $0.043 \text{ kg/s-kg dry matter}$ ความเร็วของอากาศ 2.3 m/s อัตราการหมุนเวียนกลับของอากาศ 80% ข้าวเปลือกที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีมีค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสัมผัส 60-88% ค่าความขาวสัมผัส 88-97% ทั้งนี้ไม่ควรอบแห้งข้าวเปลือกให้มีความชื้นต่ำกว่า 22% dry basis (db) และยังให้คำแนะนำอีกว่าในระบบการอบแห้งควรมีแผ่นกั้นแบ่งส่วนอบแห้งเป็นห้องประมาณ 4-8 ห้อง ระยะระหว่างแผ่นกั้น 10-20 cm จะทำให้ข้าวเปลือกมีพฤติกรรมไหลคล้ายลูกสูบ

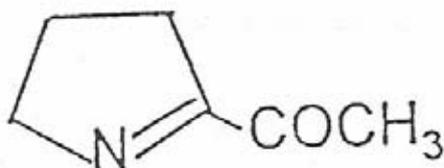
Soponronnarit และ Prachayawarakorn (1994) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคการทำสภาพของไหลโดยทดลองอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ $100-150^{\circ}\text{C}$ พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 150°C เปอร์เซ็นต์ต้นเพิ่มขึ้นสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าว สำหรับค่าความขาวพบว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100°C มีความขาวมากกว่าที่ 130 และ 150°C และยังได้สรุปเงื่อนไขการทำงานของระบบว่า อัตราการอบแห้งสูงสุดในขณะที่ความชื้นเปลืองพลังงานเกือบต่ำสุดและให้คุณภาพข้าวเปลือกอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ควรใช้ภาวะที่ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชันมีค่า 1.65 m/s อัตราการหมุนเวียนกลับของอากาศ 80% อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ $0.1 \text{ kg/s-kg dry matter}$ ความสูงของเบต 9.5 cm และอุณหภูมิในการอบแห้งไม่ควรเกิน 115°C

Taweerattanapanish และคณะ (1999) ศึกษาผลของการอบแห้งโดยใช้ฟลูอิดไลซ์เบตต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น การทดลองได้นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 23-31% wb อบแห้งโดยใช้เครื่องฟลูอิดไลซ์เบตที่อุณหภูมิ 140 และ 150°C จนความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง

13-29% wb จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปทดลองต่อใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่ 1 นำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งมาทิ้งไว้ให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง 20-30 นาที เป่าด้วยอากาศเย็นภายในเครื่องอบแห้งแบบถาดต่อจนกระทั่งความชื้นเท่ากับ 14% wb หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกไปผ่านกระบวนการสีต่อไป ส่วนลักษณะที่ 2 นำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งมาผ่านกระบวนการ tempering ซึ่งก็คือการนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งมาให้ความร้อนต่อทันทีในขวดอับอากาศภายในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ออกจากเครื่องฟลูอิดซ์เบดเป็นอุณหภูมิสำหรับการ tempering สำหรับงานวิจัยนี้จะ tempering ที่ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นจะนำไปเป่าด้วยอากาศเย็นในเครื่องอบแห้งแบบถาดจนเหลือความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก 14% wb แล้วนำไปสีต่อไป ผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณข้าวตันให้สูงได้เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายหลังการอบด้วยฟลูอิดซ์เบดอยู่ในช่วง 19-22% wb และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 และ 150°C ปริมาณข้าวตันเพิ่มมากกว่าเดิมถึง 50% ด้านเปอร์เซ็นต์ข้าวตันสัมพัทธ์พบว่าข้าวที่ผ่านการ tempering จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวตันสัมพัทธ์มากกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการ tempering ส่วนในเรื่องความขาวพบว่าข้าวที่ผ่านการ tempering จะมีเปอร์เซ็นต์ความขาวสัมพัทธ์ต่ำกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการ tempering ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการ tempering ข้าวเปลือกถูกพักไว้ในขวดอับอากาศทำให้ความชื้นยังคงอยู่ในตัวเมล็ดข้าวเปลือกมากกว่า ความร้อนดังกล่าวนอกจากจะทำให้ข้าวเปลือกเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีเหลืองมากขึ้นแล้วยังสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเมล็ดข้าวเกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดกลิ่นเหม็นได้ นอกจากนี้แล้วยังพบอีกว่าการ tempering ที่อุณหภูมิสูงถึง 80°C เปอร์เซ็นต์ความขาวสัมพัทธ์จะต่ำลงมากจนไม่สามารถซื้อขายได้

2.7 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP)

2-Acetyl-1-pyrroline (2AP) เป็นสารระเหยที่มีจุดเดือดต่ำ โครงสร้างเป็นเฮเทอโรไซคลิกที่มี N เป็นองค์ประกอบทำให้มีสมบัติขั้ว (polarity) และค่อนข้างเป็นเบสจึงทำให้สารนี้สามารถยึดเกาะอยู่ในเนื้ออาหารหรือตัวอย่างพืชได้โดยสร้างพันธะอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น แป้ง โปรตีน ไขมันและไม่ระเหยออกมามากในภาวะอุณหภูมิปกติหรืออุณหภูมิต่ำ (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างสาร 2AP (C₆H₉NO)

Buttery และคณะ (1982, 1986) ได้รายงานว่ สาร 2AP ถือเป็นสารหอมที่สำคัญในข้าวสุก (*Oryza sativa* L.) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถรับกลิ่นคือ 0.1 n/l ในน้ำ

Buttery และคณะ (1983a) ตรวจพบสาร 2AP ทั้งในข้าวหอมและข้าวธรรมดา โดยในข้าวหอมจะมีสาร 2AP ในปริมาณที่มากกว่า และยังพบว่าในใบเตยมีปริมาณสาร 2AP มากกว่าข้าวหอมและข้าวธรรมดาประมาณ 10 และ 100 เท่าตามลำดับ

Buttery และคณะ (1983b) ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของสารหอม 2AP โดยวิธี steam volatile oils จากข้าวสุก 10 สายพันธุ์พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เป็นข้าวกล้องมีปริมาณสาร 2AP เท่ากับ 0.2 ppm มากกว่าในข้าวขาวซึ่งมีปริมาณสาร 2AP เพียง 0.07 ppm และรายงานเพิ่มเติมว่ากลิ่นของสาร 2AP มีลักษณะคล้ายกลิ่นข้าวโพดคั่ว

Mahatheerant และคณะ (2001) รายงานว่าสาร 2AP สามารถตรวจพบได้ในข้าวสารดิบ โดยทำการสกัดแบบใช้ตัวทำละลาย

Wongpornchai และคณะ (2003) รายงานว่าแหล่งของสาร 2AP นอกจากพบในข้าวแล้ว ยังพบในอาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน เช่น ข้าวโพดกระป๋อง ขนมปังข้าวสาลีอบ มันฝรั่งต้มสุก นมผงไขมันต่ำ งามอบ เมล็ดมะม่วงอบ เนื้อปลุกแห้ง ข้าวโพด เผือกต้มสุก

Sunthonvit และคณะ (2003) ศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงต่อปริมาณสารหอมที่เป็นองค์ประกอบในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยอบแห้งแบบ 2 ชั้นตอน ชั้นตอนแรกอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 100 125 และ 150°C อบแห้งจนกระทั่งความชื้นลดลงจาก 26% wb เป็น 18% wb จากนั้นจะนำข้าวเปลือกจากชั้นตอนแรกมาอบแห้งในโรงเก็บจนกระทั่งได้ปริมาณความชื้นเป็น 13-14% wb ผลการทดลองพบว่าสารระเหย (volatile compounds) ในข้าวที่พบมีทั้งหมด 44 ชนิด (ตารางที่ 2.1) ดังนี้

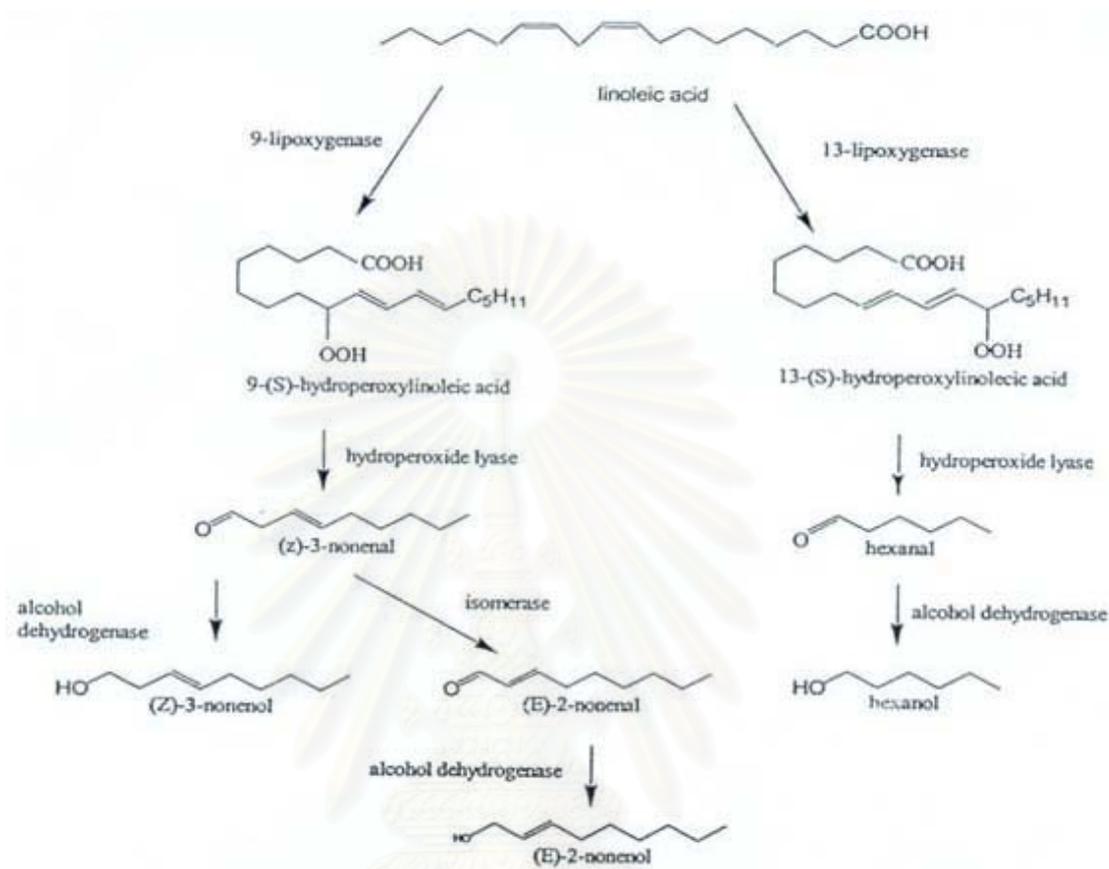
ตารางที่ 2.1 สารประกอบให้ความหอมในข้าวหอมทั้ง 44 ชนิด (Thai fragrant rice)

<i>Compounds</i>	<i>Odour description (Leung, 2001)</i>
<i>Aldehydes</i>	
Pentanal	fruity, woody, vanilla, nutty on dilution
Hexanal	green, grassy, fatty, powerful, penetrating
Heptanal	
Nonanal	
(E) 2-heptenal	green, heavy, pungent
(E) 2-octenal	green, herbaceous, spicy
(E) 2-nonenal	fatty, waxy, penetrating
Benzaldehyde	
2,4-decadienal, (E,E)	
2-isopropyl-5-oxohexanal	
<i>Alcohols</i>	
1-pentanol	sweet, heavy, strong balsamic
2-methylcyclopentanol	
1-hexanol	herbaceous, fragrant, woody, mild, sweet, mild, green
1-octen-3-ol	mushroom, mouldy
1-octanol	waxy, fatty, citrus, sharp
6-methyl-2-heptanol	
4-vinylguaiacol	
3,7,11-trimethyl-2,6,10 dodecatrien-1-ol	
<i>Ketones</i>	
3-hydroxy-2-butanone	
(E) 3-penten-2-one	fruity, spicy, fragrant
2-heptanone	
2-dodecanone	
2-tridecanone	warm, herbaceous, slightly spicy
<i>Heterocyclic</i>	
2-pentyl-furan	vegetable, green bean
2-acetyl-1-pyrroline	cooked rice, popcorn
Pyridine	sour, fishy, amine
<i>Hydrocarbon</i>	
5,7-dimethyl-undecane	
2,4-dimethyl-heptane	
2,6,10-trimethyl-dodecane	
Dodecane	
Hexadecane	
<i>Acids</i>	
Ethyl ester-propanoic acid	
Methyl ester-butanoic acid	
1-methyl ethyl ester-butanoic acid	
Hexanoic acid	
Octanoic acid	
Dodecanoic acid	
Tetradecanoic acid	
Hexadecanoic acid	
Octadecanoic acid	
Oleic acid	
9-hexadecanoic acid	
9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)	
<i>Miscellaneous</i>	
Dibutyl phthalate	

ที่มา : Sunthonvit และคณะ (2003)

ส่วนสารที่พบในปริมาณมากที่สุดคือ hexanal ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหญ้า (ใบไม้) เกิดจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Linoleic acid) ผ่าน Lipoxygenase pathway ได้กรดไขมันอิสระที่ไม่เสถียร

(hydroperoxide) จากนั้นจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ hydroperoxide lyase ได้สารประกอบ hexanal ซึ่งเป็นสาร aldehyde ที่ให้กลิ่นเกิดขึ้น (รูปที่ 2.6)

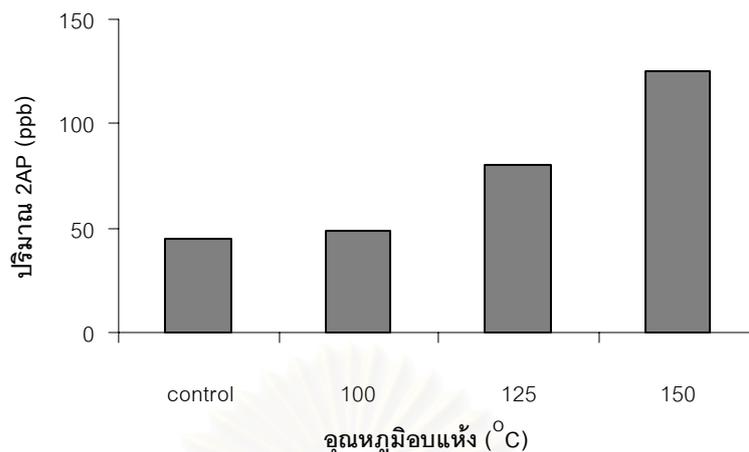


รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดสาร Hexanal

ที่มา : Sunthonvit และคณะ (2003)

สำหรับสาร 2AP ที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างสารหอมในข้าว พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง 150°C ปริมาณสาร 2AP (ประมาณ 124.8 ppb) มีแนวโน้มสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (รูปที่ 2.7)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร 2AP ต่ออุณหภูมิในการอบแห้ง

ที่มา : Sunthonvit และคณะ (2003)

นอกจากนี้แล้ว Sunthonvit และคณะ (2003) อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่า สาร 2AP เกิดจากปฏิกิริยา Maillard reaction สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hofmann และ Schieberle (1998) ที่รายงานว่าสาร 2AP เป็นสารที่ให้กลิ่นใน roasty popcorn เกิดจาก Maillard reaction โดยเป็นปฏิกิริยาระหว่าง 1-pyrroline กับ 2-oxopropanal

2.7.1 กลไกการเกิดสาร 2AP

กลไกการเกิดสาร 2AP สรุปได้เป็น 2 แนวทาง คือ

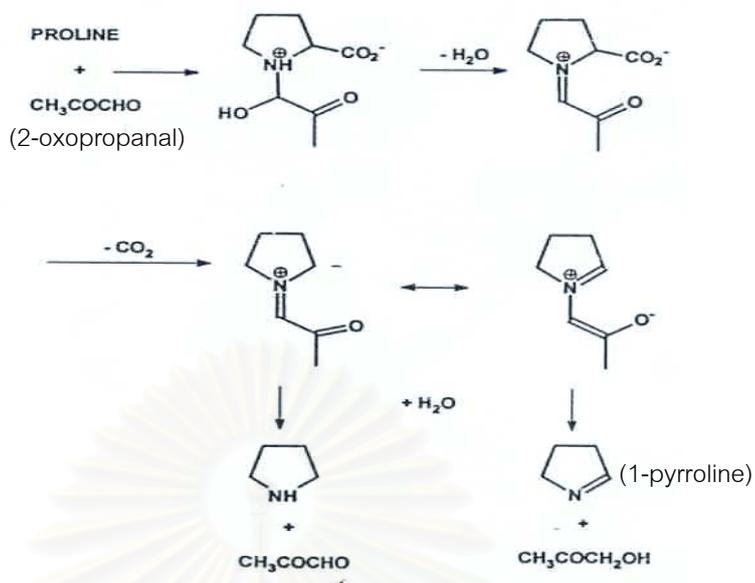
1. Maillard reaction
2. Gene หรือพืชสร้างขึ้นเอง

2.7.1.1. Maillard reaction ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

2.7.1.1.1 ขั้นตอนที่แรก (initial stage) เกิดการรวมตัวกันระหว่าง carbonyl group ของ reducing sugar กับ amino group ของ amine ได้โครงสร้างที่ผันกลับได้ระหว่าง enol form กับ keto form

2.7.1.1.2 ขั้นตอนที่ 2 (intermediate stage) เกิดการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรตออกจากโครงสร้างได้สารที่เป็นตัวกลาง คือ 2-oxopropanal ทั้งหมด 2 โมเลกุล เป็นสารตั้งต้นที่จะผลิตสารให้กลิ่นต่อไป

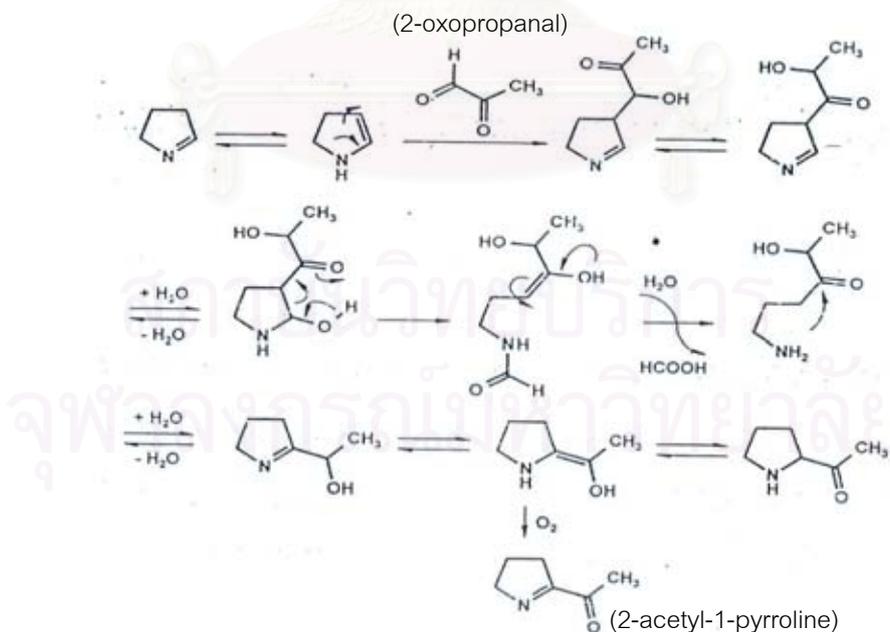
หลังจากขั้นตอนนี้สาร 2-oxopropanal 1 โมเลกุลจะมาทำปฏิกิริยากับ proline ในปฏิกิริยา Strecker degradation เกิดการ oxidative deamination และ decarboxylation ได้สาร heterocyclic ที่ให้กลิ่น คือ 1-pyrroline (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยา Strecker degradation ระหว่าง proline กับ 2-oxopropanal

ที่มา : Hofmann และ Schieberle (1998)

2.7.1.1.3 ขั้นตอนที่ 3 (final stage) สาร 1-pyrroline ที่เกิดขึ้นในข้างต้นทำปฏิกิริยาต่อกับสาร 2-oxopropanal ที่เหลืออีก 1 โมเลกุล (รูปที่ 2.9) ได้เป็นสารหอมหลักในข้าวคือ สาร 2AP

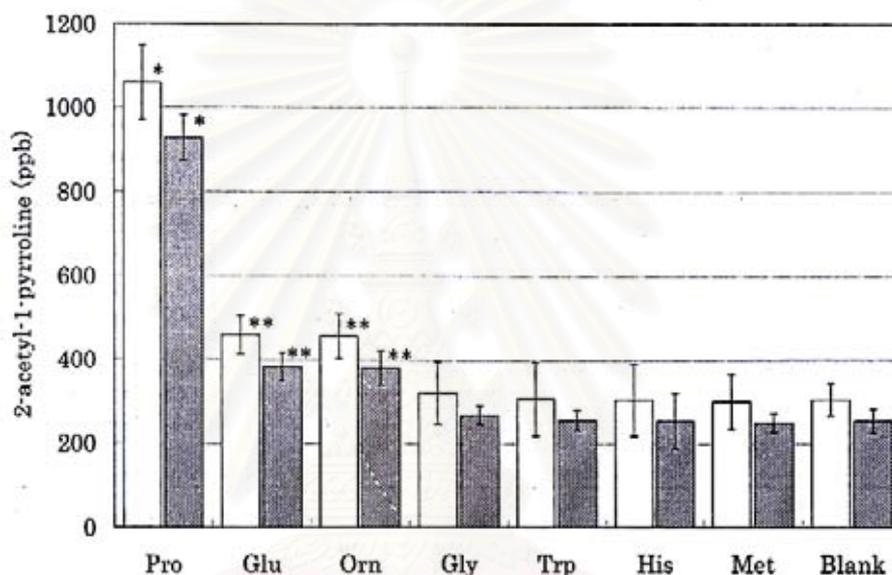


รูปที่ 2.9 กลไกการเกิดสาร 2AP

ที่มา : Hofmann และ Schieberle (1998)

2.7.1.2 Gene หรือพีชสร้างขึ้นมาเอง โดย Lorieux และคณะ (1996) รายงานว่า ความหอมในข้าวเกิดจากยีนส์ที่ควบคุมความหอมในบริเวณ chromosome คู่ที่ 8

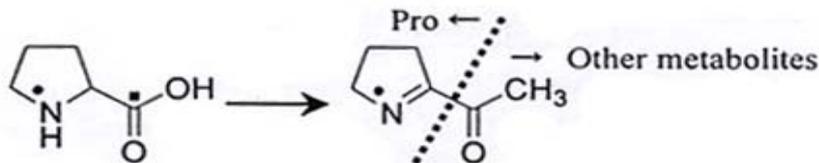
Yoshihashi และคณะ (2002) รายงานว่าสาร 2AP ไม่ได้เกิดขึ้นในระหว่างการหุงต้มหรือการแปรรูปข้าวหอมหลังการเก็บเกี่ยว แต่การสังเคราะห์สารหอม 2AP เกิดขึ้นภายในต้นข้าวระหว่างการปลูก โดยทดลองนำ amino acid เติมลงในอาหารสำหรับให้ต้นอ่อนจากเมล็ดและเนื้อเยื่อ บ่มที่ 27°C 8 ชั่วโมงพบว่า การเติม amino acid ชนิด proline ลงไปทั้งในต้นอ่อนจากเมล็ดและเนื้อเยื่อสามารถผลิตสาร 2AP ได้มากกว่าเดิมถึง 3 เท่า (รูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 ผลของการเติม amino acid ต่อปริมาณสาร 2AP (■ ปริมาณสาร 2AP ในต้นอ่อนจากเมล็ดหลังการเติม amino acid □ ปริมาณสาร 2AP ในเนื้อเยื่อหลังการเติม amino acid)

ที่มา : Yoshihashi และคณะ (2002)

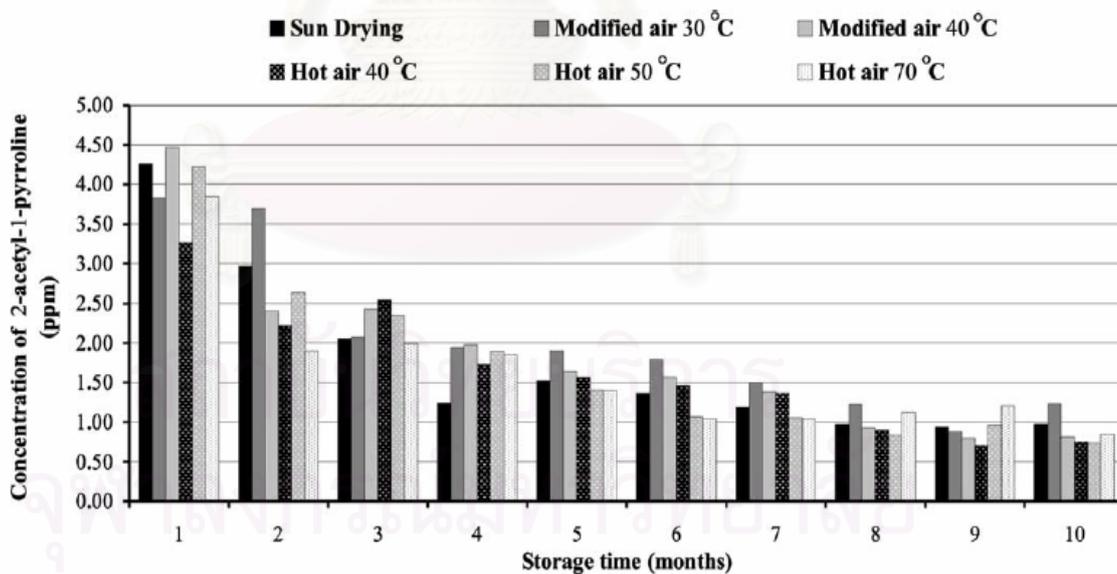
นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอีกลงไปถึงสารต้นตอและปฏิกิริยาการสังเคราะห์สาร 2AP ในต้นข้าว พบว่า N ในวง pyrroline ของ 2AP นั้นมาจาก N ของกรดอะมิโน proline (Pro) แต่ C ในส่วนของ acetyl group นั้นไม่ใช่ C ใน carbonyl group ของ proline (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 การเกิดสาร 2AP จาก proline

ที่มา : Yoshihashi และคณะ (2002)

Wongpornchai และคณะ (2004) ศึกษาถึงอิทธิพลของการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆและระยะเวลาในการเก็บที่มีผลต่อสารหอมตลอดจนคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้ โดยใช้วิธีการอบแห้งทั้งหมด 6 วิธี คือ ตากกลางแจ้ง การใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมแห้งที่ 30 และ 40°C และเครื่องลดความชื้นชนิดลมร้อนที่ 40 50 และ 70°C อบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น 28% wb ลดลงเป็น 13-15% wb เก็บเป็นเวลา 10 เดือน พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (30-40°C) ปริมาณสาร 2AP มีอยู่ในระดับสูง แสดงให้เห็นว่าความชื้นที่สูงเพิ่มมากขึ้นเป็นปัจจัยเร่งการระเหยของสาร 2AP และในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเป็นเวลา 10 เดือนพบว่า ปริมาณสาร 2AP จากเดิม (เดือนที่ 1) 4.02 ± 0.60 ppm ลดลงเป็น 0.89 ± 0.12 ppm (เดือนที่ 10) (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 ปริมาณสาร 2AP ของตัวอย่างข้าวที่ได้จากการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ และเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน

ที่มา : Wongpornchai และคณะ (2004)

2.7.2 การพัฒนาวิธีการตรวจวัด 2AP

วิธีการตรวจสอบความหอมของเมล็ดข้าวได้มีการพัฒนาเรื่อยมา เริ่มตั้งแต่การประเมินกลิ่นหอมด้วยวิธีการดมโดยผู้เชี่ยวชาญ และให้ระดับความหอมของข้าวเป็นระดับตั้งแต่ “ไม่หอม” จนถึง “หอม” และ “หอมมาก” ต่อมาได้มีการนำเอาวิธีทางเคมีมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณความหอมในเมล็ดข้าว ซึ่งเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความหอมคือ Gas chromatograph (GC)

การพัฒนาวิธีการทางเคมีวิเคราะห์สำหรับหาปริมาณ 2AP ในเมล็ดข้าวนั้น เริ่มจากรายงานการวิจัยของ Yajima และคณะ (1978) ได้รายงานถึงการศึกษาระยะเหยงในข้าวพันธุ์โคชิคาริ ซึ่งสกัดด้วยไอน้ำโดยใช้ภาชนะขนาดใหญ่ โดยพบสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยชนิด วิธีการวิเคราะห์แบบนี้ต้องใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ครั้งละ 6 kg. ทำซ้ำ 8 ครั้ง ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวอย่างทั้งหมดประมาณ 48 kg. นำมาวิเคราะห์ด้วย Gas chromatograph-mass spectrometry (GC-MS) และพบว่าสารที่สกัดได้อยู่ในระดับ 0.076-0.156 mg/l

ต่อมาได้มีการพัฒนานำเอาเทคนิคการแยกสารแบบการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์แบบต่อเนื่อง (Likens Nikerson simultaneous steam distillations / solvent extraction apparatus (SDS)) มาใช้ Buttery และคณะ (1983b) ได้นำเอาเทคนิคนี้มาใช้ในการทดลอง พบว่าใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์แต่ละครั้งประมาณ 250 g.

วิธีการวิเคราะห์ 2AP ในเมล็ดข้าวที่ใช้เทคนิคการสกัดแบบไม่ใช้ความร้อนได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Mahatheeranont และคณะ (2001) จากการทดลองพบว่าสาร 2AP ที่วิเคราะห์ได้นั้นสร้างมาจากส่วนของเมล็ดข้าว ไม่ได้เกิดขึ้นจากความร้อนในระหว่างกระบวนการหุงต้มอาหาร เทคนิคนี้เป็นการใช้หลักของการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถทำได้ง่ายในห้องปฏิบัติการเนื่องจากทำการสกัดได้ที่อุณหภูมิห้อง

ทินกร สีเสียดคำ (2548) นำเอาจุดเด่นของเทคนิคเฮดสเปซเข้ามาทดแทนขั้นตอนการเตรียมและการสกัดเพื่อวิเคราะห์ 2AP ได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น โดยอาศัยหลักการที่ว่า ในภาชนะที่ปิดสนิทภายในมีตัวอย่างอยู่ สารระเหยที่อยู่ภายในตัวอย่างจะถูกทำให้ระเหยออกมาอยู่ในที่ว่างเหนือตัวอย่างหรือเฮดสเปซจนเกิดสมดุลกับตัวอย่าง จากนั้นไอของตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติด้วยเครื่อง GC ต่อไป โดยผลการศึกษาพบว่าสามารถวิเคราะห์ 2AP ได้โดยใช้ตัวอย่าง 0.1 กรัม ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด 45 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP ในตัวอย่างข้าว

2.8 การเปลี่ยนแปลงของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

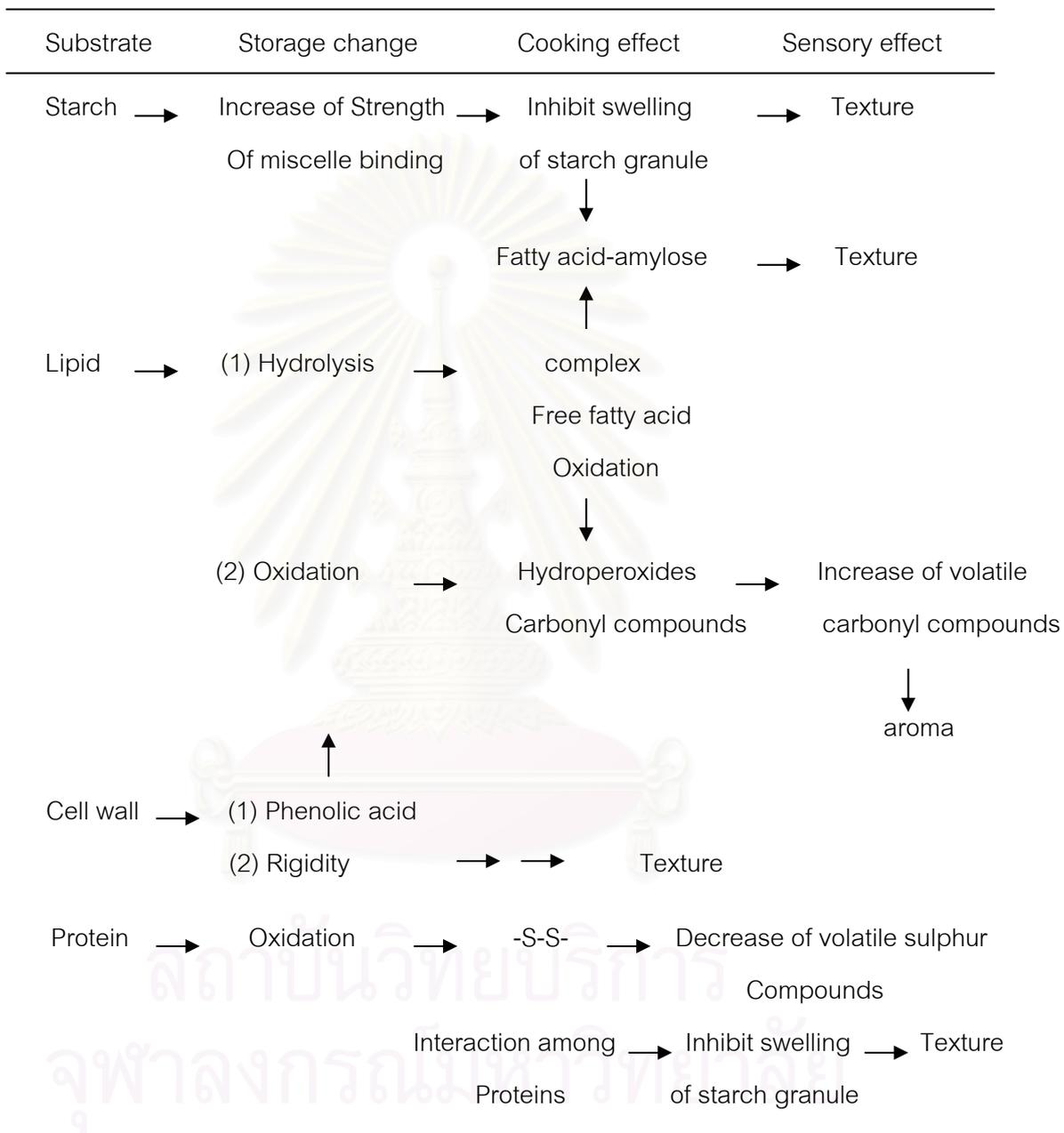
Widjaja และคณะ (1996) รายงานว่าการเก็บข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 84% ภายใต้ความดันปกติหรือเก็บภายใต้สูญญากาศที่ 0.150 kPa ไม่สามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของ 2AP ได้ 2AP ยังคงลดลงประมาณ 40-50% ภายใน 3 เดือน และพบว่าการมี (E)-2, (E)-4-decadienal ในปริมาณน้อยจะช่วยเสริมให้ข้าวมีกลิ่นหอม ในขณะที่เดียวกันถ้ามีสารนี้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดกลิ่นหืนในข้าว นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการเก็บข้าวไว้ในรูปข้าวเปลือกจะสามารถรักษาความหอมได้มากกว่าข้าวกล้องและข้าวสาร

เมธินี เหวซึ่งเจริญ และคณะ (2546) ศึกษาการเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้คงความหอมด้วยวิธี Grain Chilling โดยนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 14% wb เก็บในถังสังกะสีที่มีการเป่าอากาศเย็นเข้าด้านล่าง แปรค่าอุณหภูมิการเก็บเป็น 10 และ 15°C และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°C) เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บคือที่ 15°C และหากต้องการควบคุมคุณภาพข้าวให้คงที่อาจจะต้องเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นเวลา 3 เดือนก่อนจะสีจำหน่ายขึ้นเพื่อให้ห้องค้ประกอบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น แป้ง ไขมัน และโปรตีนปรับตัวให้เข้ากัน (conditioning) รวมทั้งเป็นช่วงที่สารหอมค่อนข้างคงที่

พัศกร เจียตระกูล และคณะ (2546) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทดลองเก็บข้าวเปลือกที่ 10 และ 15°C และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28°C) เป็นเวลา 6 เดือนโดยไม่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้า พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 15°C ปริมาณแอมิโลสคงที่ ส่วนข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีแอมิโลสเพิ่มขึ้น ความแข็งของข้าวสุกเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการหุงสุกนาน ในด้านกลิ่น 2AP ในข้าวกล้องจะพบมากกว่าข้าวสารเพราะข้าวสารเป็นข้าวเปลือกที่ถูกนำไปสีเอาเปลือกออกและขัดรำต่อซึ่งความร้อนดังกล่าวจะทำให้ 2AP ระเหยออกไปมากกว่า นอกจากนี้ปริมาณสาร 2AP ของตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 15°C พบว่าไม่แตกต่างกัน

Zhou และคณะ (2002) รายงานว่าภายหลังการเก็บเกี่ยว เมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นของ 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน และโปรตีน โดยส่วนของแป้งจะเกิดการเพิ่มแรงเกาะกันระหว่าง miscelle ทำให้ไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง ส่วนของกรดไขมันอิสระที่ได้จากการย่อยของ enzyme เมื่อทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งจะมีผลไปยับยั้งการขยายตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสวยในขณะเดียวกันไขมันบางส่วนเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะได้สารประกอบ Hydroperoxides carbonyl ทำให้ข้าวมีกลิ่นหืน ส่วนของโปรตีนเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจะได้สารที่มีส่วนประกอบของธาตุกำมะถันที่คงตัว (-S-S-) ที่คงตัวมากขึ้น ทำให้สารระเหยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ลดลงและส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงด้านกลืนในข้าวและสารนี้ยังมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม ข้าวสวยที่ได้มีความนุ่มลดลง ข้าวมีลักษณะของสีที่คล้ำขึ้น และสุดท้ายเป็นส่วนของเซลล์วอลล์จะปลดปล่อยกรดฟีนอลิก ทำให้ข้าวมีลักษณะที่แข็งขึ้น มีเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไป (รูปที่ 2.13)



รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ที่มา: Zhou และคณะ (2003)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

3.1.1. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบแห้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 แบบ 2 ขั้นตอน (ฟลูอิโดซ์เบดและอบในโรงเก็บ) โดยทำการแปรค่าอุณหภูมิในการอบแห้งในช่วง 100-150°C พิจารณาปริมาณ 2AP และคุณภาพของข้าวจากการสี

3.1.2. ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นเวลา 6 เดือน

3.2 วัสดุุดิบ

วัสดุุดิบที่นำมาศึกษา คือ ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งได้จากศูนย์ส่งเสริมและผลิตพันธุ์ข้าวชุมชนประเภทข้าวขาวดอกมะลิดีเด่นระดับประเทศประจำปี 2547 ชุมชนบ้านโนนม่วงย ต.นาหนองไผ่ อ.ชุมพลบุรี จ.สุรินทร์

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิโดเซชัน

ก) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (drying curve)

เพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือกจนมีค่าความชื้นเท่ากับ 35% dry basis(db) แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิโดซ์เบดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm ความสูงเบด 9.5 cm ความเร็วลมในการอบแห้ง 2.5 m/s ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 100 115 125 135 และ 150°C สุ่มตัวอย่างทุก 30 วินาทีในช่วง 3 นาทีแรก สุ่มตัวอย่างทุก 1 นาทีในนาทีที่ 4 5 และ 6 ต่อจากนั้นจะสุ่มตัวอย่างทุก 2 นาทีในนาทีที่ 8 และ 10 นำตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆกันมาประเมินผล โดยวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

- (1) ความชื้น ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ก.2
- (2) อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือก

รวบรวมผลการทดลองที่ได้จาก ข้อ ก) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาภาวะที่

เหมาะสมในการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดในการลดความชื้นจาก 35% db เป็น 23-25% db ในข้อ ข) ต่อไป

สำหรับตัวอย่างอ้างอิง จะนำข้าวเปลือกหลังจากปรับความชื้นให้อยู่ที่ 35% db แล้วมาอบแห้งในโรงเก็บ (ตากในที่ร่ม) วิเคราะห์ความชื้นทุกๆ วันเป็นเวลา 10 วันจนน้ำหนักคงที่

ข) หากภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดในการลดความชื้นจาก 35% db เป็น 23-25% db พร้อมทั้งค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลองในข้อ 3.3.2. สำหรับการหาภาวะที่เหมาะสมตัวอย่างอ้างอิงนั้นเลือกจากเวลาที่ทำให้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งในโรงเก็บมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 14-15% db

3.3.2. ศึกษาผลของกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (การอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) ต่อปริมาณ 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L.

นำข้าวเปลือกที่ถูกปรับความชื้นอยู่ที่ 35% db มาอบแห้งในขั้นตอนที่ 1 ด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm ความสูงของเบด 9.5 cm ความเร็วลมในการอบแห้ง 2.5 m/s อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C จนความชื้นอยู่ในช่วง 23-25% db โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีอุณหภูมิการอบแห้งต่างกันให้มีความชื้นอยู่ในช่วงดังกล่าวพิจารณาจากผลการทดลองในข้อ 3.3.1 ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งในขั้นตอนนี้จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

- (1) ความชื้น ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ก.2
- (2) อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือก

ต่อจากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งต่อในขั้นตอนที่ 2 ในโรงเก็บ (ตากในที่ร่ม) ซึ่งในระหว่างที่เก็บในโรงเก็บจะสุ่มตัวอย่างทุกวันมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นจนกระทั่งความชื้นอยู่ในช่วง 14-15% db และบันทึก % relative humidity ของอากาศแวดล้อมหลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งมาประเมินผล โดยวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

- (1) a_w ดังแสดงใน ภาคผนวก ก.1
- (2) ความชื้น ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ก.2
- (3) เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ตามวิธีของสุทธิณี วานิชสำราญ (2545) ดังแสดงในภาคผนวก ก.3
- (4) ตรวจพื้นผิวเมล็ดข้าวด้วยกล้อง Scanning electron microscopy (JEOL, JSM-5800LV scanning microscope)
- (5) สีของเมล็ดข้าวสาร โดยเครื่องวัดสีระบบ CIELAB ดังแสดงในภาคผนวก ก.4

- (6) วิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP ในสารสกัดจากเมล็ดข้าวด้วยเทคนิค GC / MS ตามวิธีของทินกร สีเสียดคำ (2548) ดังแสดงในภาคผนวก ก.5

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 4 ซ้ำมีทั้งสิ้น 20 หน่วยทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

3.3.3. ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นเวลา 6 เดือน

นำข้าวเปลือกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C ตามลำดับ (จากข้อที่ 3.3.2) มาบรรจุลงในถุงกระสอบและแปรค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28-30 °C) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ในระหว่างการเก็บบันทึก % relative humidity ของอากาศแวดล้อมและ water activity (a_w) ของข้าวเปลือกที่เก็บไว้ทุกสัปดาห์ และสุ่มตัวอย่างทุก 2 เดือนมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

- (1) a_w ดังแสดงใน ภาคผนวก ก.1
- (2) ความชื้นตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ก.2
- (3) เเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ตามวิธีของสุทธิณี วานิชสำราญ (2545) ดังแสดงในภาคผนวก ก.3
- (4) สีของเมล็ดข้าวสาร โดยเครื่องวัดสีระบบ CIELAB ดังแสดงในภาคผนวก ก.4
- (5) วิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP ในสารสกัดจากเมล็ดข้าวด้วยเทคนิค GC / MS ตามวิธีของทินกร สีเสียดคำ (2548) ดังแสดงในภาคผนวก ก.5

วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric Factorial Design ขนาด 2x5 โดยมีปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิในการเก็บมี 2 ระดับ (15°C และอุณหภูมิห้อง) ปัจจัยที่ 2 คือ ตัวอย่างข้าวที่ได้จากอุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ (100 115 125 135 และ 150°C) ทดลอง 4 ซ้ำมีทั้งสิ้น 40 หน่วยทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

สำหรับตัวอย่างอ้างอิง เตรียมโดยเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือกจนมีค่าความชื้นเท่ากับ 35% db แล้วนำไปอบแห้งในโรงเก็บจนกระทั่งความชื้นอยู่ในช่วง 14-15% db แบ่งตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆในข้อ 3.3.2 ส่วนที่ 2 นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C และอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือนสุ่มตัวอย่างทุก 2 เดือนไปวิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกับตัวอย่างในข้อ 3.3.3

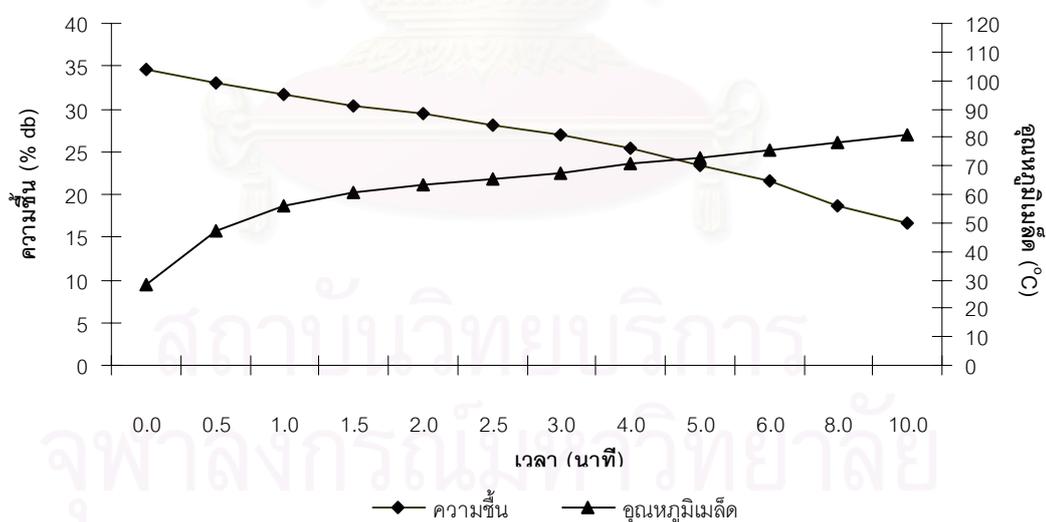
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

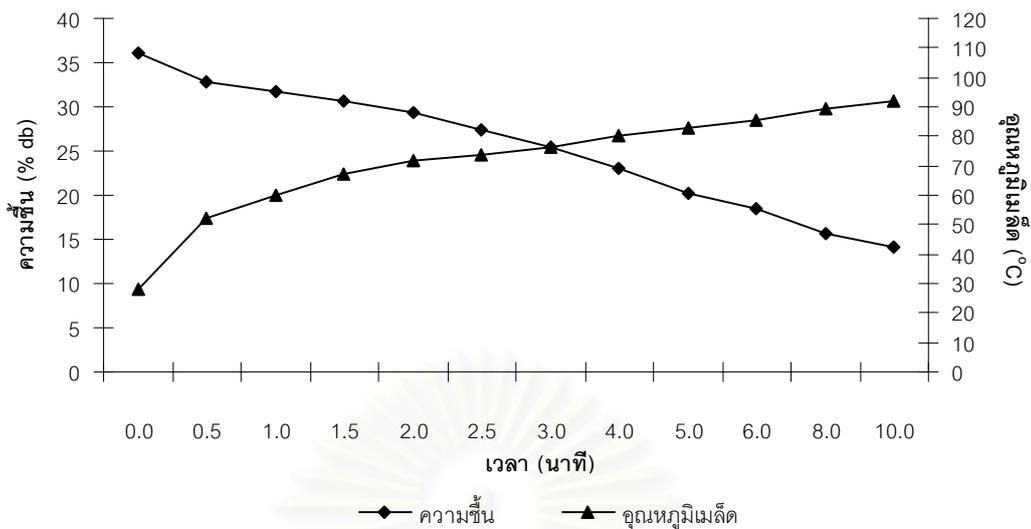
งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน ขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาผลของการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (การอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) ต่อปริมาณ 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L. และขั้นตอนที่สามเป็นการศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นระยะเวลา 6 เดือน

4.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

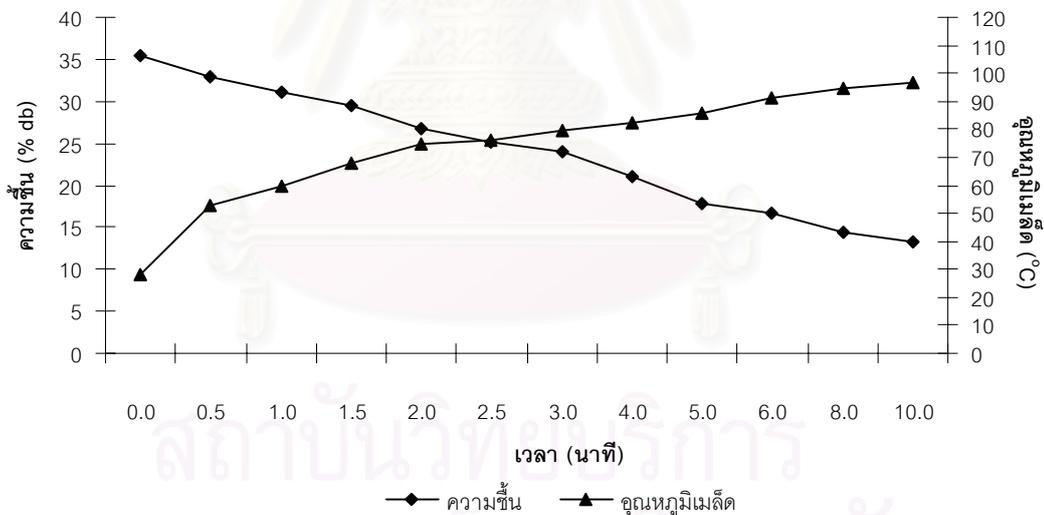
ก) เมื่อเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือกจนมีค่าความชื้นเท่ากับ 35% db แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่วัดได้ (รูปที่ 4.1-4.5) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกลดลง อุณหภูมิเมล็ดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น



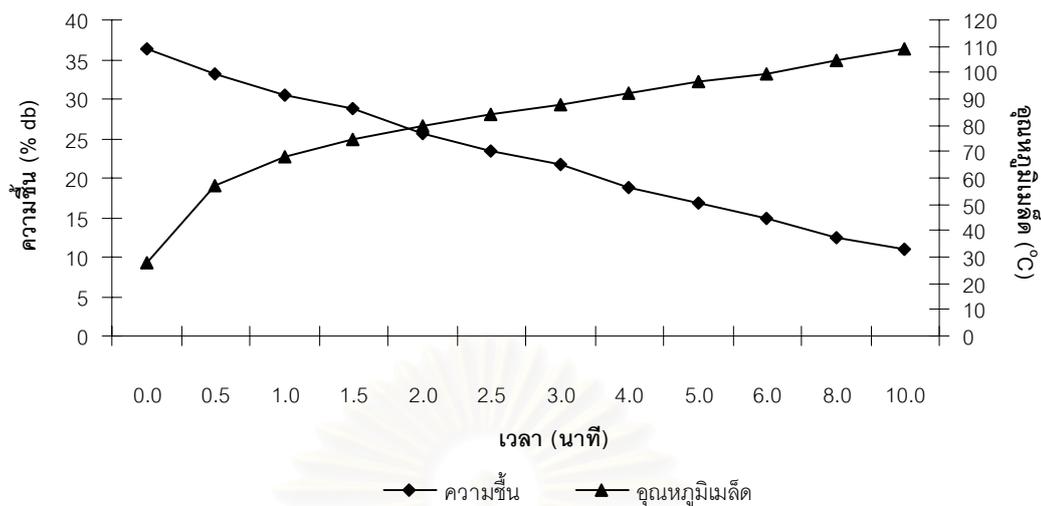
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C



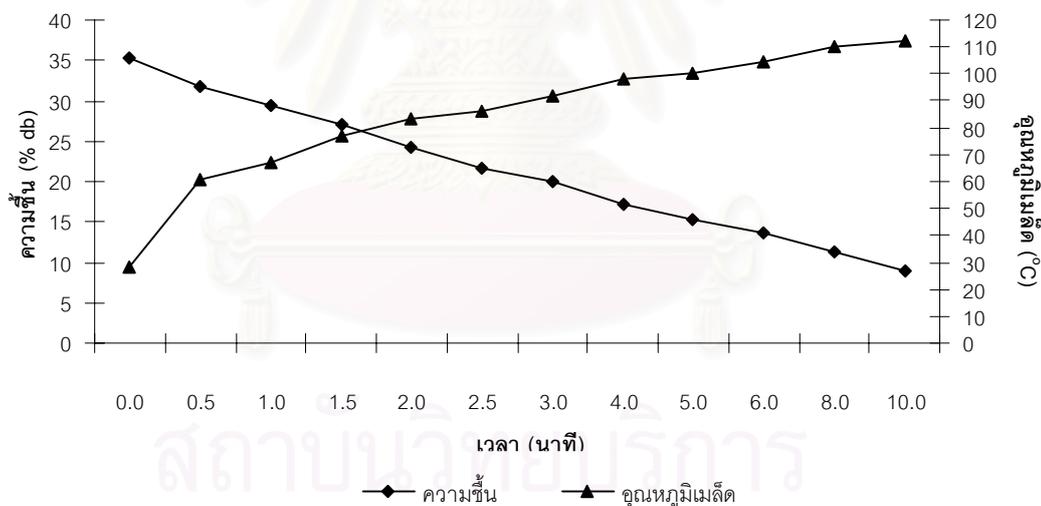
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบดที่อุณหภูมิ 115°C



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบดที่อุณหภูมิ 125°C



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบดที่อุณหภูมิ 135°C



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C

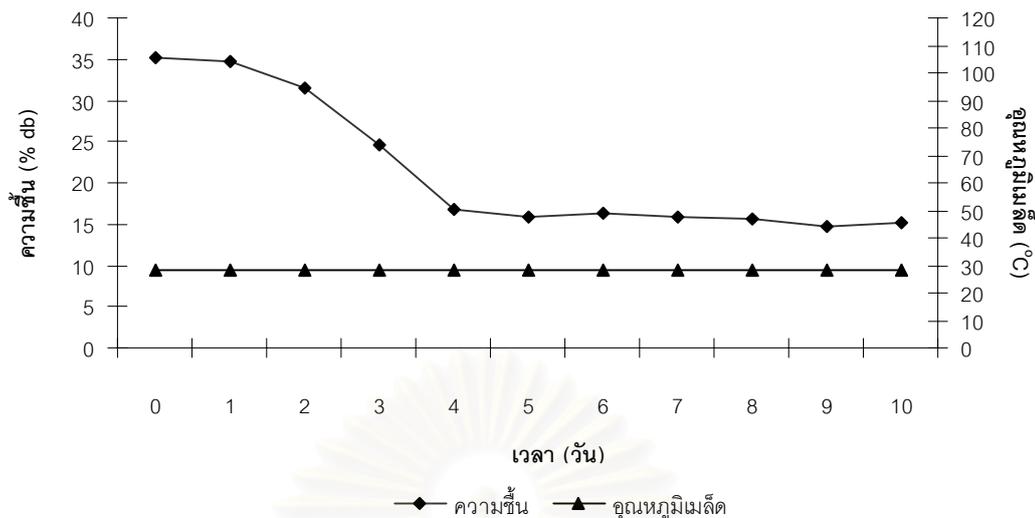
หากเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการอบแห้งที่ 10 นาที พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นจะทำให้ข้าวเปลือกมีน้ำหนักคงที่เร็วขึ้น ความชื้นต่ำลง (ตารางที่ 4.1) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 10 นาที ความชื้นสุดท้ายเหลือเพียง 8.98% db เท่านั้น

ตารางที่ 4.1 ความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 10 นาที

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความชื้น (% db)
100	16.59 ± 0.52
115	14.04 ± 0.41
125	13.28 ± 0.18
135	11.02 ± 0.50
150	8.98 ± 0.25

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอย่างอ้างอิง (รูปที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าในช่วง 4 วันแรกความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในช่วงดังกล่าวเป็นความชื้นในส่วนน้ำอิสระ (free water) จึงแพร่ออกสู่นอกได้ง่าย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแวดล้อมที่ใช้ในการตากในที่ร่มด้วย ถ้าอากาศแวดล้อมมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ตัวอย่างอาหารจะแพร่ความชื้นให้กับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตัวอย่างอาหารจึงแห้งได้เร็ว ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในระหว่างการลดความชื้นของตัวอย่างอ้างอิงมีค่าอยู่ที่ประมาณ $74.00 \pm 6.28\%$ หลังจากการตากในที่ร่มตั้งแต่วันที่ 5 เป็นต้นไปเห็นได้ว่าความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นดังกล่าวเป็นน้ำในส่วนที่เกาะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในเมล็ดพืช (bound water) จึงแพร่ออกมาอย่างช้าๆ และเข้าสู่สมดุลในที่สุด



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมลิ็ดของตัวอย่างอ้างอิง ที่ผ่านการอบแห้งในโรงเก็บ

ข) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งค่าอุณหภูมิเมลิ็ดข้าวเปลือกที่วัดได้ข้างต้น นำมาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบดในการลดความชื้นจาก 35% db เป็น 23-25% db พร้อมทั้งค่าอุณหภูมิเมลิ็ดข้าวเปลือกที่วัดได้ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C ต้องใช้เวลา 4 นาที 40 วินาที 3 นาที 25 วินาที 3 นาที 5 วินาที 2 นาที 35 วินาที และ 2 นาที 15 วินาที มีค่าอุณหภูมิเมลิ็ดข้าวเปลือกอยู่ที่ 71.45 78.13 81.08 83.30 และ 86.95°C ตามลำดับ หลังจากนั้นตัวอย่างข้าวเปลือกจะถูกนำไปอบแห้งต่อในโรงเก็บเพื่อลดความชื้นจาก 23-25% db เป็น 14-15% db การอบแห้งในขั้นตอนนี้จะทำให้ตัวอย่างมีการแพร่ความชื้นอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการลดอุณหภูมิเมลิ็ดข้าวเปลือกที่สูงภายหลังออกจากเครื่องฟลูอิดซ์เบดให้ลดลงอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการร้าวที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน สำหรับตัวอย่างอ้างอิงจะทำการลดความชื้นในโรงเก็บจาก 35% db เป็น 14-15% db พบว่าต้องใช้เวลา 5-7 วัน

4.2 ศึกษาผลของกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (การอบแบบฟลูอิดซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) ต่อปริมาณสาร 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L.

นำข้าวเปลือกที่ถูกปรับความชื้นอยู่ที่ 35% db อบแห้งในขั้นตอนที่ 1 ด้วยฟลูอิดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C จนความชื้นอยู่ในช่วง 23-25% db โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีอุณหภูมิกอบแห้งต่างกันให้มีความชื้นอยู่ในช่วงดังกล่าวพิจารณา

จากผลการทดลองในข้อ 4.1(ข) และแสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.2 ต่อจากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งในชั้นตอนที่ 2 ในโรงเก็บ (ตากในที่ร่ม) จนกระทั่งความชื้นอยู่ในช่วง 14-15% db

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาและอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไบทซ์เบดที่อุณหภูมิการอบแห้ง 100 115 125 135 และ 150°C เพื่อลดความชื้นจาก 35%db เป็น 23-25% db

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	การอบชั้นที่ 1 ด้วยฟลูอิดไบทซ์เบด		
	เวลาในการอบแห้ง	ความชื้น (% db)	อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก (°C)
100	4 นาที 40 วินาที	24.02 ± 0.47	71.45 ± 0.69
115	3 นาที 25 วินาที	24.46 ± 0.52	78.13 ± 1.01
125	3 นาที 5 วินาที	23.95 ± 0.35	81.08 ± 0.94
135	2 นาที 35 วินาที	23.53 ± 0.15	83.30 ± 0.73
150	2 นาที 15 วินาที	23.98 ± 0.34	86.95 ± 0.81

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภายหลังที่ตัวอย่างข้าวเปลือกผ่านการอบแห้งในชั้นตอนที่ 2 แล้วจะนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆดังนี้

4.2.1 a_w และปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ a_w และปริมาณความชื้น พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มี a_w และปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.732-0.746 และปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 14.41-15.11% db (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 a_w และปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	a_w	ความชื้น (% db)
ตัวอย่างอ้างอิง	0.742 ± 0.004^{ab}	14.86 ± 0.16^{bc}
100	0.746 ± 0.002^a	15.11 ± 0.04^a
115	0.740 ± 0.002^b	14.73 ± 0.08^c
125	0.732 ± 0.004^c	14.41 ± 0.16^d
135	0.744 ± 0.002^{ab}	14.98 ± 0.15^{ab}
150	0.745 ± 0.003^a	14.98 ± 0.04^{ab}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.2 เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

หากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างอ้างอิงที่ผ่านการอบแห้งในโรงเก็บกับตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดซึ่งถือว่าการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดในระหว่างการอบแห้ง ความชื้นถูกทำให้ลดลงอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากการอบแห้งแล้วเมื่อทิ้งไว้จะทำให้ผิวนอกของเมล็ดข้าวมีความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดลดลง ในขณะที่ภายในเมล็ดยังมีความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดสูงอยู่ ภายในแพร์ ความชื้นให้กับภายนอก ภายนอกได้รับความชื้นเกิดการขยายตัว ภายในสูญเสียความชื้นเกิดการหดตัว เมื่อเกิดแรงทั้ง 2 พร้อมกันนำไปสู่การแตกข้าวในเมล็ดข้าว (Cnossen และคณะ, 2003) เมื่อนำไปสีข้าวจึงหักให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันต่ำกว่า นอกจากนี้ Juliano และ Perez (1983) ทดลองโดยนำข้าวพันธุ์ RD 4 IR841-67-1 CA-63G IR 42 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่างกันไปหุงแล้ววัดความแข็งของเมล็ดข้าวด้วยเครื่อง Instron cooked-rice hardness พบว่าข้าวในพันธุ์ที่มีแอมิโลสมากจะให้ความแข็งแรงของเมล็ดข้าวมากกว่า Webb และคณะ (1986) ทดลองในข้าวเชิงการค้าของอเมริกาทั้งหมด 28 ชนิด พบว่าข้าวที่มีความแข็งแรงมากจะให้ปริมาณข้าวตันที่สูงต่อมารรณพ เหล่ากุลดิกล (2548) ทดสอบปริมาณแอมิโลส ความแข็งของเมล็ดข้าวและเปอร์เซ็นต์ข้าวตันในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 30.25% เมื่อทำการวัดความแข็งของเมล็ดข้าวและเปอร์เซ็นต์ข้าวตันจะให้ค่าเท่ากับ 52.76 N/cm^3 และ 51.50% ตามลำดับซึ่งต่ำกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ดังนั้นจึง

สรุปได้ว่าปริมาณของแอมิโลสที่มีอยู่ในข้าวมีความสัมพันธ์ต่อความแข็งแรงของเมล็ดข้าวและปริมาณข้าวตันที่ได้ หากมีแอมิโลสสูงข้าวจะมีความแข็งแรงมากส่งผลให้ปริมาณข้าวตันเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ (15-16%) (สุทธิณี วาณิชสำราญ, 2545) ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จึงมีโอกาสเกิดรอยร้าวภายในเมล็ดมาก ในระหว่างการขัดสีข้าวจึงมีความทนทานต่อการสีที่เกิดขึ้นได้ต่ำ ส่งผลให้ข้าวหักเพิ่มขึ้น และหากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไรซ์เบดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวตันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ข้าวตันของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

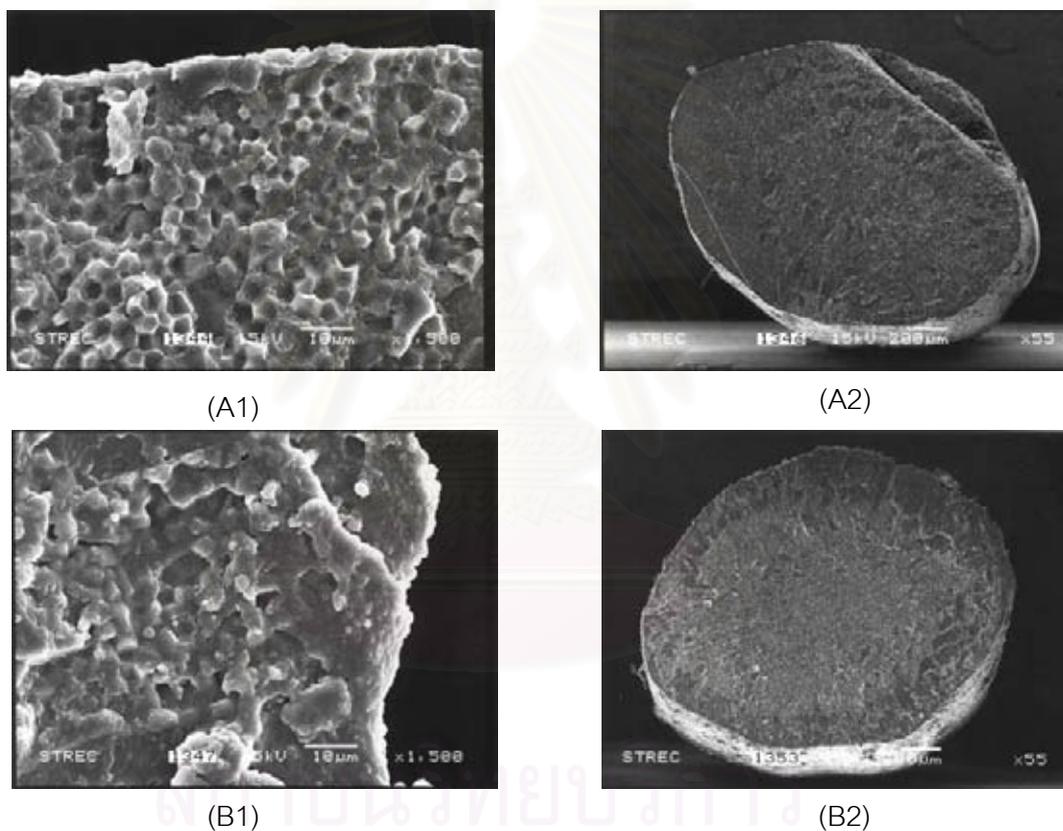
อุณหภูมิตอบแห้ง(°C)	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน
ตัวอย่างอ้างอิง	62.44 ± 0.85 ^a
100	41.18 ± 1.20 ^e
115	47.97 ± 0.27 ^d
125	50.62 ± 1.03 ^c
135	54.91 ± 0.32 ^b
150	54.63 ± 2.02 ^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

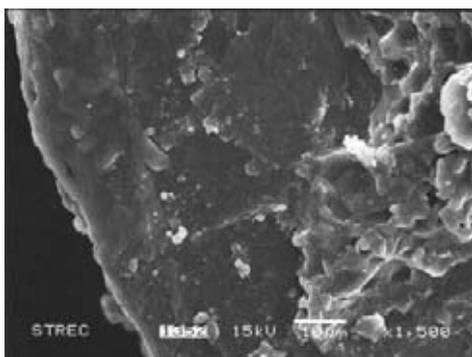
* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หลังจากนั้นนำตัวอย่างข้าวเปลือกไปส่องด้วยกล้อง Scanning electron microscopy พบว่ารูปร่างของเม็ดแป้งเดิมมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม (Hoseney, 1998) มีมุมขนาด 3-8 μm (Bao และ Berman, 2003) (รูปที่ 4.7 A1-A2) เมื่อตัวอย่างข้าวเปลือกผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไรซ์เบด ทำให้เม็ดแป้งที่บริเวณขอบของเมล็ดข้าวมีการสูญเสียรูปร่างไปโดยส่วนใหญ่ มีการหลอมของเม็ดแป้งเกิดขึ้น เกิดเจลาติไนซ์บางส่วน (รูปที่ 4.7 B1-B2) ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกในการอบแห้งซึ่งมีค่า 35% db เป็นช่วงความชื้นที่ทำให้เกิดเจลาติไนซ์แบบที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัดได้ โดย Hoseney (1998) รายงานว่าการเกิดเจลาติไนซ์ชั้นที่สมบูรณ์ ต้องมีน้ำที่มากเกินพอในอัตราส่วนน้ำ : แป้งเป็น 2 : 1 เมื่อลดน้ำลงให้มีอยู่อย่างจำกัดโดยทดลองใน Wheat starch พบว่ามีการสูญเสีย birefringence ไป เกิดเจลาติไนซ์บางส่วนที่อัตราส่วนน้ำ : แป้งเป็น 0.35 : 1 ต่อมา Rudi และคณะ (2006) รายงานว่าการเกิดเจลาติไนซ์ชั้น

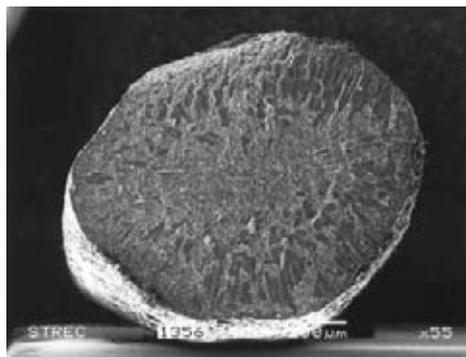
แบบที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัดในแป้งข้าวเจ้าสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงความชื้น 18-25% wb ในแป้งข้าวโพดเกิดขึ้นในช่วงความชื้น 20% wb ลักษณะโครงสร้างของเม็ดแป้งจะสูญเสียความเป็นผลึกไป นอกจากนี้แล้วในระหว่างการอบแห้งตัวอย่างข้าวเปลือกได้มีการสัมผัสกับความชื้น ความร้อนทำให้อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกสูงขึ้นโดยสูงมากกว่า 70°C ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกับอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันของข้าวเจ้าที่มีค่าอยู่ในช่วง $68.0-78.0^{\circ}\text{C}$ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จากปัจจัยทั้งในเรื่องของปริมาณความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดข้างต้น จึงทำให้เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวได้ และเมื่อเย็นตัวลงโครงสร้างจะจับตัวกันแน่นขึ้น โดยการหลอมของเม็ดแป้งนั้นเปรียบเสมือนกาวที่คอยประสานรอยร้าวในเมล็ดข้าว



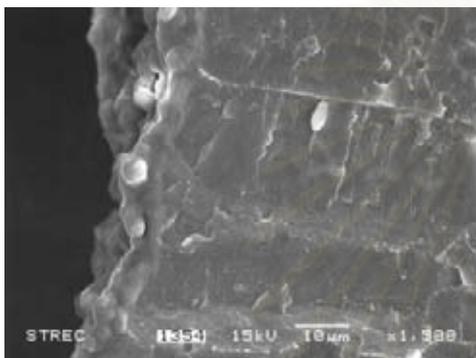
รูปที่ 4.7 ภาพตัดขวางของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C โดย A1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่เป็นตัวอย่างอ้างอิงกำลังขยาย 1,500 เท่า, A2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่เป็นตัวอย่างอ้างอิงกำลังขยาย 55 เท่า, B1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, B2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C กำลังขยาย 55 เท่า



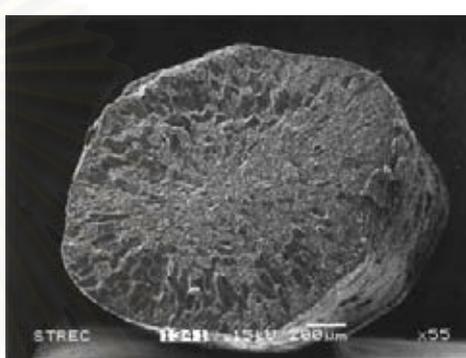
(C1)



(C2)



(D1)



(D2)

รูปที่ 4.8 ภาพตัดขวางของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลาสมาที่อุณหภูมิ 115 และ 150°C โดย C1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลาสมาที่อุณหภูมิ 115°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, C2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลาสมาที่อุณหภูมิ 115°C กำลังขยาย 55 เท่า, D1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลาสมาที่อุณหภูมิ 150°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, D2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลาสมาที่อุณหภูมิ 150°C กำลังขยาย 55 เท่า

และเมื่อพิจารณาที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลาสมาที่อุณหภูมิอบแห้งต่างกัน พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น (150°C) เม็ดแป้งเกิดการหลอมมากขึ้น เกิดเจลาติไนซ์บางส่วนเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างจับตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้ข้าวที่ได้มีลักษณะที่แข็ง แกร่ง เมื่อนำไปสีข้าวจึงทนต่อแรงกระแทกในการสีได้ดี ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงขึ้น (รูปที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poom sa-ad และคณะ (2002) และ Taweerattanapanish และคณะ (1999) ที่รายงานไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงในข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับการเกิดในข้าวเก่า สามารถเร่งความเป็นข้าวเก่าได้เช่นเดียวกับ Wiset และคณะ (2003) ที่ศึกษาผลการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงต่อสมบัติทางกายภาพ

และเคมีของข้าว ทดลองในข้าวทั้งหมด 3 พันธุ์คือ Langi Amaroo และ Chainart อบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด (100 125 และ 150°C) แล้วนำเป่าต่อด้วยอากาศแวดล้อม พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปเปอร์เซ็นต์ข้าวตันสูงขึ้นไป โครงสร้างเม็ดแป้งบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลการทดลองที่ได้ขัดแย้งกับ บุญมี และคณะ (2546) ซึ่งศึกษาผลการลดความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพการขัดสีของข้าวหอมมะลิ 105 โดยใช้วิธีการอบแห้งทั้งหมด 6 วิธี คือ ตากกลางแจ้ง ใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมแห้งที่ 30 และ 40°C และใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมร้อนที่ 40 50 และ 70°C พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (30-40°C) ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่สูงถึง 61% ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ (70°C) ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันต่ำเพียง 32% ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นที่ใช้ในการอบแห้งไม่สูงพอที่จะทำให้อุณหภูมิมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนซ์ได้ ดังนั้นอุณหภูมิต่ำ 70°C จึงเป็นภาวะที่รุนแรงทำให้ข้าวหักได้ง่ายกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.3 ค่าสี

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิต่ำในการอบแห้งมีผลต่อค่าสี โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันส่งผลให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสาร และความเหลืองของข้าวสาร (b^*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ค่าสีของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

อุณหภูมิต่ำ (°C)	ดัชนีความขาว	b^*
ตัวอย่างอ้างอิง	65.48 ± 0.43 ^d	9.01 ± 0.33 ^c
100	67.32 ± 0.50 ^a	8.57 ± 0.04 ^d
115	66.70 ± 0.24 ^b	8.91 ± 0.16 ^c
125	66.07 ± 0.18 ^c	9.25 ± 0.02 ^b
135	65.50 ± 0.09 ^d	9.80 ± 0.04 ^a
150	65.21 ± 0.21 ^d	9.96 ± 0.04 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

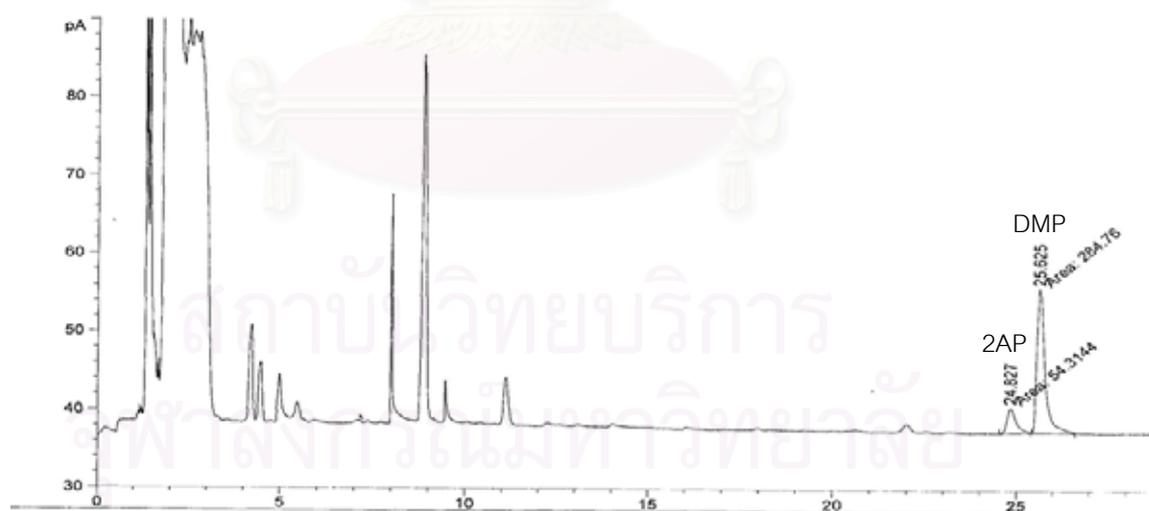
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ซึ่งตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100°C มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 67.32% ในขณะที่ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 150°C ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสาร

เท่ากับ 65.21% สำหรับค่าความเหลือง (b^*) พบว่าการอบแห้งที่ 100°C ให้ค่า b^* เท่ากับ 8.57 และเมื่อผ่านการอบแห้งที่ 150°C ให้ค่า b^* เท่ากับ 9.96 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความขาวที่วิเคราะห์ได้สัมพันธ์กับค่าความเหลือง ซึ่งให้เห็นว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีแนวโน้มให้ความขาวในข้าวลดลง นั่นคือข้าวเริ่มมีสีเหลืองมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Soponronnarit และ Prachayawarakorn (1994) ศึกษาผลของการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไรเซชัน ทดลองอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 100 130 และ 150°C ผลการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ให้ค่าความขาวต่ำสุด เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นเข้าไปเร่งการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning โดยความร้อนจะเข้าไปตัดพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลออกให้กลายเป็นสารประกอบคีโตนทำให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้น

4.2.4 ปริมาณ 2AP

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสาร 2AP โดยอาศัยเทคนิคของ Headspace Gas Chromatography (HS-GC) ซึ่งใช้ 2,4 dimethylpyridine (DMP) เป็นสารละลายมาตรฐานภายในพบว่า สาร 2AP มีค่า retention times เท่ากับ 24.83 นาที สารละลายมาตรฐาน DMP มี retention times เท่ากับ 25.63 นาที (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 โครมาโตแกรมของสาร 2AP จากตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 115°C

นอกจากนี้แล้วยังพบอีกว่าตัวอย่างข้าวอ้างอิงซึ่งเป็นตัวอย่างข้าวเปลือกที่อบแห้งในโรงเก็บ (ตากในที่ร่ม) จะพบสาร 2AP มากถึง 1.4547 ppm ในขณะที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C พบปริมาณสาร 2AP เพียง 0.9964 0.9180

0.8954 0.7738 และ 0.7912 ppm ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิงพบว่าลดลง 31.50 36.89 38.45 46.81 และ 45.61% ตามลำดับเห็นได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณสาร 2AP มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.6) ผลการทดลองที่ได้ขัดแย้งกับ Sunthonvit และคณะ (2003) ที่ศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงต่อปริมาณสารหอมที่เป็นองค์ประกอบในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยอบแห้งแบบ 2 ชั้นตอน ชั้นตอนแรกอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 100 125 และ 150°C อบแห้งจนกระทั่งความชื้นลดลงจาก 26% wb เป็น 18% wb จากนั้นจะนำข้าวเปลือกจากชั้นตอนแรกมาอบแห้งในโรงเก็บจนกระทั่งได้ปริมาณความชื้นเป็น 13-14% wb ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างอ้างอิง และตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 125 และ 150°C มีปริมาณ 2AP เท่ากับ 44.7 48.8 79.8 และ 124.8 ppb ตามลำดับโดยการเพิ่มขึ้นของสาร 2AP เนื่องจาก Millard reaction เห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้สาร 2AP เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแทบจะไม่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากในการวิเคราะห์สารระเหยในการทดลองซึ่งใช้แบบ Likens and Nickerson apparatus for simultaneous distillation extraction (SDE) ซึ่งขั้นตอนในการสกัดต้องนำตัวอย่างข้าวเปลือกมาต้มกับตัวทำละลายและไอระเหยที่ได้นำไปควบแน่นและกลั่นแยกออกมา สารตั้งต้นของ 2AP ที่อยู่ในข้าวเมื่อได้รับความร้อนในช่วงเวลานานอาจเกิดปฏิกิริยาและสร้าง 2AP ขึ้นซึ่งไม่ใช่ 2AP ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว งานวิจัยนี้ได้นำเอาเทคนิคเฮดสเปซมาใช้ในการวิเคราะห์สารระเหยซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคที่ได้รับการพัฒนา มาแล้วว่าสะดวกและรวดเร็ว เป็นการวิเคราะห์ในระบบปิดและอัตโนมัติ ค่าที่วิเคราะห์ที่ได้มีความแม่นยำ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Wongpornchai และคณะ (2004) ที่ศึกษาถึงอิทธิพลของการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆที่มีผลต่อสารหอมตลอดจนคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่สีได้ โดยใช้วิธีการอบแห้งทั้งหมด 6 วิธี คือ ตากกลางแจ้ง ใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมแห้งที่ 30 และ 40°C และใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมร้อนที่ 40 50 และ 70°C และนำมาวิธีการวิเคราะห์สารระเหยแบบการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ในตัวอย่างข้าวดิบมาใช้ ซึ่งเป็นการสกัดที่ไม่ใช้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นวิธีที่มีความแม่นยำและใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย ผลการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (30-40°C) ปริมาณสาร 2AP จะมีระดับที่สูง จากการทดลองในส่วนนี้เราจึงสามารถสรุปเกี่ยวกับแหล่งที่มาของสารหอม 2AP ได้ว่าเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยา Maillard reaction ที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง สาร 2AP ถูกสร้างขึ้นในส่วนอื่นๆ แล้วส่งถ่ายไปที่เมล็ดข้าวหรือสร้างขึ้นเองที่เมล็ดข้าว (นันทวรรณ รักพงษ์, 2547) และพบมากที่บริเวณเยื่อหุ้มและเนื้อเยื่อภายในเมล็ดซึ่งจะเกาะเกี่ยวอยู่โดยสร้างพันธะอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น แป้ง หรือกรดไขมัน เมื่อถูกความร้อนที่เพิ่มขึ้น ความร้อนจะเข้าไปกระตุ้นให้สาร 2AP ระเหยออกมาที่บริเวณผิวของเมล็ดมากขึ้น และระเหยออกสู่ภายนอกในที่สุด ทำให้ปริมาณ

สาร 2AP ที่เหลืออยู่ตรวจพบได้น้อยลง ดังนั้นความร้อนจึงถือว่าเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการระเหยของสาร 2AP ไป

ตารางที่ 4.6 ปริมาณ 2AP ของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

อุณหภูมิมอบแห้ง (°C)	2AP (ppm)
ตัวอย่างอ้างอิง	1.4547 ± 0.0611 ^a
100	0.9964 ± 0.0314 ^b
115	0.9180 ± 0.0109 ^c
125	0.8954 ± 0.0289 ^c
135	0.7738 ± 0.0303 ^d
150	0.7912 ± 0.0432 ^d

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นเวลา 6 เดือน

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150 °C ตามลำดับ (จากข้อ 4.2) มาแปรค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 15 °C และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28-30 °C) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน สุ่มตัวอย่างทุกๆ 2 เดือนมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน a_w ปริมาณความชื้น เปรอร์เซ็นต์ข้าวต้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร ความเหลืองของข้าวสารและ 2AP

แหล่งความแปรปรวน	a_w	ความชื้น	เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น	ดัชนีความขาว	b^*	2AP
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	*	*	*	*	*	*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	*	*	*	*	*	*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	*	*	*	*	*	*
A*B	*	*	*	*	*	*
A*C	*	*	ns	*	*	*
B*C	*	*	ns	*	ns	*
A*B*C	*	*	ns	*	*	*

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา อุณหภูมิอบแห้งและอุณหภูมิเก็บรักษามีอิทธิพลต่อ a_w ความชื้น เปรอร์เซ็นต์ข้าวต้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร b^* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อ a_w ความชื้น เปรอร์เซ็นต์ข้าวต้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร b^* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อ a_w ความชื้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร b^* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อ a_w ความชื้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.1 a_w

การเปลี่ยนแปลง a_w ของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ พบว่า a_w ที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.718-0.747 (ตารางที่ 4.8)

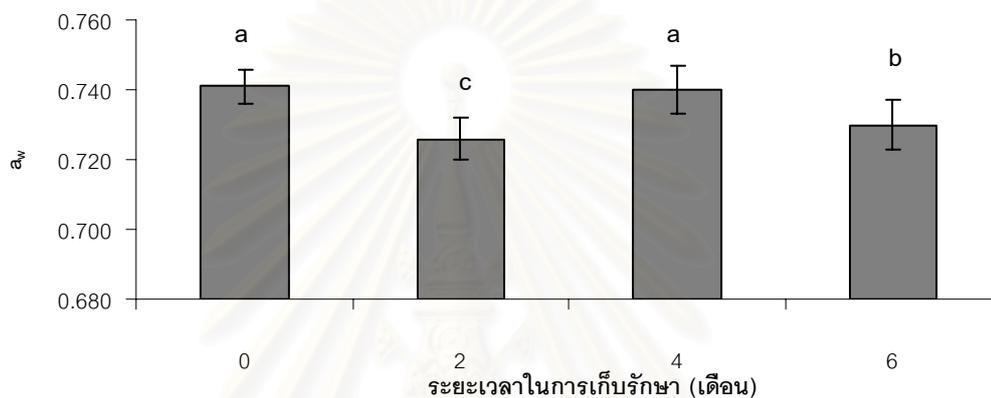
ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลง a_w ของตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ

การเก็บรักษา		a_w อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)					
อุณหภูมิเก็บรักษา ($^{\circ}\text{C}$)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	0.742 ± 0.004 ^{abcd}	0.746 ± 0.002 ^{ab}	0.740 ± 0.002 ^{bcdefg}	0.732 ± 0.004 ^{ijklmno}	0.744 ± 0.002 ^{abc}	0.745 ± 0.003 ^{abc}
	2	0.732 ± 0.003 ^{hijklmno}	0.731 ± 0.001 ^{ijklmno}	0.732 ± 0.003 ^{hijklmno}	0.723 ± 0.002 ^{pqrst}	0.728 ± 0.006 ^{mnopq}	0.722 ± 0.007 ^{qrst}
	4	0.740 ± 0.002 ^{bcdefg}	0.741 ± 0.003 ^{abcdef}	0.741 ± 0.002 ^{abcde}	0.736 ± 0.002 ^{defghijk}	0.738 ± 0.004 ^{cdefghi}	0.746 ± 0.002 ^{ab}
	6	0.734 ± 0.010 ^{fghijklm}	0.729 ± 0.007 ^{lmnop}	0.735 ± 0.005 ^{efghijkl}	0.732 ± 0.004 ^{ijklmno}	0.737 ± 0.002 ^{defghij}	0.734 ± 0.001 ^{ghijklm}
อุณหภูมิห้อง	0	0.742 ± 0.004 ^{abcd}	0.746 ± 0.002 ^{ab}	0.740 ± 0.002 ^{bcdefg}	0.732 ± 0.004 ^{ijklmno}	0.744 ± 0.002 ^{abc}	0.745 ± 0.003 ^{abc}
	2	0.729 ± 0.005 ^{klmnop}	0.727 ± 0.004 ^{nopq}	0.728 ± 0.001 ^{mnopq}	0.721 ± 0.006 ^{rst}	0.718 ± 0.003 st	0.720 ± 0.003 ^{rst}
	4	0.739 ± 0.004 ^{cdefgh}	0.737 ± 0.005 ^{defghij}	0.740 ± 0.001 ^{bcdefg}	0.734 ± 0.002 ^{ghijklm}	0.739 ± 0.003 ^{bcdefg}	0.747 ± 0.004 ^a
	6	0.730 ± 0.003 ^{klmno}	0.726 ± 0.010 ^{opqr}	0.726 ± 0.003 ^{opqr}	0.729 ± 0.003 ^{klmnop}	0.716 ± 0.005 ^t	0.733 ± 0.002 ^{hijklmn}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

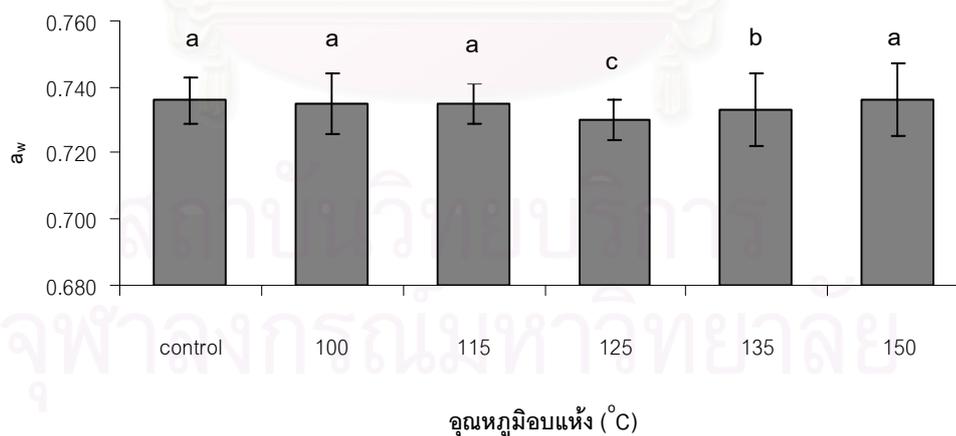
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ a_w พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 2 4 และ 6 เดือน มีค่า a_w เท่ากับ 0.741 0.726 0.740 และ 0.730 ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) โดยแปรผันตามสภาพบรรยากาศ และหากทำการเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่า a_w ที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.730-0.736 (รูปที่ 4.11) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่ 15°C (รูปที่ 4.12)



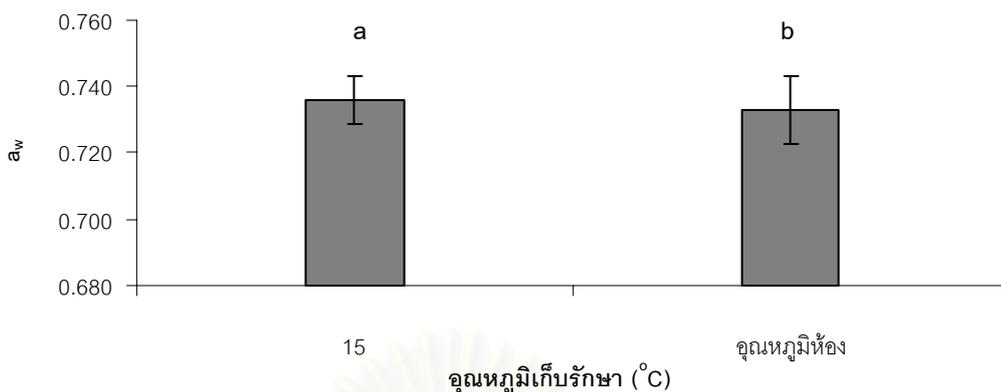
รูปที่ 4.10 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ a_w

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิตอบแห้งต่อ a_w

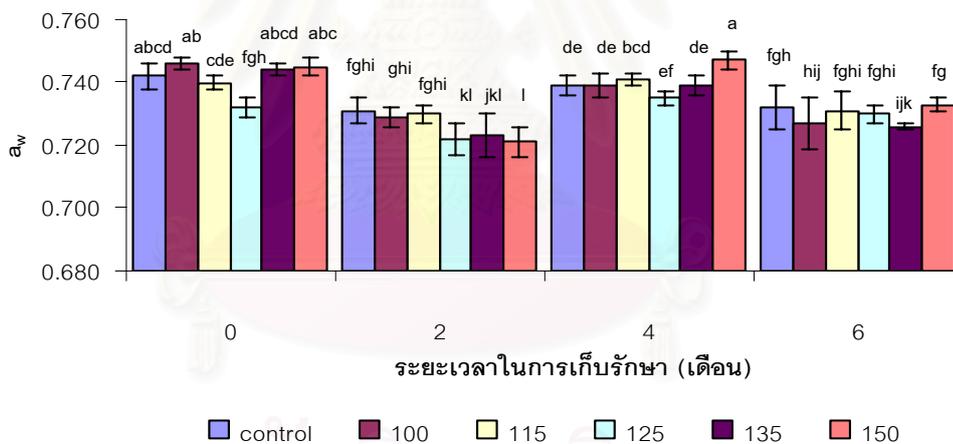
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

และพบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้ง (รูปที่ 4.13) ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ค่า a_w ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

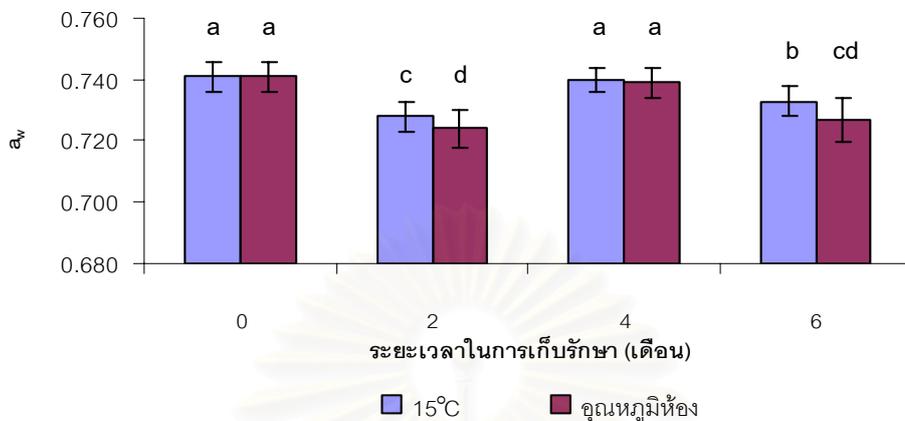


รูปที่ 4.13 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้งต่อ a_w

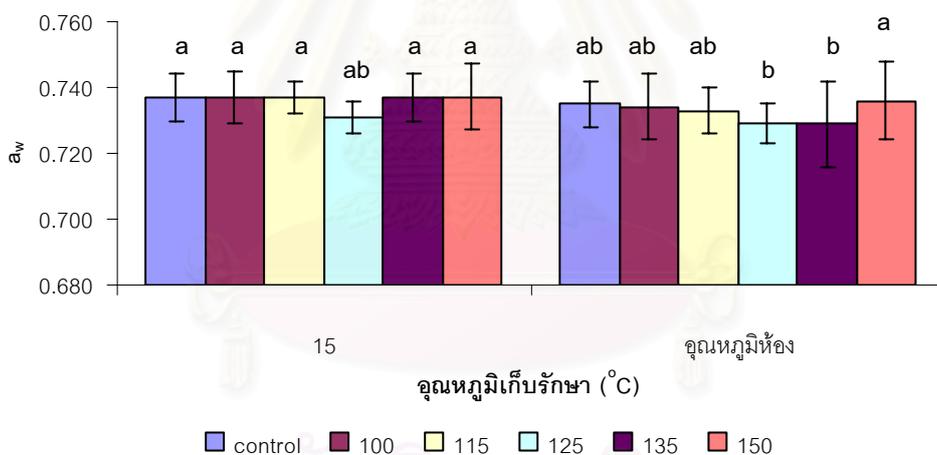
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

หากพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ดังกล่าวส่งผลให้ a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) นั่นคือตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาเวลา 0 เดือนมีค่า a_w เท่ากับ 0.741 เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่า a_w ลดลงเป็น 0.727 ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 15°C ที่มี a_w เท่ากับ 0.733 (รูปที่ 4.14) นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งทุกๆภาวะการอบแห้ง

เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างกัน ส่งผลให้ a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.14 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.15 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 ปริมาณความชื้น

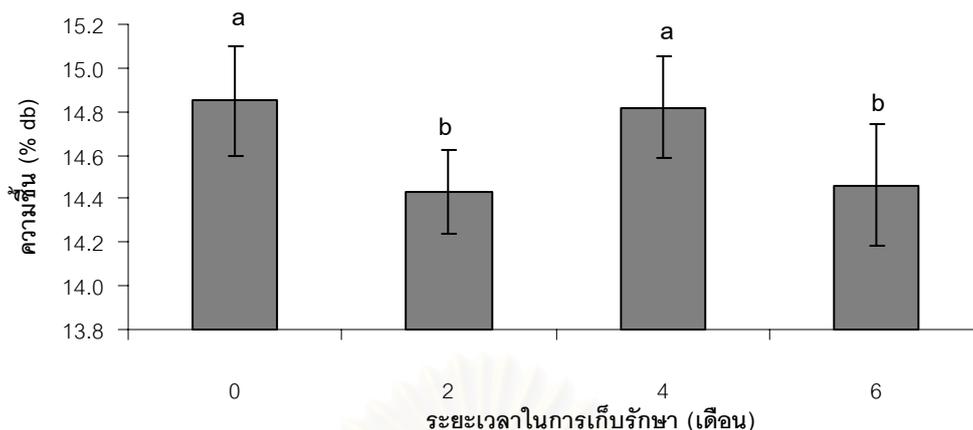
จากตารางที่ 4.10 พบว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 14.07-15.11% db และหากพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนต่อปริมาณความชื้น พบว่าความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นคือค่าความชื้นเริ่มต้นในเดือนที่ 0 อยู่ที่ 14.85% db เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือนค่าความชื้นลดลงอยู่ที่ 14.46% db (รูปที่ 4.16)

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ

การเก็บรักษา		ความชื้น (% db)					
		อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	14.86 ± 0.16 ^{bcd}	15.11 ± 0.04 ^a	14.73 ± 0.08 ^{defg}	14.41 ± 0.16 ^{kimn}	14.98 ± 0.15 ^{abc}	14.98 ± 0.04 ^{abc}
	2	14.67 ± 0.05 ^{efgh}	14.65 ± 0.04 ^{ghij}	14.66 ± 0.10 ^{efghi}	14.31 ± 0.04 ^{mno}	14.46 ± 0.08 ^{ijklmn}	14.32 ± 0.10 ^{lmnopq}
	4	14.80 ± 0.12 ^{cdef}	14.99 ± 0.10 ^{abc}	14.77 ± 0.13 ^{def}	14.51 ± 0.18 ^{hijklm}	14.90 ± 0.36 ^{abcd}	15.04 ± 0.14 ^{ab}
	6	14.63 ± 0.14 ^{ghij}	14.53 ± 0.07 ^{ghijkl}	14.61 ± 0.03 ^{ghijk}	14.29 ± 0.08 ^{nopq}	14.93 ± 0.07 ^{abcd}	14.90 ± 0.12 ^{abcd}
อุณหภูมิห้อง	0	14.86 ± 0.16 ^{bcd}	15.11 ± 0.04 ^a	14.73 ± 0.08 ^{defg}	14.41 ± 0.16 ^{kimn}	14.98 ± 0.15 ^{abc}	14.98 ± 0.04 ^{abc}
	2	14.62 ± 0.04 ^{ghijk}	14.39 ± 0.07 ^{lmno}	14.50 ± 0.07 ^{hijklm}	14.28 ± 0.11 ^{nopq}	14.15 ± 0.05 ^{qr}	14.19 ± 0.04 ^{opqr}
	4	14.74 ± 0.09 ^{defg}	14.90 ± 0.05 ^{abcd}	14.73 ± 0.22 ^{defg}	14.51 ± 0.17 ^{hijklm}	14.92 ± 0.16 ^{abcd}	15.01 ± 0.11 ^{abc}
	6	14.37 ± 0.05 ^{lmnop}	14.20 ± 0.09 ^{opqr}	14.38 ± 0.26 ^{lmno}	14.18 ± 0.13 ^{pqr}	14.07 ± 0.08 ^r	14.45 ± 0.15 ^{klmn}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

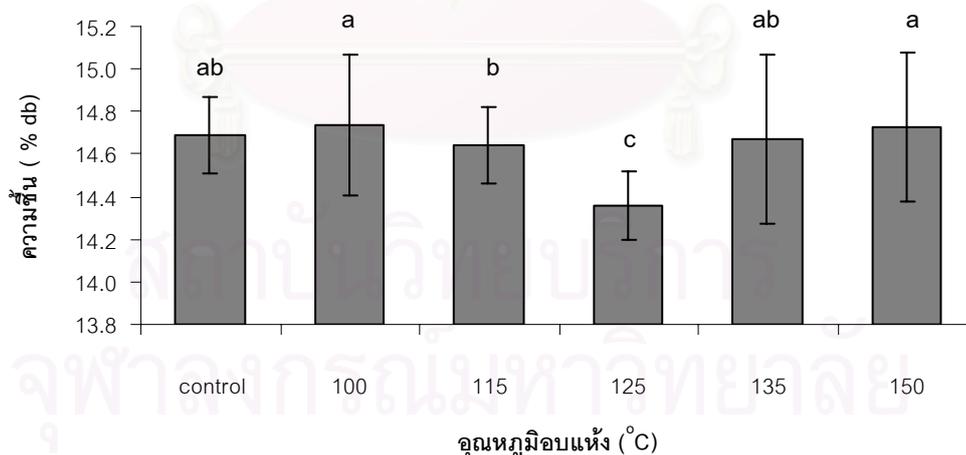
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.16 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

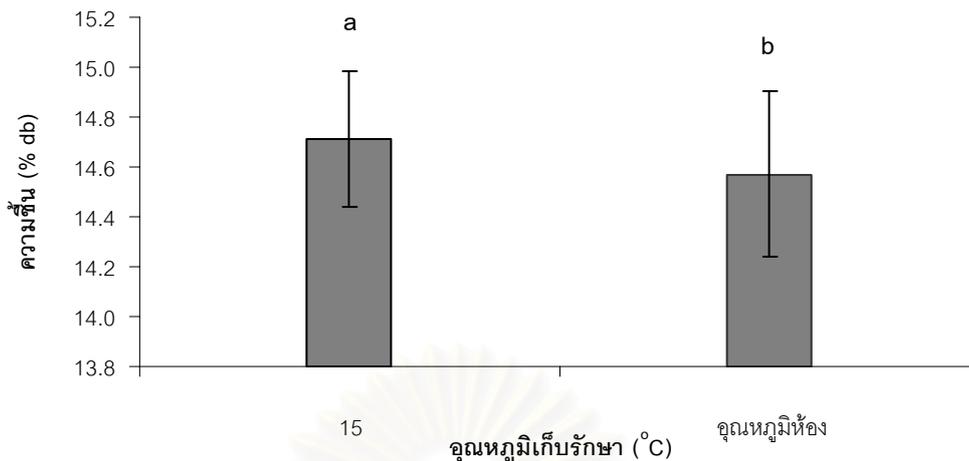
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณความชื้น พบว่าปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 14.36-14.74% db (รูปที่ 4.17) นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิในการเก็บรักษายังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือก โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีค่าความชื้นเท่ากับ 14.57% db ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้ที่ 15°C ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศและการซึมผ่านของไอน้ำดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (เพลงพิณ ศิวาพรวิเศษ, 2541) (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณความชื้น

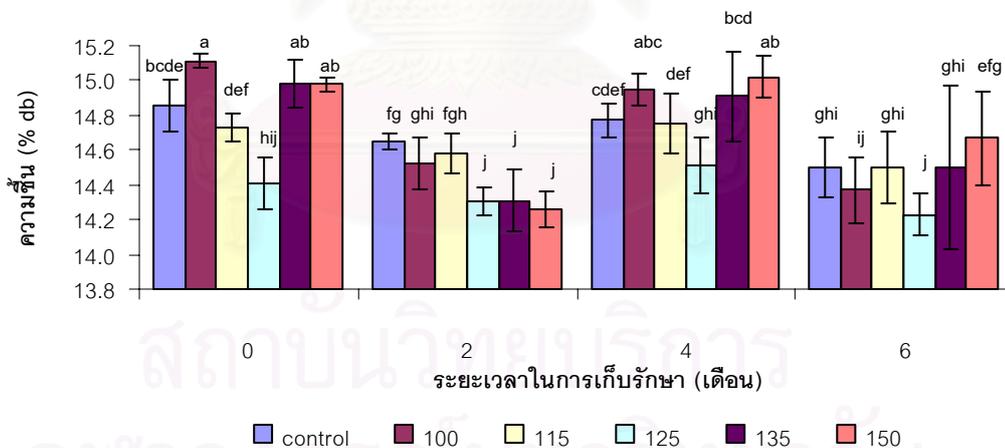
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.18 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อนำตัวอย่างข้าวเปลือกเหล่านั้นมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณความชื้นในตัวอย่างลดลง (รูปที่ 4.19)

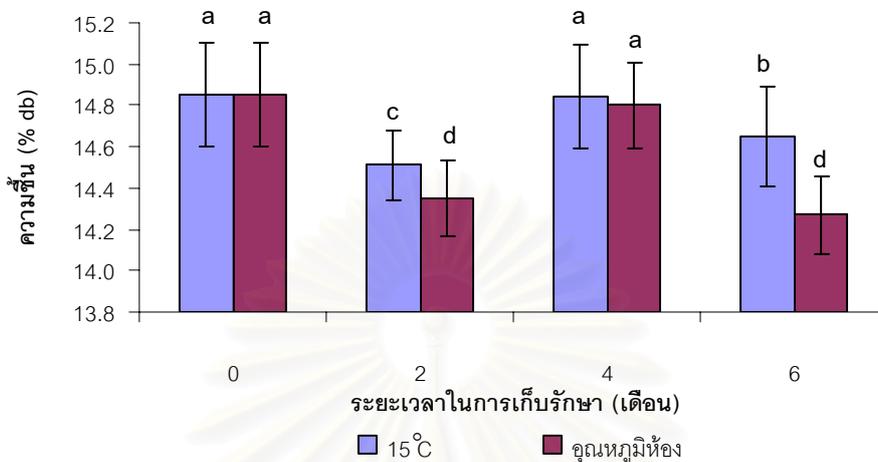


รูปที่ 4.19 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษามีค่าความชื้น 14.85% db หากทำการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 4 และ 6 เดือนให้ค่าความชื้น 14.35 14.80 และ 14.27% db ตามลำดับและหากเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่ 15°C ให้ค่าความชื้น 14.51

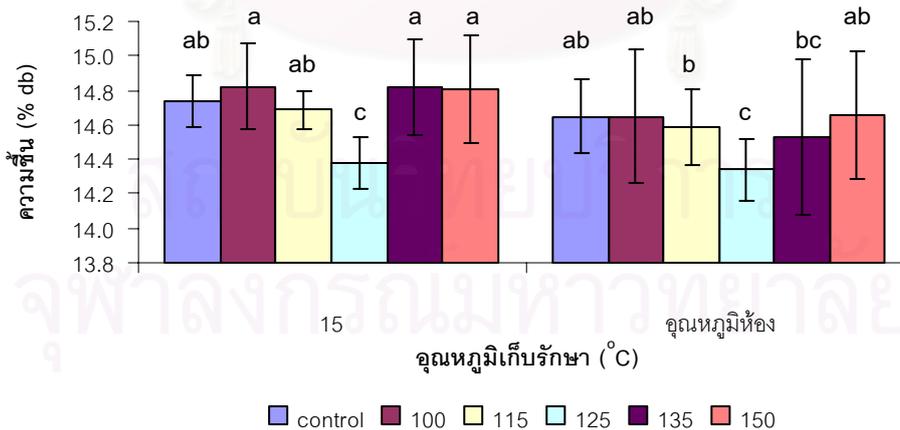
14.84 และ 14.65% db ตามลำดับเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องจะมีความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่ 15°C (รูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.20 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้นเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งทุกภาวะเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างกัน ส่งผลให้ความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.21 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ยกตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 6 เดือน มีปริมาณความชื้น 14.65% db ในขณะที่เก็บรักษาที่ 15°C ให้ค่าปริมาณความชื้นสูงกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 14.82% db

การที่ความชื้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆสามารถอธิบายได้อย่างคร่าวๆด้วย Sorption Isotherm ซึ่ง Da-Wen Sun (1999) ได้รวบรวมเกี่ยวกับสมการ Sorption Isotherm ไว้มากมาย เช่น Modified-Chung-Phost, Modified-Henderson, Strohmman Yoerger เป็นต้น โดยถือว่า สมการ Chung Phost (MCPE) เป็นสมการที่นิยม โดย Isotherm ที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับ Isotherm ที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นจึงถือว่าเป็นสมการที่สามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำ ซึ่งผู้ทดลองได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 5-40°C ในข้าวเปลือกชนิด Long-grain โดยถือว่าช่วงอุณหภูมิที่ทดลองดังกล่าวครอบคลุมอุณหภูมิที่งานวิจัยชิ้นนี้ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

The Modified-Chung-Phost Equation (MCPE) อธิบายไว้ว่า

$$emc (\%db) = \frac{-1}{C3} \ln \left[\frac{-T+C2}{C1} \ln a_w \right]$$

โดยที่ค่า C1, C2 และ C3 เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

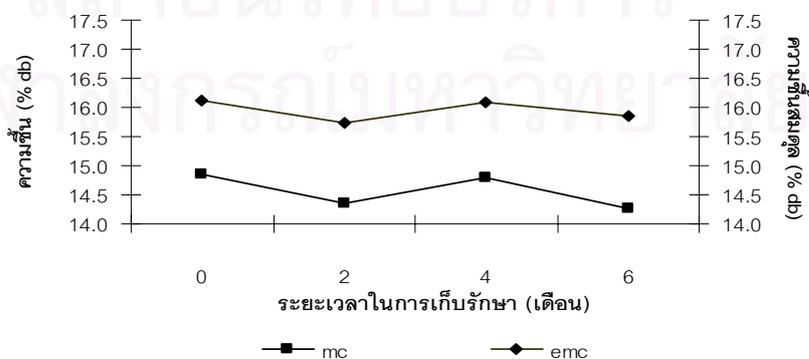
$$C1 = 6.8195 \times 10^2$$

$$C2 = 6.0846 \times 10^1$$

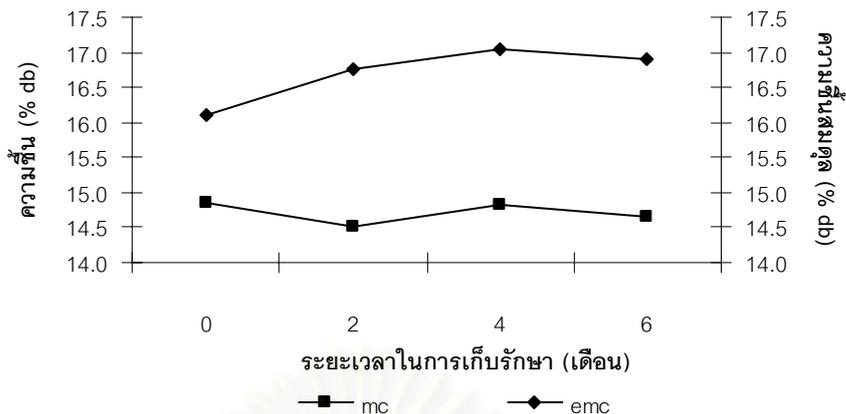
$$C3 = 2.0012 \times 10^{-1}$$

$$T = \text{อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส}$$

ผลการทดลองที่ได้ พบว่าความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 15°C มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสมดุล ทั้งนี้เนื่องมาจากตัวอย่างมีการปรับตัวเข้าสู่สมดุล (รูปที่ 4.22-4.23)

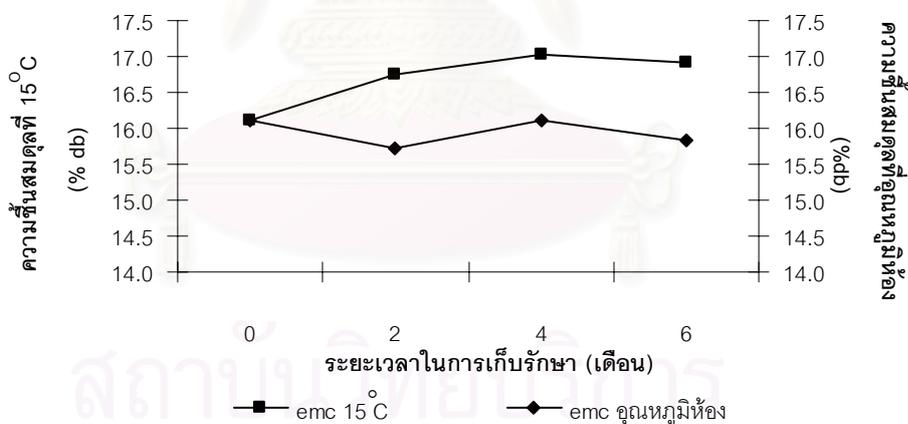


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

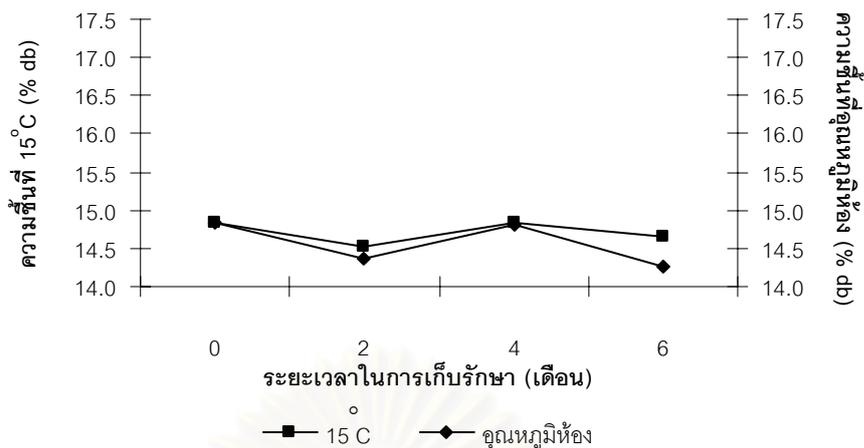


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่ 15°C

และหากเปรียบเทียบระหว่างค่าความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 15°C (รูปที่ 4.24) พบว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 15°C มีค่าความชื้นสมดุลสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 15°C จึงควรมีค่าความชื้นสูงกว่าที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4.25)



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบระหว่างความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 15°C



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบระหว่างความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 15°C

4.3.3 เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

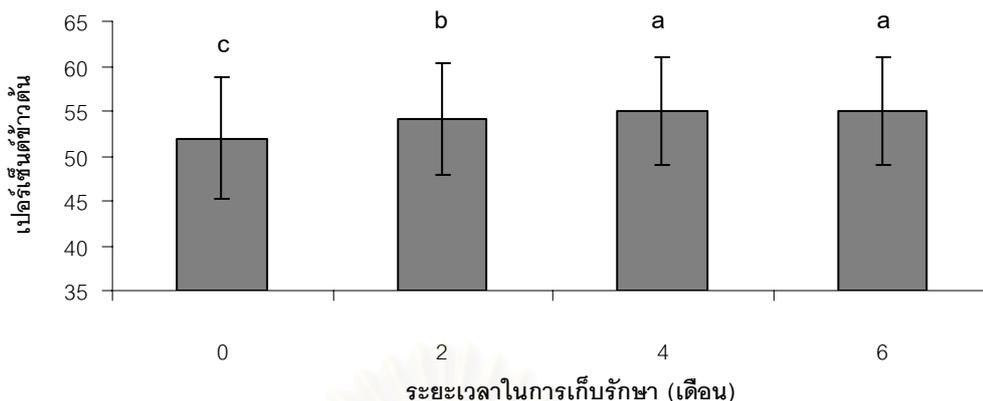
จากตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ข้าวตันของตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างกัน ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ พบว่ามีค่า 41.23-64.09% และเมื่อพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเริ่มต้นของการเก็บรักษา (เดือน 0) มีเปอร์เซ็นต์ข้าวตันเท่ากับ 51.97% เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือนให้ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวตันสูงถึง 55.02% (รูปที่ 4.26) ทั้งนี้เนื่องจากว่าในระหว่างการเก็บรักษาเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของโปรตีน สตาร์ช ไขมัน และเซลล์วอลล์ โดยส่วนของโปรตีนจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งจึงมีการพองตัวต่ำ ส่วนของสตาร์ช เมื่อความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาลดลงทำให้เพิ่มแรงยึดเกาะกันระหว่างเม็ดแป้ง เม็ดแป้งมีการพองตัวต่ำส่งผลต่อเนื้อสัมผัส ส่วนของไขมันเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสได้ กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ไปรวมตัวกับ Amylose ได้ Amylose Lipid Complex ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสเช่นกัน สำหรับส่วนของเซลล์วอลล์ พบว่ามีการปลดปล่อยกรดฟีนอลิกทำให้เซลล์วอลล์ของข้าวแข็งขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงสารทั้งหมดดังกล่าวส่งผลให้ข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่งขึ้น เมื่อนำไปสีข้าวเก่าจึงให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่สูง (Zhou และคณะ, 2002)

ตารางที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

การเก็บรักษา		เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	62.44 ± 0.85	41.23 ± 1.27	47.97 ± 0.27	50.62 ± 1.03	54.91 ± 0.32	54.63 ± 2.02
	2	63.11 ± 0.54	42.87 ± 0.76	51.94 ± 0.52	52.89 ± 1.36	55.74 ± 0.88	55.94 ± 1.44
	4	63.46 ± 0.66	44.52 ± 1.61	51.87 ± 0.79	54.62 ± 1.95	56.34 ± 0.63	56.86 ± 0.38
	6	63.48 ± 0.45	44.13 ± 0.87	52.08 ± 1.56	54.66 ± 1.25	56.42 ± 0.48	57.02 ± 0.64
อุณหภูมิห้อง	0	62.44 ± 0.85	41.23 ± 1.27	47.97 ± 0.27	50.62 ± 1.03	54.91 ± 0.32	54.63 ± 2.02
	2	63.82 ± 0.49	43.34 ± 1.44	52.89 ± 0.98	54.41 ± 1.86	56.32 ± 0.59	56.24 ± 0.59
	4	64.01 ± 0.44	44.41 ± 1.06	53.76 ± 1.09	55.53 ± 1.27	57.21 ± 0.74	57.75 ± 1.14
	6	64.09 ± 0.10	43.83 ± 0.59	53.86 ± 1.53	55.49 ± 0.88	57.28 ± 1.06	57.95 ± 0.41

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

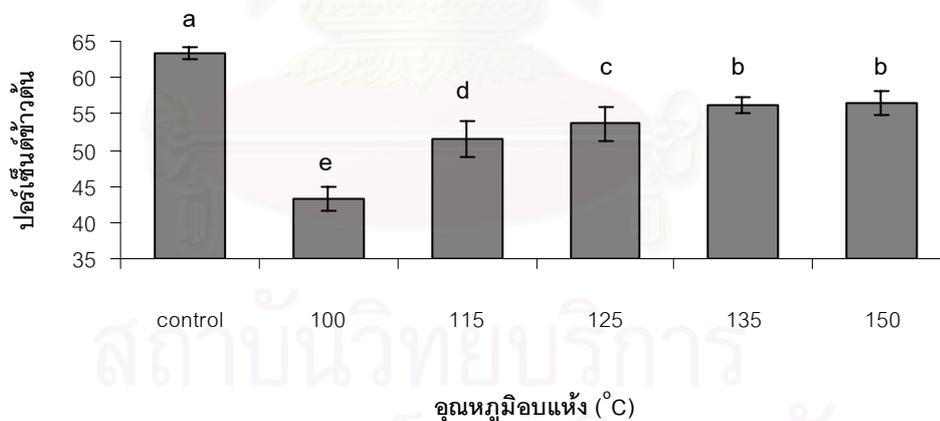
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.26 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัว

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัว พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ต่างกัน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัวที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัวเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ซึ่งตัวอย่างอ้างอิง ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C ให้เปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัวเท่ากับ 63.36 43.19 51.54 53.60 56.14 และ 56.38 ตามลำดับ (รูปที่ 4.27)

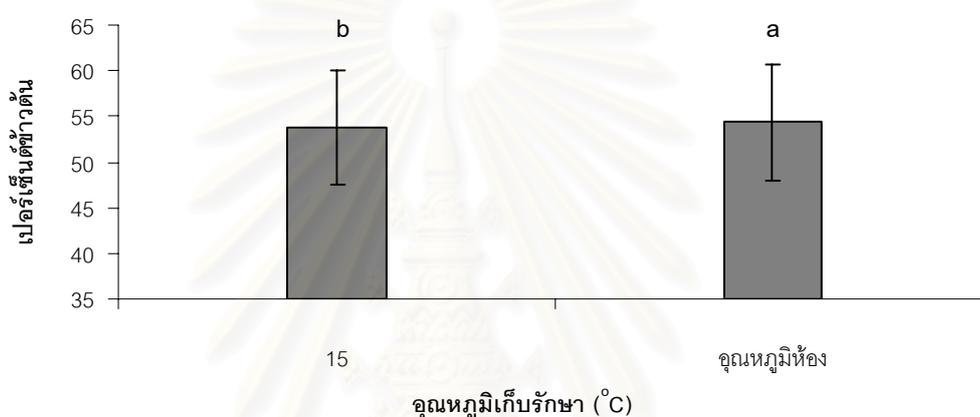


รูปที่ 4.27 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัว

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกต่อปริมาณเปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัว พบว่าการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างกัน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ 15°C ให้เปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัว 53.74 ส่วนข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เปอร์เซ็นต์ไข่ฟักตัวเท่ากับ

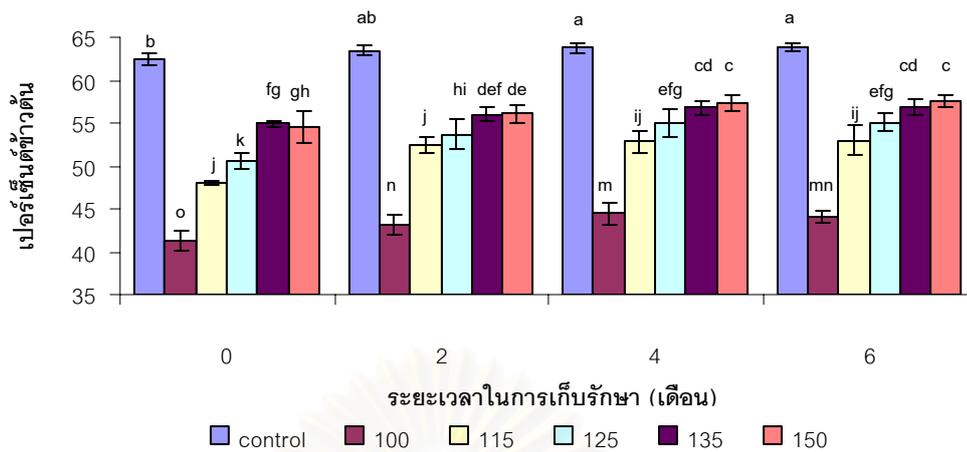
54.34 (รูปที่ 4.28) เห็นได้ว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิห้องจะให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันมากกว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิ 15°C ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พันธะภายในของเมล็ดข้าวจับตัวกันแน่นกว่า จึงมีผลทำให้ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงทนต่อแรงกระแทกในการขัดสีได้ดีกว่า สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chrastil (1990a) ที่ตรวจวัดการแตกหักของข้าวเปลือกพันธุ์ N.American ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 10 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 25 และ 37°C พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่ 37°C มีการแตกหักของเมล็ดข้าวน้อยที่สุด



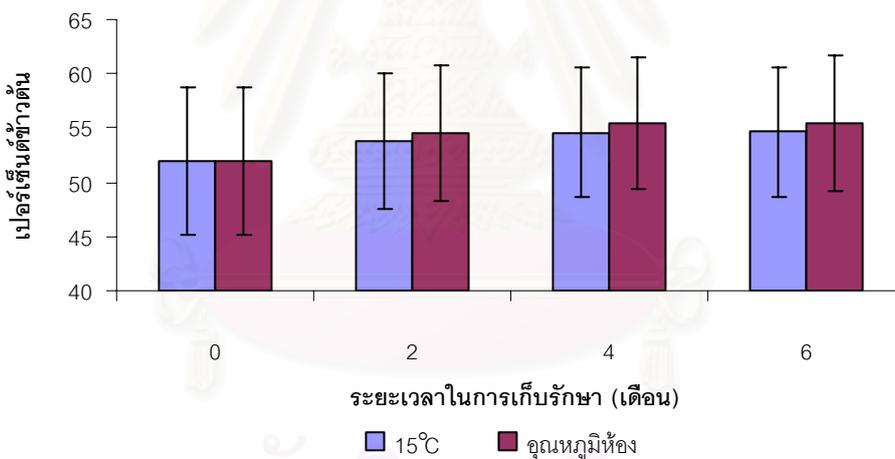
รูปที่ 4.28 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

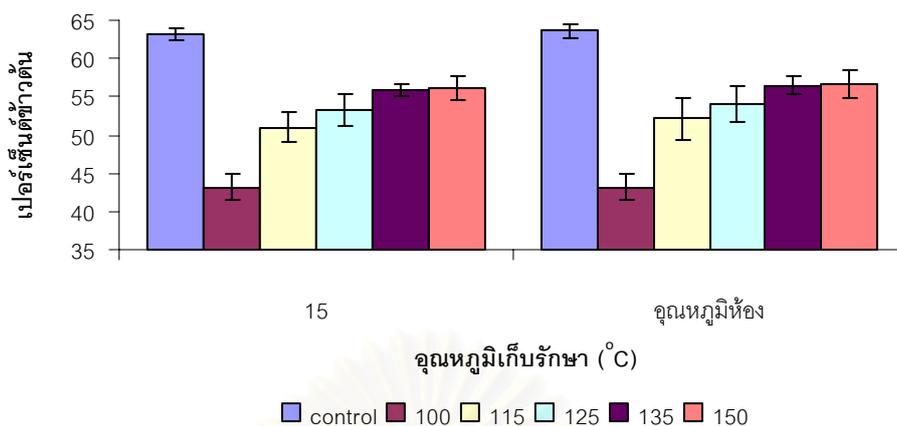
นอกจากนี้แล้วยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย โดยอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้ง พบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.29) นั่นคือตัวอย่างข้าวเปลือกเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวตันเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยภายหลังการเก็บรักษาในเดือนที่ 3-4 สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษา และระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตันโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้นานขึ้นไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิใดๆก็ตามหากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันเพิ่มขึ้นมากกว่าเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C ซึ่งทางสถิติจะถือว่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.30-4.31)



รูปที่ 4.29 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัง
 a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.30 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัง
 กราฟแท่งที่ไม่มีอักษรกำกับ ถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.31 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น
กราฟแท่งที่ไม่มีอักษรกำกับ ถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.3.4 ค่าสี

ค่าดัชนีความขาวของข้าวสาร (WI) พบว่าอยู่ในช่วง 62.42-67.32 (ตารางที่ 4.11) และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ดัชนีความขาวของข้าวสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาที่เวลา 0 2 4 และ 6 เดือนให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารอยู่ที่ 66.05 65.40 64.61 และ 64.21 ตามลำดับ (รูปที่ 4.32) สำหรับ b^* ซึ่งเป็นค่าความเหลืองของข้าวสาร พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ ตัวอย่างที่ได้ให้ค่า b^* อยู่ในช่วง 8.57-11.48 (ตารางที่ 4.12) และเมื่อพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ b^* พบว่าข้าวที่เก็บนานขึ้น ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) (รูปที่ 4.33) ผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าดัชนีความขาวของข้าวสารมีความสัมพันธ์กับความเหลืองของข้าวสาร การที่ตัวอย่างมีการสูญเสียความขาวไปแสดงว่าตัวอย่างนั้นมีความเหลืองเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งการที่เก็บรักษาข้าวนานขึ้นดัชนีความขาวของข้าวสารลดลง ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Barber (1972) ที่เก็บข้าวที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลาทั้งสิ้น 5 สัปดาห์ โดยก่อนการเก็บรักษามีอัตราส่วน albumins : globulins : prolamins : glutelins เป็น 15 : 10 : 6 : 69 หลังการเก็บรักษาอัตราส่วนของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปเป็น 10 : 11 : 3 : 76 นอกจากนี้แล้วการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้กรดอะมิโนอิสระลดลงซึ่งจะสัมพันธ์กับการเกิด Maillard-type nonenzymatic browning และการสูญเสียความขาวที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

การเก็บรักษา		ดัชนีความขาว อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	65.48 ± 0.43 ^{efgh}	67.32 ± 0.50 ^a	66.70 ± 0.24 ^b	66.07 ± 0.18 ^{cd}	65.50 ± 0.09 ^{efg}	65.21 ± 0.21 ^{ghi}
	2	64.88 ± 0.40 ^{jk}	66.79 ± 0.10 ^b	66.47 ± 0.22 ^{bc}	65.78 ± 0.05 ^{def}	65.13 ± 0.13 ^{ghij}	65.11 ± 0.25 ^{ghij}
	4	64.48 ± 0.44 ^{kimno}	65.11 ± 0.52 ^{ghij}	66.73 ± 0.28 ^b	64.39 ± 0.22 ^{lmnop}	64.07 ± 0.15 ^{opqr}	63.95 ± 0.19 ^{pqr}
	6	64.17 ± 0.20 ^{opq}	64.86 ± 0.21 ^{ijkl}	64.75 ± 0.08 ^{ijklm}	64.40 ± 0.18 ^{lmnop}	64.35 ± 0.29 ^{mnop}	63.77 ± 0.14 ^{qrs}
อุณหภูมิห้อง	0	65.48 ± 0.43 ^{efgh}	67.32 ± 0.50 ^a	66.70 ± 0.24 ^b	66.07 ± 0.18 ^{cd}	65.50 ± 0.09 ^{efg}	65.21 ± 0.21 ^{ghi}
	2	64.27 ± 0.40 ^{nop}	66.08 ± 0.10 ^{cd}	65.92 ± 0.16 ^{de}	65.41 ± 0.09 ^{fgh}	64.50 ± 0.25 ^{kimno}	64.44 ± 0.30 ^{kimno}
	4	63.70 ± 0.22 ^{rs}	65.14 ± 0.22 ^{ghij}	65.01 ± 0.28 ^{hij}	64.70 ± 0.19 ^{iklmn}	63.95 ± 0.19 ^{pqr}	64.13 ± 0.12 ^{opqr}
	6	63.42 ± 0.15 ^s	65.49 ± 0.62 ^{efg}	64.32 ± 0.10 ^{mnop}	64.46 ± 0.38 ^{kimno}	64.15 ± 0.18 ^{opqr}	62.42 ± 0.66 ^t

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

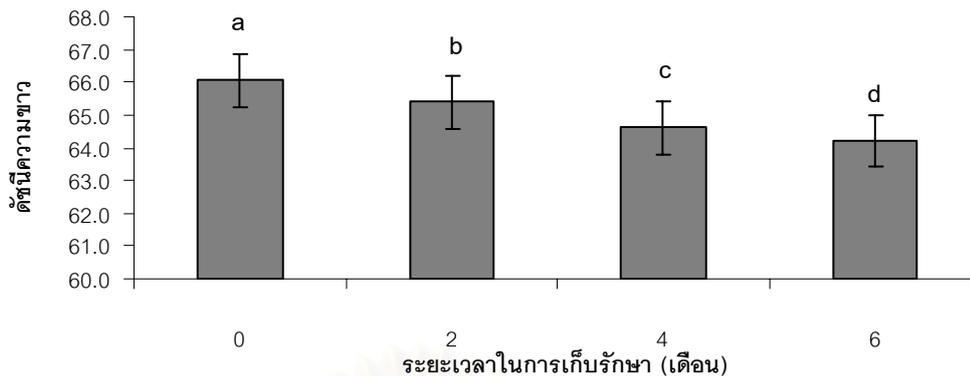
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

การเก็บรักษา		b*					
		อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	9.01 ± 0.33 ^{stu}	8.57 ± 0.04 ^v	8.91 ± 0.16 ^{luv}	9.25 ± 0.02 ^{rst}	9.80 ± 0.04 ^{nop}	9.96 ± 0.04 ^{klmnop}
	2	10.11 ± 0.27 ^{ghijklmn}	8.78 ± 0.34 ^{uv}	9.26 ± 0.20 ^{rst}	9.61 ± 0.12 ^{pqr}	10.05 ± 0.08 ^{ijklmno}	10.10 ± 0.14 ^{hijklmn}
	4	10.08 ± 0.24 ^{ijklmno}	9.91 ± 0.54 ^{mnp}	9.22 ± 0.03 ^{rst}	10.50 ± 0.18 ^{cdefgh}	10.38 ± 0.15 ^{defghijkl}	10.53 ± 0.15 ^{bcdef}
	6	10.16 ± 0.21 ^{fghijklmn}	10.01 ± 0.38 ^{ijklmnop}	10.29 ± 0.07 ^{efghijklm}	10.50 ± 0.06 ^{cdefghi}	10.52 ± 0.16 ^{cdefg}	10.70 ± 0.20 ^{bcde}
อุณหภูมิห้อง	0	9.01 ± 0.33 ^{stu}	8.57 ± 0.04 ^v	8.91 ± 0.16 ^{luv}	9.25 ± 0.02 ^{rst}	9.80 ± 0.04 ^{nop}	9.96 ± 0.04 ^{klmnop}
	2	10.35 ± 0.20 ^{efghijkl}	9.40 ± 0.07 ^{qrs}	9.66 ± 0.44 ^{pq}	9.96 ± 0.14 ^{lmnop}	10.41 ± 0.03 ^{defghij}	10.48 ± 0.15 ^{defgh}
	4	10.08 ± 0.24 ^{ijklmno}	10.10 ± 0.12 ^{hijklmn}	10.39 ± 0.18 ^{defghijk}	10.79 ± 0.34 ^{bod}	10.68 ± 0.20 ^{bcde}	10.61 ± 0.14 ^{cdef}
	6	10.16 ± 0.21 ^{fghijklmn}	10.02 ± 0.39 ^{ijklmno}	10.94 ± 0.16 ^b	10.67 ± 0.29 ^{bcde}	10.84 ± 0.88 ^{bc}	11.48 ± 0.26 ^a

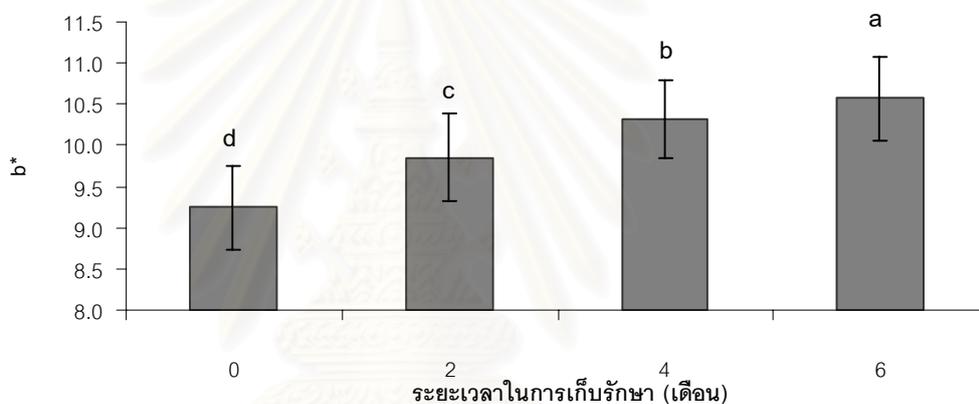
ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)



รูปที่ 4.32 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



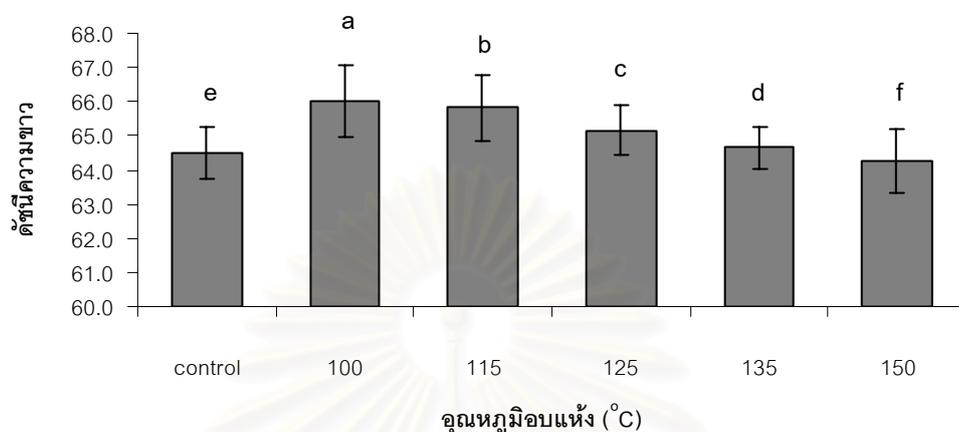
รูปที่ 4.33 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Chrastil (1990b) รายงานว่าปริมาณโปรตีนในส่วน endosperm ของข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่สมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในโปรตีน oryzenin ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดใข้าว เกิดการออกซิไดซ์จาก cystein ไปเป็น cystine ซึ่งมีพันธะที่แข็งแรงขึ้น งามซึ้น คงเสรี (2545) รายงานว่าโปรตีนของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาในลักษณะดังกล่าว ทำให้ข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่งขึ้นเมื่อนำไปขัดสีจะมีระดับการสีต่ำลง ส่งผลให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้นได้ เพลงพิณ ศิวาพรักษ์ (2541) ทดลองเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C เป็นเวลา 7 เดือนในถุงพลาสติก polypropylene หนา 20 μm พบว่าเมื่อนำข้าวเปลือกไปขัดสีและวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีของส่วน endosperm พบว่าค่า b^* ที่แสดงถึงความเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น

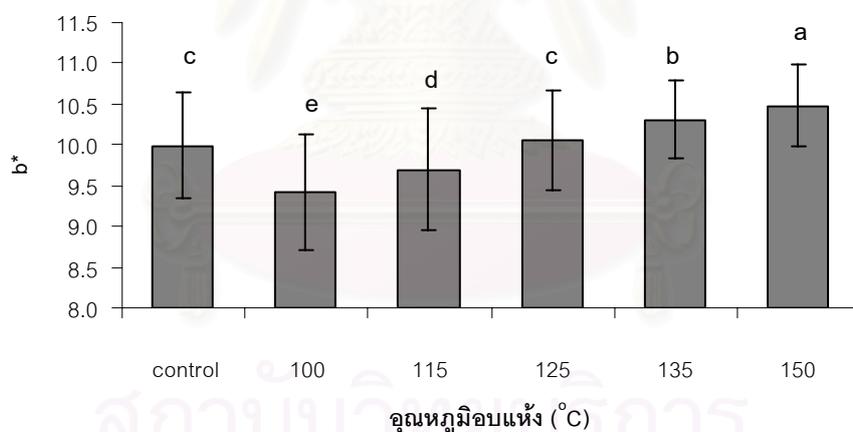
และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสาร พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเพิ่มขึ้น ความเหลือง

ของข้าวสารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน (รูปที่ 4.34-4.35) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะไปเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา Maillard ให้เพิ่มขึ้น ข้าวที่ได้จึงมีความขาวลดลงแสดงว่าข้าวมีความเหลืองเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.34 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

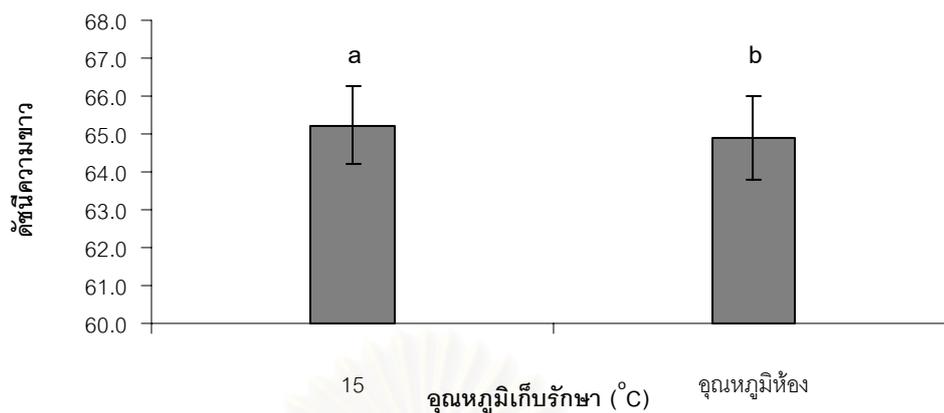
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.35 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อความเหลืองของข้าวสาร

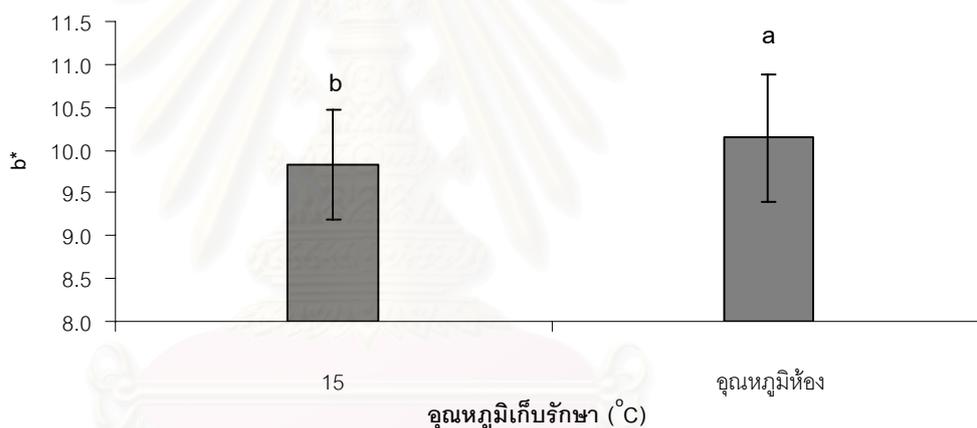
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสาร พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน ดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสาร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 64.91 b* เท่ากับ 10.14 ในขณะที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่ 15°C ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 65.23 b* เท่ากับ 9.84 (รูปที่ 4.36-4.37)



รูปที่ 4.36 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อดัชนีความงอกของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

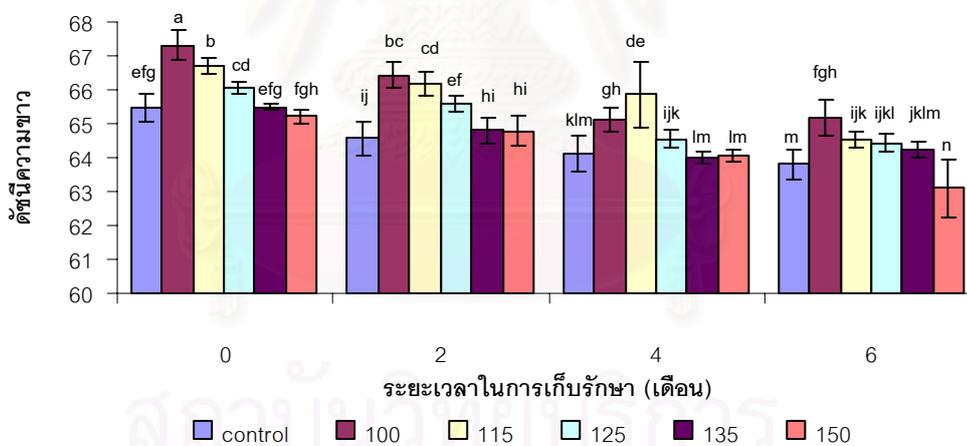


รูปที่ 4.37 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อความเสียหายของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

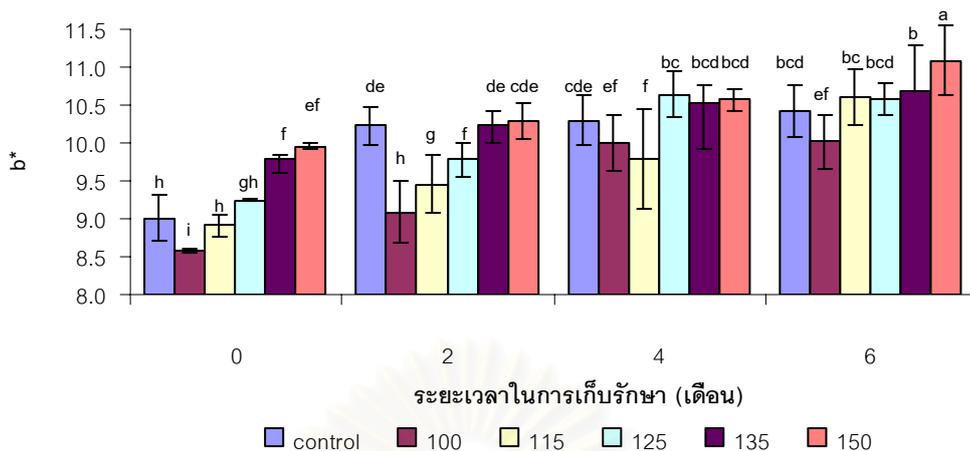
ซึ่งการที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าดัชนีความงอกของข้าวสารต่ำกว่าและความเสียหายของข้าวสารมากกว่าที่ 15°C เนื่องจากว่าอุณหภูมิการเก็บที่สูง ชักนำให้ข้าวมีสีเหลืองที่มากกว่าและเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chrastil (1990a) ซึ่งทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37°C เป็นเวลา 10 เดือนจากการตรวจสอบค่า b^* ของข้าวกล้องพบว่า ค่า b ของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น โดยข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C สีเข้มสุดตรงลงมาเป็นข้าวที่เก็บรักษาที่ 25 และ 4°C ตามลำดับ ต่อมา Bason และคณะ (1990) พบว่า ส่วนเปลือกของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีสีเหลืองเข้มกว่าส่วนเปลือกของข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ อุณหภูมิอบแห้ง (รูปที่ 4.38-4.39) และระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษา (รูปที่ 4.40-4.41) พบว่าให้ค่าดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการการอบแห้งที่ อุณหภูมิต่างกันในที่นี้คือ อุณหภูมิ 100 และ 150°C ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0 2 4 และ 6 เดือน พบว่าการอบแห้งที่ 100°C ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเป็น 67.32 66.43 65.12 และ 67.17 b* เท่ากับ 8.57 9.09 10.00 และ 10.02 ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารอยู่ที่ 65.21 64.77 64.04 และ 63.10 b* เท่ากับ 9.96 10.29 10.57 และ 11.09 ตามลำดับ เห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (150°C) ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารต่ำกว่าและ b* มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (100°C) ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ย่อมแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงข้าวสารที่ได้จะมีความขาวต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ นั่นคือข้าวสารมีความเหลืองมากกว่า



รูปที่ 4.38 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

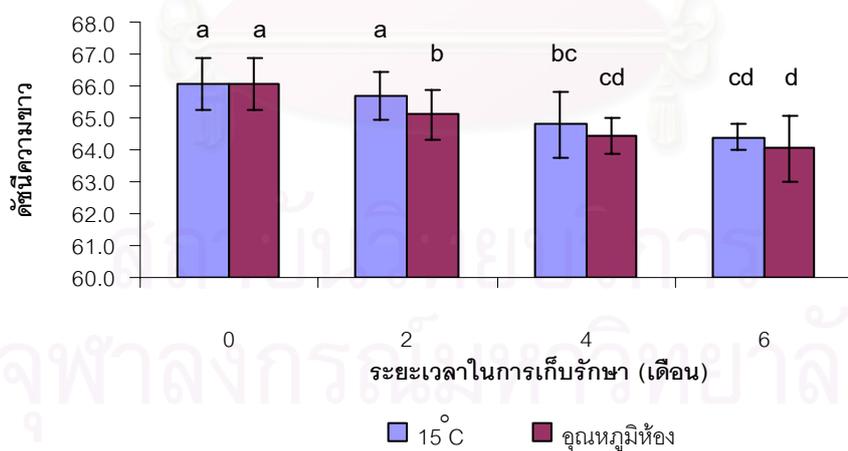
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.39 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อความเหลืองของข้าวสาร

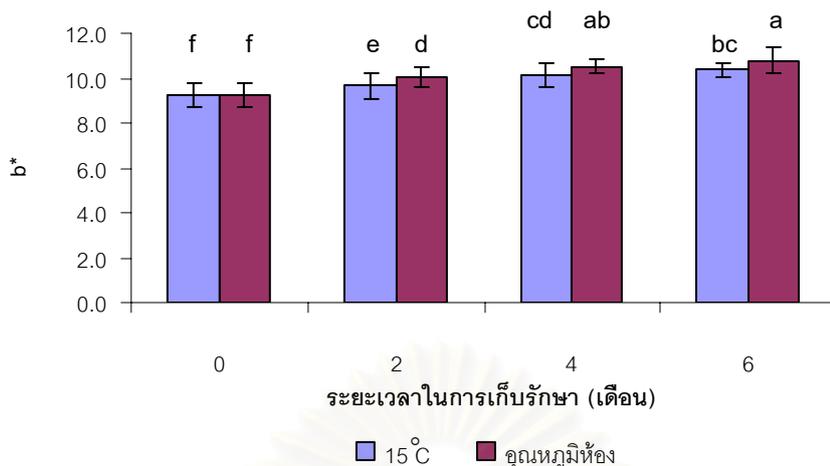
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และหากนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆกันเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิเก็บรักษาเดียวกัน หากเก็บรักษาไว้นานขึ้นดัชนีความขาวของข้าวสารลดลง b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และถ้าทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (15°C) ช่วยรักษาความขาวของข้าวสารและชะลอการเกิดสีเหลืองในข้าวสารได้ดีกว่า



รูปที่ 4.40 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

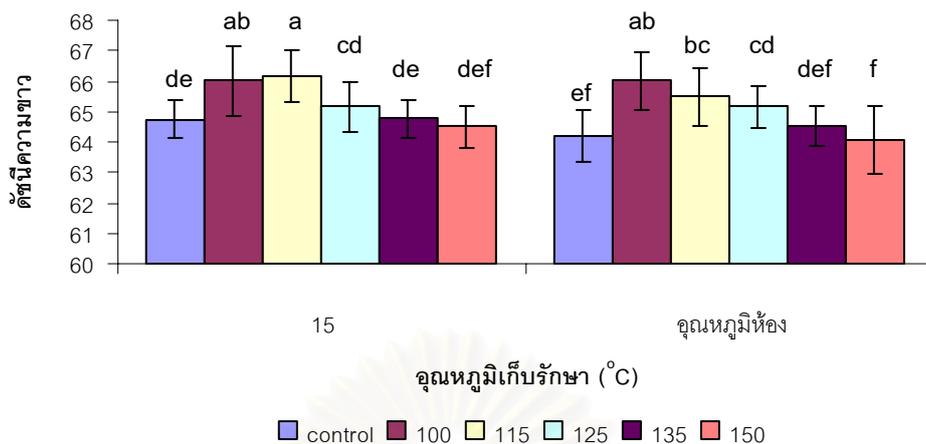
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.41 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเสียหายของข้าวสาร

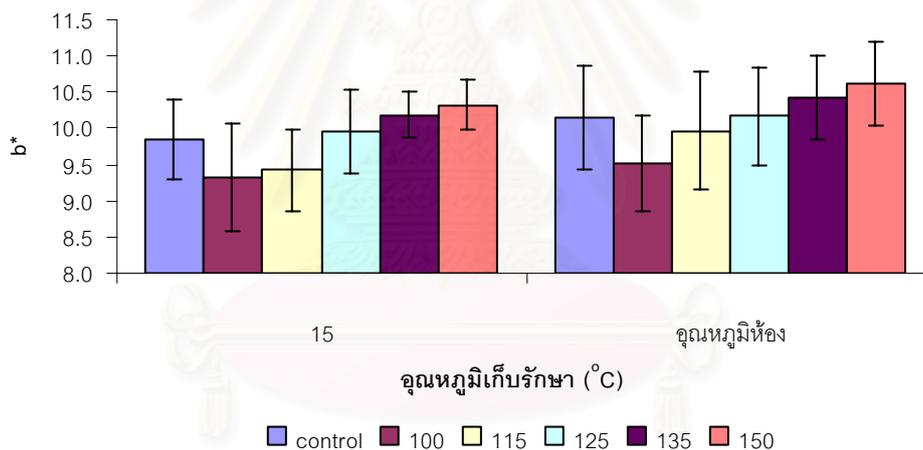
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 2 นี้ส่งผลให้ดัชนีความขาวของข้าวสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความขาวของข้าวสาร พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารที่สูงในตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และหากนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันมาแปรค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง ยกตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 115°C เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 65.49 และถ้าเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกนี้ไว้ที่อุณหภูมิ 15°C จะให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารมากกว่าซึ่งมีค่าเท่ากับ 66.16 (รูปที่ 4.42) และเมื่อพิจารณาที่ b^* พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำให้ค่า b^* ที่มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง และตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า b^* มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่ 15°C เล็กน้อยเท่านั้นซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.43)



รูปที่ 4.42 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความยาวของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.43 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

กราฟแท่งที่ไม่มีอักษรกำกับ ถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3.5 ปริมาณ 2AP

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP พบว่าปริมาณ 2AP ที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.0947-1.4547 ppm

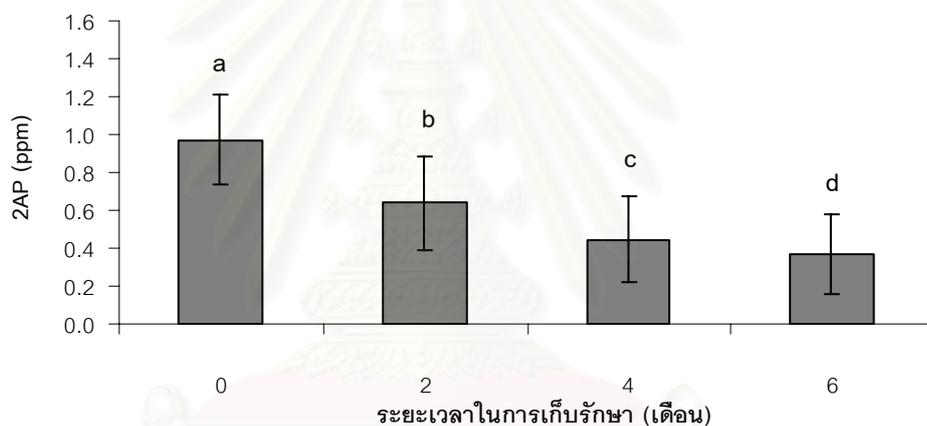
ตารางที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

การเก็บรักษา		2AP (ppm)					
		อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	1.4547 ± 0.0611 ^a	0.9964 ± 0.0314 ^c	0.9179 ± 0.0108 ^d	0.8954 ± 0.0289 ^d	0.7738 ± 0.0303 ^f	0.7912 ± 0.0432 ^{ef}
	2	1.1513 ± 0.0770 ^b	0.8316 ± 0.0382 ^e	0.7879 ± 0.0295 ^{ef}	0.7855 ± 0.0058 ^{ef}	0.7176 ± 0.0212 ^g	0.6573 ± 0.0186 ^h
	4	0.9852 ± 0.0670 ^c	0.6875 ± 0.0512 ^{gh}	0.5767 ± 0.0120 ⁱ	0.4961 ± 0.0469 ^k	0.4795 ± 0.0144 ^{kl}	0.4031 ± 0.0234 ^m
	6	0.8335 ± 0.0453 ^{ef}	0.5852 ± 0.0089 ⁱ	0.5315 ± 0.0070 ^{ij}	0.4805 ± 0.0131 ^{kl}	0.4244 ± 0.0184 ^{lm}	0.3511 ± 0.0645 ^{nc}
อุณหภูมิห้อง	0	1.4547 ± 0.0611 ^a	0.9964 ± 0.0314 ^c	0.9179 ± 0.0108 ^d	0.8954 ± 0.0289 ^d	0.7738 ± 0.0303 ^f	0.7912 ± 0.0432 ^{ef}
	2	0.7936 ± 0.1253 ^{ef}	0.4665 ± 0.0198 ^{kl}	0.4258 ± 0.0071 ^{lm}	0.3886 ± 0.0072 ^{mno}	0.3450 ± 0.0025 ^{op}	0.3334 ± 0.0227 ^{op}
	4	0.5009 ± 0.0319 ^{jk}	0.339 ± 0.0314 ^{op}	0.2632 ± 0.0309 ^{qr}	0.2395 ± 0.0160 ^{rs}	0.2084 ± 0.0164 ^{rstu}	0.1771 ± 0.0258 ^{tu}
	6	0.3094 ± 0.0326 ^{pq}	0.2317 ± 0.0236 ^{rst}	0.1959 ± 0.0146 ^{stu}	0.1786 ± 0.0116 ^{tu}	0.1542 ± 0.0101 ^u	0.0947 ± 0.0254 ^v

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

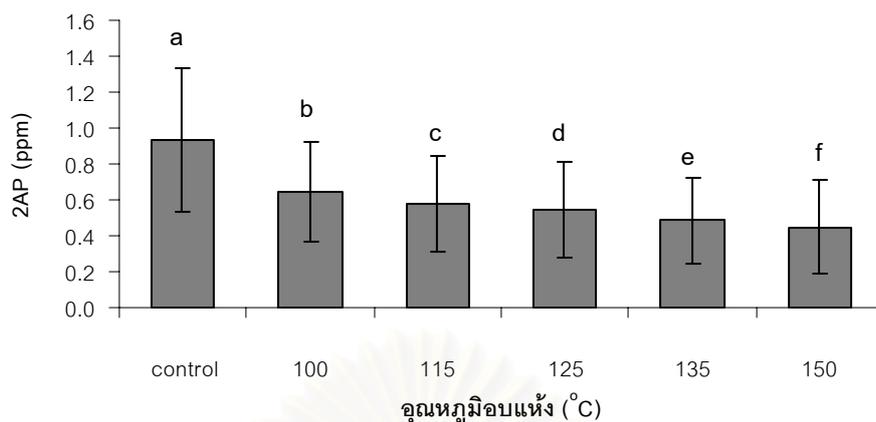
สำหรับตัวอย่างข้าวที่เก็บรักษานานขึ้น พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่เวลา 0 เดือนมีปริมาณ 2AP เริ่มต้นเท่ากับ 0.9716 ppm เมื่อเก็บรักษาข้าวเวลานานขึ้น ปริมาณสาร 2AP ในเดือนที่ 6 ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเหลือเพียง 0.3642 ppm ถือว่าลดลงจากเดิมถึง 62.52% (รูปที่ 4.44) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Laksanalamai และ Ilngantileke (1993), Widjaja และคณะ (1996), Mahatheeranont และคณะ (2001) พบว่าสารหอม 2AP นอกจากในข้าวแล้วยังพบในใบเตยหอม สารนี้ไวต่อแสงและอุณหภูมิ เป็นเหตุให้ข้าวสารที่เก็บไว้เป็นเวลานานมีความหอมลดลงจนใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ไม่หอม Wongpornchai และคณะ (2004) ทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ภายหลังจากอบแห้งเป็นเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณสาร 2AP จากเดิม (เดือนที่ 1) 4.02 ± 0.60 ppm ลดลงเป็น 0.89 ± 0.12 ppm (เดือนที่ 10)



รูปที่ 4.44 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

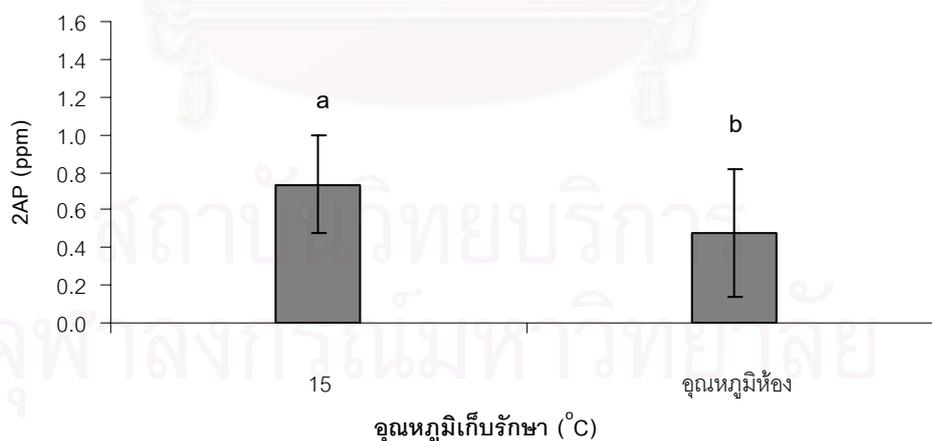
และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP พบว่ามีผลทำให้ปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C มีปริมาณ 2AP เท่ากับ 0.9354 0.6424 0.5771 0.5450 0.4846 และ 0.4499 ppm ตามลำดับ (รูปที่ 4.45)



รูปที่ 4.45 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิในการเก็บรักษายังมีผลต่อปริมาณ 2AP โดยอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่างกันส่งผลให้ปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณ 2AP ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวที่เก็บรักษาที่ 15°C (รูปที่ 4.46) ซึ่ง Laksanalamai และ Ilangantileke (1993) รายงานว่ากลิ่นหอมจะลดลง 50% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ และการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ $10-15^{\circ}\text{C}$ สามารถชะลอการลดลงของสาร 2AP ได้ดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (พัสกร และคณะ, 2546) และทำให้ข้าวมีสมบัติต่างๆค่อนข้างคงที่ (เมธินี เหวซึ่งเจริญ และคณะ, 2546)

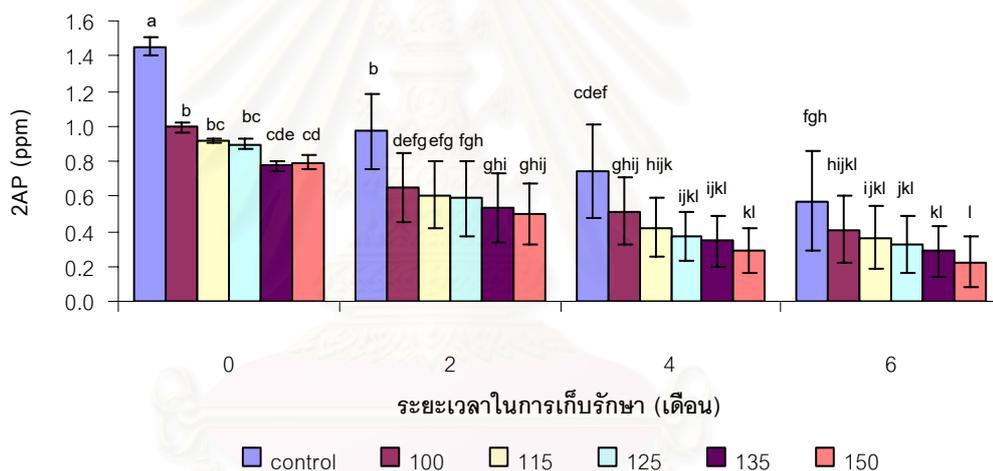


รูปที่ 4.46 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

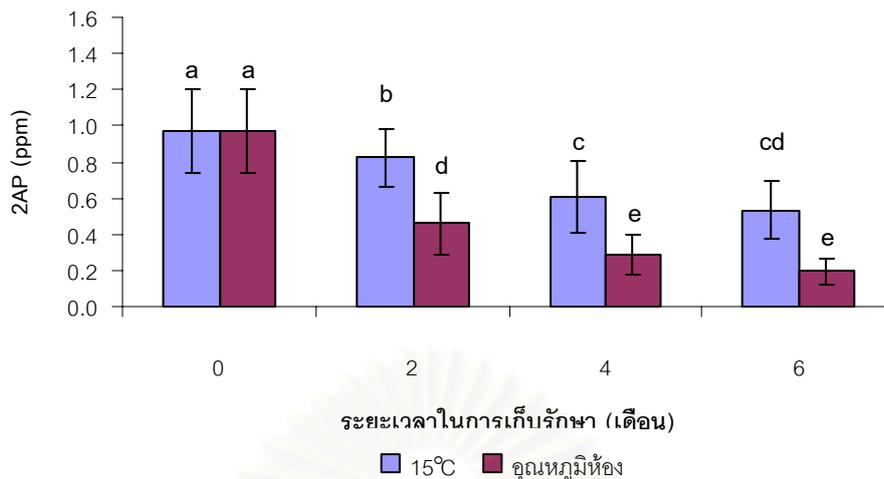
สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งให้ค่าปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่สัมผัสกับความร้อนในระหว่างขั้นตอนการลดความชื้นน้อยกว่า (ตัวอย่างอ้างอิง) จะมีปริมาณ 2AP คงเหลือที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละเดือนมากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่สัมผัสกับความร้อนในระหว่างขั้นตอนการลดความชื้นมากกว่าในที่นี้คือตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือนตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ให้ค่าปริมาณ 2AP ลดลงถึง 61% เมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง (รูปที่ 4.47) นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อปริมาณ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณ 2AP จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 4 เดือนแรกหลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ และตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีการลดลงของสาร 2AP มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15°C (รูปที่ 4.48)



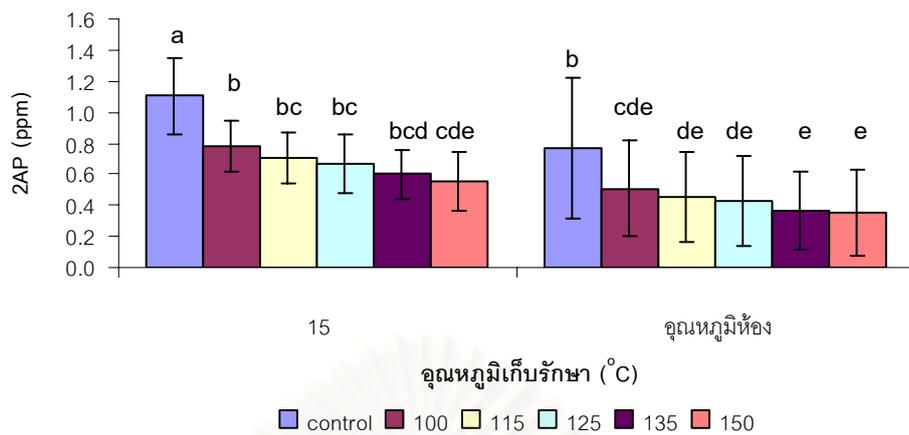
รูปที่ 4.47 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP
 a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.48 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

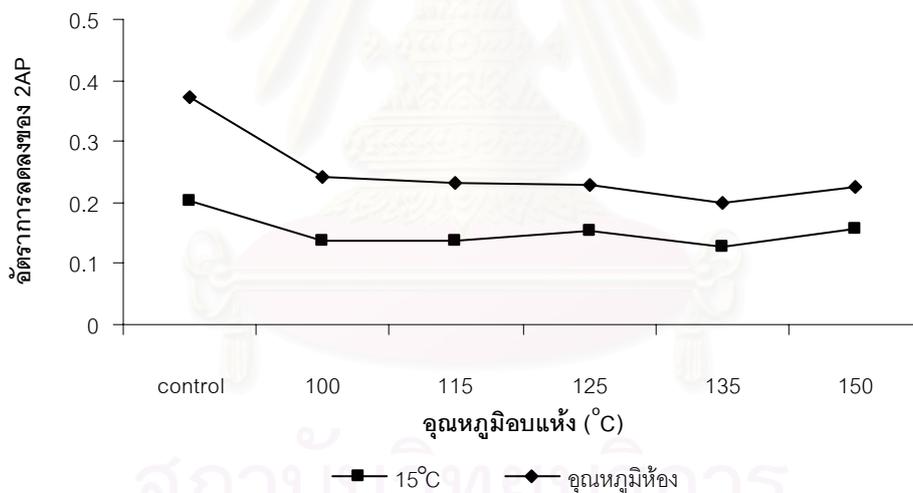
ในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่ามีผลต่อปริมาณ 2AP โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 และ 150°C เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (100°C) ให้ค่าปริมาณ 2AP เท่ากับ 0.7763 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15°C) 0.5084 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง) ส่วนตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (150°C) ให้ค่าปริมาณ 2AP เท่ากับ 0.5507 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15°C) 0.3491 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง) หากพิจารณาที่อุณหภูมิเก็บรักษาเดียวกันเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำคงเหลือปริมาณ 2AP มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และหากพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันแต่แปรค่าอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิห้องคงเหลือปริมาณ 2AP ต่ำกว่าการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C (รูปที่ 4.49)



รูปที่ 4.49 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นหากนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาหาอัตราการลดลงของ 2AP พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งทุกๆภาวะหากทำการเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีอัตราการลดลงของ 2AP สูงกว่าการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.50)



รูปที่ 4.50 อัตราการลดลงของ 2AP ในตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

ภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อทำการลดความชื้นจาก 35% db เป็น 23-25% db สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C ต้องใช้เวลาในการอบแห้งที่ 4 นาที 40 วินาที 3 นาที 25 วินาที 3 นาที 5 วินาที 2 นาที 35 วินาที และ 2 นาที 15 วินาทีโดยมีค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ที่ 71.45 78.13 81.08 83.30 และ 86.95°C ตามลำดับ

5.2. ศึกษาผลของกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (การอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) ต่อปริมาณ 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L.

ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งในขั้นตอนที่ 1 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C เวลาในการอบแห้ง 4 นาที 40 วินาที 3 นาที 25 วินาที 3 นาที 5 วินาที 2 นาที 35 วินาที และ 2 นาที 15 วินาที เมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นพบว่า มีค่า 24.02 24.46 23.95 23.53 และ 23.98% db มีค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ที่ 71.45 78.13 81.08 83.30 และ 86.95°C ตามลำดับ หลังจากนั้นนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้ไปอบแห้งในขั้นตอนที่ 2 ต่อโดยอบแห้งในโรงเก็บ ซึ่งต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 2-3 วัน พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่างกันส่งผลให้ a_w ความชื้น เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ดัชนีความขาวของข้าวสาร ความเหลืองของข้าวสาร และปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ตัน และเมื่อนำตัวอย่างข้าวสารไปส่องด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน ทำให้เม็ดแป้งที่บริเวณของของเมล็ดข้าวเกิดการหลอม เกิดเจลาตินในชั้นบางส่วนและเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้น ทำให้ข้าวที่ได้มีความแข็งแรงและแกร่งทนต่อแรงกระแทกในการสีได้ดี ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถช่วยรักษาในเรื่องดัชนีความขาวของข้าวสารและปริมาณ 2AP ไว้ได้

5.3 ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นเวลา 6 เดือน

หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ซึ่งการเก็บรักษาข้าวเวลานานขึ้นส่งผลให้ ดัชนีความขาวของข้าวสารและปริมาณ 2AP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ตัน ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น ดัชนีความขาวของข้าวสารและปริมาณ 2AP ลดลงและเมื่อแปรค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง ($28-30^{\circ}\text{C}$) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของข้าว โดยการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ดัชนีความขาวของข้าวสารและปริมาณ 2AP ลดลงในขณะที่เปอร์เซ็นต์ข้าวตันและความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C ส่วน a_w และความชื้นในระหว่างการเก็บรักษานั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพบรรยากาศ นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อ a_w ความชื้น เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน ดัชนีความขาวของข้าวสาร b^* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษา กับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อ a_w ความชื้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร b^* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อ a_w ความชื้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.4 แนวทางการนำไปใช้

การอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนในงานวิจัยนี้ (การอบแบบฟลูอิดไรซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกในระดับอุตสาหกรรมได้และสำหรับภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งนั้นให้พิจารณาจากเกณฑ์ที่เราใช้ในการประเมินคุณภาพข้าว ดังนี้

5.4.1 ถ้าใช้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันเป็นเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพข้าว ต้องการผลิตข้าวให้ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันมากๆ ควรอบแห้งที่อุณหภูมิสูง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5.4.2 ถ้าใช้ความหอมเป็นเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพข้าว ต้องการรักษาความหอมในข้าวให้คงอยู่มากที่สุดข้าว ควรเลือกภาวะการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

5.4.3 ถ้าใช้ทั้งในเรื่องเปอร์เซ็นต์ข้าวตันและความหอมเป็นเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพข้าวควบคู่กัน ควรเลือกการอบแห้งที่อุณหภูมิ 125°C

5.5 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ในเรื่องของเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน พบว่าปริมาณแอมิโลสในข้าวมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่ได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อไปเกี่ยวกับผลของปริมาณแอมิโลสในตัวอย่างข้าวเจ้าและข้าวเหนียวต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตันภายหลังการอบแห้ง โดยเลือกทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันมาใช้ในการอบแห้ง เพื่อดูผลของเปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่ได้ว่าข้าวทั้ง 2 ชนิดให้ผลสอดคล้องกันหรือไม่ ตลอดจนมีการศึกษาเชิงลึกกว่านอกเหนือจากปริมาณแอมิโลสแล้ว องค์กรประกอบอื่นๆในเมล็ดข้าวชนิดใดที่สามารถส่งเสริมความแข็งแรงของเมล็ดข้าวให้เพิ่มขึ้นได้

สำหรับในเรื่องของสาร 2AP ซึ่งเป็นความหอมที่เป็นเอกลักษณ์เด่นในข้าวพันธุ์ที่หอมจากการทดลองเห็นได้ว่าการเก็บรักษาข้าวทำให้ปริมาณ 2AP ลดลงโดยมีระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ 2AP ที่มีอยู่ จึงควรมีการศึกษาต่อไปเกี่ยวกับปัจจัยอื่นๆที่อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณสาร 2AP ในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันการสูญเสียสารหอมที่เกิดขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กระทรวงพาณิชย์. 2547. สถิติการส่งออกสินค้ามาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย[online].

Available from: <http://www.dft.moc.go.th/> [2005, June 5]

กิตติยา กิจควรดี. 2545. การเก็บเกี่ยวและปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ข้าวคุณภาพดี.

ใน คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย, หน้า 47-60.

กรุงเทพมหานคร: บริษัทจักรวัฒน์อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2.

292 หน้า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามชื่น คงเสรี. 2545. มาตรฐานข้าว. ใน คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าว

หอมมะลิไทย, หน้า 31-45. กรุงเทพมหานคร: บริษัทจักรวัฒน์อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด.

ทินกร สีเสียดคำ. 2548. การวิเคราะห์ 2-อะเซทิล-1-ฟีโรลีน โดยตรงในเมล็ดข้าวด้วย

เฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธรรณพ เหล่ากุลดิกลง. 2548. ผลของการเสริมไอโอดีนต่อคุณภาพการสีข้าวและสมบัติทาง

เคมีกายภาพของเมล็ดข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยี

ทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นเรศ มีใส. 2541. การประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งในโรงสีข้าว. วิทยานิพนธ์

ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและ

และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นิสากร ปานประสงค์. 2547. ข้าวพืชรพันธุ์เพื่อชีวิต. ใน บทความพิเศษในนิตยสาร UPDATE ปีที่ 19 ฉบับที่ 206 ประจำเดือนพฤศจิกายน, หน้า 35-46.
กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีอีดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

นันทวรรณ รักพงษ์. 2547. อิทธิพลของการควบคุมแหล่งสังเคราะห์แสงที่มีผลต่อการสังเคราะห์และการสะสมปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญมี ศิริ, สุกัญญา วงศ์พรชัย, ศักดิ์ดา จงแก้วเจริญ และศิริพร ศรีล้อม. 2546. ผลการลดความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพการขัดสีของข้าวหอมมะลิ 105. สัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ 2 (21-22 สิงหาคม): 4 หน้า.

เปี่ยมศิลป์ ทองทิพย์. 2540. การอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิพัฒน์ อมตฉายา. 2538. การอบแห้งข้าวเปลือกและข้าวโพดในที่เก็บและการเก็บรักษาในสถานที่ใช้งานจริง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เพลงพิน ศิวาพรรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พัศกร เจียตระกูล, เมธินี เหวซึ่งเจริญ และศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ. 2546. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105. สัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ 2 (21-22 สิงหาคม): 10 หน้า.

เมธินี เหวซึ่งเจริญ, ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ, ทวีชัย นิมาแสง และพัศกร เจียตระกูล. 2546. การรักษาข้าวขาวดอกมะลิให้คงความหอมด้วยวิธี Grain Chilling. เครือข่ายข้อมูลวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว (9 มกราคม): 12 หน้า.

สุทธิณี วานิชสำราญ. 2545. การเพิ่มปริมาณต้นข้าวของข้าวคุณภาพต่ำโดยการเข้าร่วมกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมเกียรติ ปรัชญาวรรการ, สมชาติ ไสภนรณฤทธิ์, ปราศรัย ชลิตาพงศ์ และอดิศักดิ์ นาถกรณ. 2537. การออกแบบและทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บ. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์.) ปีที่ 28: 451-462.

สมชาติ ไสภนรณฤทธิ์. 2532. การอบแห้งข้าวเปลือกในประเทศไทย. การประชุมใหญ่ทางวิชาการหัวข้อเทคโนโลยีใหม่ในงานวิศวกรรมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (26-28 ตุลาคม): 780-788.

สมชาติ ไสภนรณฤทธิ์ และสมชาย ฉิมสกลนกร. 2533. การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บและแบบเป็นงวด. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์.) ปีที่ 24: 92-101.

สมชาติ ไสภนรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. หน้า 101-123. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. 137 หน้า. กรุงเทพมหานคร:

สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

อรอนงค์ ศรีพวาทกุล, สมเกียรติ ปรัชญารวกร และสมชาติ ไสภนรณฤทธิ์. 2537. การ
อบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดไชน์เบดอย่างต่อเนื่อง: การทดลองและจำลองแบบ
ปัญหา. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระ
บรมราชูปถัมภ์ 5(1): 9-24.

ภาษาอังกฤษ

A.O.A.C. 1990. Official method of analysis. Association of official analytical
chemists. 15th ed. Washington D.C.: Association of official analytical
chemists.

Bao, J. Z., and Berman C. J. 2003. The functionality of rice starch. In Starch in
food, Eliasson A. C. (ed.), Boca Raton Boston New York Washington, D. C.,
pp. 215-263.

Barber, S. 1972. Milled rice and change during aging. In Rice Chemistry and
Technology, 1st ed., Houston, D. F. (ed.), American Association of Cereal
Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA., pp. 215-263.

Bason, M. L., Gras, P. W., Banks, H. J., and Esteves, L. A. 1990. A qualitative
study of the influence of temperature, water activity and storage atmosphere
on the yellowing of paddy endosperm. J.Cereal Sci. 12: 193-201.

Buttery, R. G., Juliano, B. O., and Ling L. C. 1982. 2-Acetyl-1-pyrroline: an
important aroma component of cooked rice. Chem.Ind.(London).
958-959.

- Buttery, R. G., Juliano, B. O., and Ling L. C. 1983a. Identification of rice aroma compound 2-acetyl-1-pyrroline in pandan leaves. Chem.Ind.(London). 478.
- Buttery, R. G., Juliano, B. O., and Turnbaugh, J. G. 1983b. Cooked rice aroma and 2- acetyl-1-pyrroline. J.Agric.Food Chem. 31: 823-826.
- Buttery, R. G., Ling, L. C., and Mon, T. R. 1986. Quantitative analysis of 2-acetyl-1-pyrroline in rice. J.Agric.Food Chem. 34: 112-114.
- Chrastil, J. 1990a. Chemical and physiochemical changes of rice during storage at different temperature. J.Cereal Sci. 11: 71-85.
- Chrastil, J. 1990b. Protein-starch internations in rice grain. Influence of storage on oryzenin and starch. J.Agric.Food Chem. 38: 1804-1809.
- Crossen, A. G., Jimenez, M. J., and Siebenmorgen, T. J. 2003. Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. J. Food.Eng. 59: 61-69.
- Da-Wen Sun. 1999. Comparison and selection of EMC / ERH isotherm equations of rice. J.Stored Prods.Research. 35: 249-264.
- Hofmann, T., and Schieberle, P. 1998. 2-Oxopropanal, hydroxy-2-propanone and 1-pyrrolines important intermediates in the generation of the roast-smelling food flavor compounds 2-acetyl-1-pyrroline and 2-acetyltetrahydropyridine. J.Agric.Food Chem. 46: 2270-2277.
- Hoseney, R. C. 1998. Structure of cereals. In Principles of cereal Science and Technology. 2nd ed., The American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnsesota, USA., pp.16.

- Hovmand, S. 1987. Fluidized bed drying. In Handbook of Industrial Drying, Mujumdar, A. S. (ed.), New York and Basel., pp.165-170.
- Huang, S. C., Shiau, C. Y., Liu, T. E., Chu, C. L., and Hwang, D. F. 2005. Effects of rice bran on sensory and physico-chemical properties of emulsified pork meatballs. Meat Sci. 70: 613-619.
- Juliano, B. C., and Perez, C. M. 1983. Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. J.Texture Stud. 14: 235-243.
- Juliano, B. O. 1985. The rice grain and its gross composition. In Rice Chemistry and Technology, Juliano, B. O. (ed.), 2nd ed., The American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA., pp.1-57.
- Laksanalamai, V., and Ilangantileke, S. 1993. Comparison of aroma compound (2-Acetyl-1-pyrroline) in leaves from pandan (*Pandanus amaryllifolius*) and Thai fragrant rice (Khao Dawk Mali-105). Cereal Chem. 70(4): 381-384.
- Lorieux, M., Petrov, M., Huang, N., Guiderdoi, E., and Ghesquiere, A. 1996. Aroma in rice: genetic analysis of a quantitative trait. Theor.Appl.Genet. 93: 1145-1151.
- Mahatheeranont, S., Keawsard, S., and Dumri, K. 2001. Quantification of the rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in uncooked Khao Dawk Mali 105 Brown Rice. J.Agric.Food Chem. 49: 773-779.
- Poomsa-ad, N., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., and Terdyothin, A. 2002. Effect of tempering on subsequent drying of paddy using fluidisation technique. Drying Tech. 20(1): 195-210.

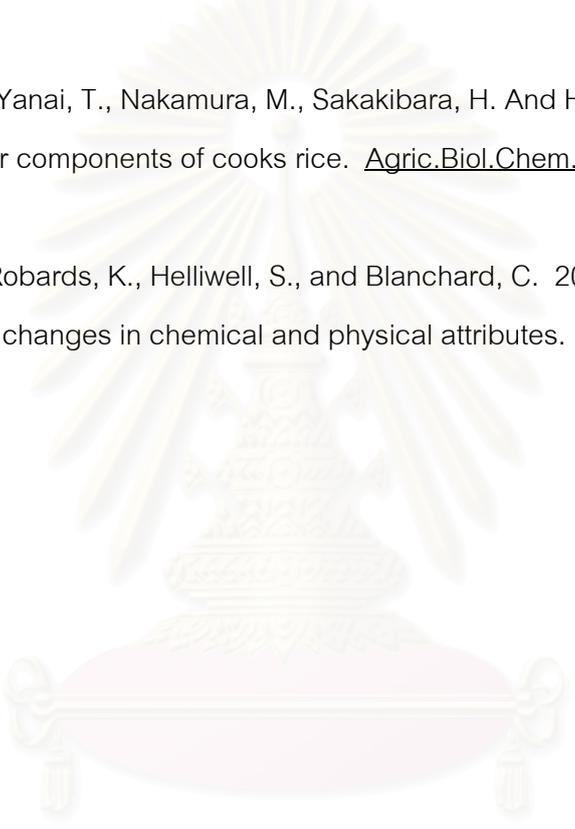
- Rudi, V., Veerle, D., Jan, A., Bart, G., Harry, R., and Michel H, K. 2006. Structural transformations during gelatinization of starches in limited water: combined wide- and small-angle X-ray scattering study. Biomac. 7: 1231-1238.
- Soponronnarit, S., and Prachayawarakorn, S. 1994. Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. Drying Tech. 12(7): 1667-1686.
- Sunthonvit, N., Srzednicki, G., and Craske, J. 2003. Effect of high temperature drying on the flavour component in Thai fragrant rice varieties. Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Drying Conference. 249-259.
- Taweerattanapanish, A., Soponronnarit, S., Wetchakama, S., Kongseri, N., and Wongpiyaachon, S. 1999. Effects of drying on head rice yield using fluidization technique. Drying Tech. 17: 345-353.
- Webb, B. D., Pomeranz, Y., Afework, S., Lai, F. S., and Bollich, C. N. 1986. Rice grain hardness and its relationship to some milling, cooking, and processing characteristics. Cereal Chem. 63: 27-30.
- Widjaja, R., Craske, J. D., and Wootton, M. 1996. Changes in volatile components of paddy, brown and white fragrant rice during storage. J.Sci.food Agric. 71: 218-224.
- Wiset, L., Srzednicki, G., and Driscoll, R. H. 2003. Effects of high temperature drying on physicochemical properties of rice. Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Drying Conference. 261-269.
- Wongpornchai, S., Sriseadka, T., and Choonvisase, S. 2003. Identification and quantitation of the rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in bread flower (*Vallis glabra* Ktze). J.Agric.Food Chem. 51: 457-462.

Wongpornchai, S., Dumri, K., and Jongkaewwattana, S. 2004. Effect of dryings and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105. Food Chem. 87: 407-414.

Yoshihashi, T., Huong, N. T. T., and Inatomi, H. 2002. Precursors of 2-acetyl-1-pyrroline, a potent flavor compound of an aromatic rice variety. J.Agric.Food Chem. 50: 2001-2004.

Yajima, I., Yanai, T., Nakamura, M., Sakakibara, H. And Habu, T. 1978. Volatile flavor components of cooks rice. Agric.Biol.Chem. 42: 1229-1233.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. 2002. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. J.Cereal Sci. 35: 65-78.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ก.1 การวิเคราะห์ a_w

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัด a_w ของ Testo รุ่น 650, บริษัท Tesco, Gmb H & Co

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งหัว probe กับอุปกรณ์การวัด
2. เปิดเครื่อง หน้าจอจะแสดงค่า % และ $^{\circ}\text{C}$
3. นำตัวอย่างใส่ลงใน cup แล้ววางลงบนแท่นวัด ปิดฝาแท่นวัดให้สนิท
4. เลื่อนเคอร์เซอร์โดยกดปุ่มลูกศรเพื่อเลือก mode “ a_w value”
5. หน้าจอจะแสดงเป็นลูกศร \rightleftarrows รอจนกระทั่งค่าคงที่ บันทึกค่าที่อ่านได้
6. เวลาต้องการเปลี่ยนตัวอย่าง จะกดปุ่ม ESC นำตัวอย่างเก่าออกใส่ตัวอย่างใหม่ กดปุ่มที่ตัวเครื่องที่ตำแหน่ง mode “ a_w value” เพื่อให้เครื่องทำการอ่านค่าต่อไป

ก.2 การหาความชื้นของข้าวเปลือก

วิธีของ A.O.A.C. (1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อนของ Memmert รุ่น model 600, Germany

วิธีการทดลอง

1. ชั่งมวลของกระป๋องซึ่งจะใช้บรรจุข้าวเปลือกที่จะหาความชื้น บันทึกค่า
2. นำข้าวเปลือกที่ต้องการหาความชื้นใส่ในกระป๋องประมาณ 30-50 กรัม
3. ชั่งมวลรวมของข้าวเปลือกและกระป๋องที่บรรจุ บันทึกค่า
4. นำกระป๋องที่มีข้าวเปลือกเข้าตู้อบและตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 103°C
5. เมื่อครบ 72 ชั่วโมง นำกระป๋องออกมาเก็บไว้ในขวดแก้วซึ่งมีตัวดูดความชื้นป้องกันไม่ให้ข้าวดูดความชื้นจากอากาศ และปล่อยให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม
6. เมื่อกระป๋องที่เย็นแล้วนำมาชั่งอีกครั้ง บันทึกค่าและคำนวณหาความชื้นตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ความชื้นในหน่วยเศษส่วนมาตรฐานแห้ง} = \frac{(\text{มวลดตามข้อ 3} - \text{มวลดตามข้อ 6})}{(\text{มวลดตามข้อ 6} - \text{มวลดตามข้อ 1})}$$

$$\text{ความชื้นในหน่วยเศษส่วนมาตรฐานเปียก} = \frac{(\text{มวลดตามข้อ 3} - \text{มวลดตามข้อ 6})}{(\text{มวลดตามข้อ 3} - \text{มวลดตามข้อ 1})}$$

ก.3 การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

วิธีของสุทธิณี วานิชสำราญ (2545)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางชนิด Statake Thu 35A
2. เครื่อง Mc.Gill Miller
3. เครื่องคัดขนาดของเมล็ดข้าว (Sizing device)
4. เครื่องชั่ง Sartorius ที่มีความละเอียด ± 0.01 กรัม ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 3200 กรัม

วิธีการทดลอง

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือกโดยผ่านเครื่องคัดแยก (Aspirator) เพื่อดูเอาเมล็ดลีบ และสิ่งเจือปนต่างๆออก ส่วนหิน กรวด ททราย หรือเหล็ก คัดแยกออกด้วยมือ
2. ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วตัวอย่างละ 250 กรัม
3. นำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก (Satake) จนเปลือกหลุดออกหมด
4. ชั่งน้ำหนักข้าวกลั่นที่ได้จากการกะเทาะเปลือกออกแล้วบันทึกค่าไว้
5. ชัดข้าวด้วยเครื่อง Mc.Gill Miller เป็นเวลา 45 วินาที ทิ้งข้าวสารไว้ให้เย็น
6. ชั่งน้ำหนักข้าวสารที่ได้จากการชัดข้าวแล้วบันทึกค่าไว้
7. นำข้าวสารไปแยกข้าวต้นกับข้าวหักด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Sizing device)
8. ชั่งน้ำหนักข้าวต้นแล้วบันทึกค่าไว้
9. นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก เปอร์เซ็นต์รำ และเปอร์เซ็นต์แกลบ จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\% \text{ ข้าวต้น} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวต้น} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$

$$\% \text{ ข้าวหัก} = \frac{(\text{น้ำหนักข้าวสาร} - \text{น้ำหนักข้าวต้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$

$$\% \text{ รำ} = \frac{(\text{น้ำหนักข้าวกล้อง} - \text{น้ำหนักข้าวสาร}) \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$

$$\% \text{ แกลบ} = \frac{(\text{น้ำหนักข้าวเปลือก} - \text{น้ำหนักข้าวกล้อง}) \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$



รูปที่ ก.1 เครื่องกะเทาะเปลือก (Satake)



รูปที่ ก.2 เครื่องขัดข้าว (Mc.Gill.Miller)



รูปที่ ก.3 เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Sizing device)

ก.4 สีของเมล็ดข้าวสาร

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดสีในระบบ C.I.E.LAB Minolta รุ่น CR 300

วิธีการทดลอง

1. กด ON พร้อม All data
2. กด Enter
3. กด Index set
4. เลือกลงแสง (D65) แล้วกด ENTER
5. กด Calibrate หลังจากนั้นให้ป้อนค่า $Y = 93.2$ $x = 0.3157$ และ $y = 0.3321$
6. ยิงแผ่น Calibrate 1 ครั้ง
7. กด Color space
8. วัดตัวอย่าง เครื่องจะพิมพ์ค่า L a^* และ b^* ที่อ่านได้
9. หากต้องการหาค่าเฉลี่ยให้กด Statistic กด Enter
10. นำค่า b^* มารายงานเป็นค่าความเหลืองของข้าวสาร และนำค่า L a^* และ b^* มาคำนวณดัชนีความขาวจากวิธีของ Huang และคณะ (2005) ตามสูตรดังนี้

$$\text{ดัชนีความขาว (White index)} = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{1/2}$$

ก.5 ปริมาณสาร 2AP

วิธีของทินกร สีเสียดคำ (2548)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Gas Chromatography (GC, 6890N series US 10533020 Made in China)
2. เครื่อง Headspace auto-sampler (HS, G1888 Agilent Technologies Network Headspace Sampler)
3. เครื่องปั่นไฟฟ้า
4. ตะแกรงขนาด 45 mesh
5. เครื่องชั่งที่มีความละเอียด ± 0.001 กรัม
6. ขวด vial ใช้บรรจุตัวอย่างซ้ำ
7. septum และ ฟาอลูมิเนียม
8. เข็มฉีดสารมาตรฐานภายใน ขนาดบรรจุในหน่วยไมโครลิตร (μl)

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาแกะเปลือก แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 45 mesh
2. ชั่งน้ำหนักผงซ้ำ 1.000 ± 0.001 กรัม ลงในขวด vial
3. เติมสารละลายมาตรฐานภายใน 2,4-dimethylpyridine (DMP) ความเข้มข้น 1000 ppm ในตัวทำละลาย isopropanol ปริมาตร 1 μl
4. ปิด septum และฟาอลูมิเนียม โดยใช้ crimper อัดฝาให้ปิดสนิท
5. นำเข้าวางใน sample tray ของเครื่อง HS-GC
6. ผลที่ได้จะแสดงเป็นโครมาโตแกรมของสาร 2AP และสารละลายมาตรฐาน DMP คำนวณหาน้ำหนักของสาร 2AP ได้โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานสาร 2AP

การสร้างกราฟมาตรฐานสาร 2AP

การสร้างกราฟมาตรฐานทำเพื่อใช้เทียบวิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP ในตัวอย่างเมล็ดข้าว โดยใช้วิธีเทียบกับสารมาตรฐานภายใน DMP ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. นำสาร 2AP ที่ได้จากการสังเคราะห์และทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นมาเตรียมสารมาตรฐาน 2AP ที่มีความเข้มข้น 1000 ppm ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน
2. ใช้ข้าวไม่หอมพันธุ์เหลืองพิจิตรแทนตัวอย่างซ้ำที่ไม่มีสาร 2AP นำมาเตรียม

ตัวอย่างตามวิธีการทดลองข้างต้น จำนวน 7 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่างเติมสารมาตรฐาน 2AP ที่มีความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 0.5 , 1.0 , 2.0 4.0 , 6.0 , 8.0 และ 10.0 μl ตามลำดับ และทุกตัวอย่างเติมสารมาตรฐานภายใน DMP เข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 1.0 μl

3. วิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำด้วยเครื่อง Headspace Gas Chromatography จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยน้ำหนักของสาร 2AP / DMP และอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคของสาร 2AP / DMP ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ ก.1 และได้กราฟมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ปริมาตรของสารมาตรฐาน 2AP ที่มีความเข้มข้น 1000 ppm ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนที่เติมลงในตัวอย่างข้าวพันธุ์เหลืองพิจิตร (พันธุ์ไม่หอม) เพื่อใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

หมวดที่	1	2	3	4	5	6	7
ปริมาตรที่เติมของสารละลายมาตรฐาน 2AP ที่มีความเข้มข้น 1000 ppm ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (μl)	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
น้ำหนักของสาร 2AP ในหมวดตัวอย่างที่มีข้าวพันธุ์เหลืองพิจิตร (μg)	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
อัตราส่วนน้ำหนัก 2AP ในหมวดตัวอย่างต่อกรัมของน้ำหนักข้าวพันธุ์เหลืองพิจิตร	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ 2AP ต่อ DMP	0.5	1	2	4	6	8	10
ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีค 2AP	1754	3860	6409	6280	14167	18712	7367
ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีค 2,4-DMP	8455	10327	9415	4958	7670	7442	2351
ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีค 2AP / DMP	0.207	0.377	0.681	1.292	1.878	2.542	3.138

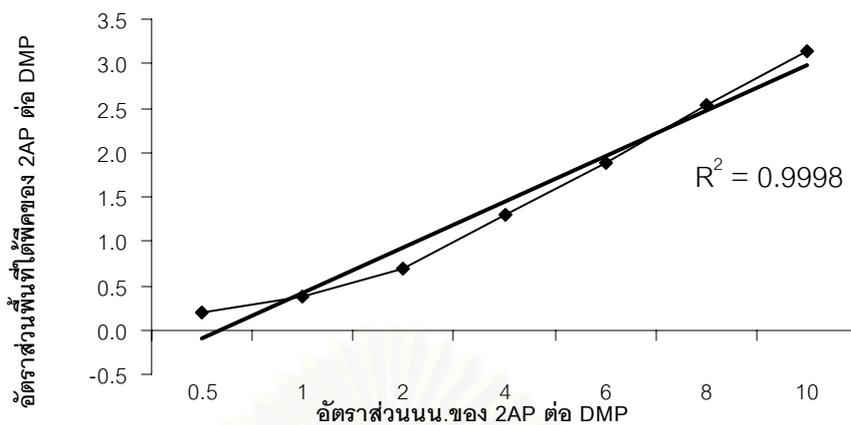
4. จากกราฟมาตรฐาน 2AP (รูปที่ ก.1) ได้สมการ

$$y = 0.3078x + 0.0601$$

เมื่อ x = อัตราส่วนน.ของ 2AP ต่อ DMP

$$y = \text{อัตราส่วนพื้นที่ใต้พีค 2AP ต่อ DMP}$$

5. คำนวณหาปริมาณ 2AP ได้



รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐานของ 2AP

สภาวะของเครื่อง HS-GC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

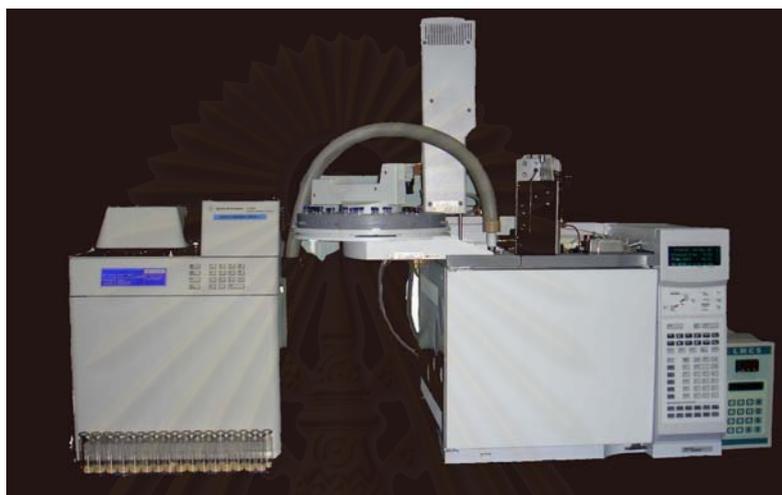
Gas Chromatography

- Capillary column รุ่น HP-5 (5% phenyl 95% methylpolysiloxane) ความยาว 30.0 m เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 530.0 μm ความหนาของ liquid phase 1.5 μm
- แก๊สดัดพา HS, N_2 อัตราการไหล 3.0 ml/min
- อุณหภูมิของตัวนำสารเข้า 230 $^{\circ}\text{C}$
- โปรแกรมอุณหภูมิของคอลัมน์
 - อุณหภูมิเริ่มต้น 45 $^{\circ}\text{C}$
 - อุณหภูมิที่สอง 65 $^{\circ}\text{C}$
 - อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 0.5 $^{\circ}\text{C} / \text{min}$
 - อุณหภูมิสุดท้าย 225 $^{\circ}\text{C}$
- ปริมาตรของสารที่ฉีด 1.0 μl
- Split ratio 1:1
- อุณหภูมิของ FID 250 $^{\circ}\text{C}$
(ใช้ detector ชนิด Flame Ionization Detector)

Headspace auto-sampler

- อุณหภูมิของตู้อบ 140 $^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิของลู่วัดตัวอย่าง 150 $^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิของท่อตัวอย่าง 160 $^{\circ}\text{C}$

- เวลาเข้าสู่สมดุลของขวดตัวอย่าง 5.00 นาที
- เวลาในการเพิ่มความดัน 0.60 นาที
- เวลาในการเติมสุฟตัวอย่าง 0.10 นาที
- เวลาสมดุลของสุฟตัวอย่าง 0.60 นาที
- เวลาในการฉีดสาร 0.40 นาที



รูปที่ ก.5 เครื่อง Headspace Gas Chromatography

ก.6 การปรับความชื้นข้าวเปลือก

1. คำนวณจากสูตร

$$W_f = \frac{W_i (1 - MC_i)}{(1 - MC_f)}$$

เมื่อ MC_i = ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างที่ต้องการปรับความชื้น

MC_f = ความชื้นสุดท้ายที่เราต้องการหลังปรับความชื้น

W_i = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_f = น้ำหนักตัวอย่างสุดท้ายหลังปรับความชื้นแล้ว (กรัม)

$$W_w = W_f - W_i$$

W_w = น้ำหนักน้ำ (กรัม) ที่ต้องเติมเพื่อปรับความชื้นให้ได้ปริมาณความชื้นตามที่ต้องการ

2. หลังจากปรับความชื้นแล้ว ตัวอย่างจะถูกนำไปเก็บที่อุณหภูมิห้องเย็น ทำการคลุกตัวอย่างทุกวันประมาณ 7 วัน

ก.7 ปริมาณข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองอบแห้ง 1 ครั้ง

1. ในการทดลองใช้ตัวอย่างข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้งที่ 35% db เทตัวอย่างข้าวเปลือกลงในกระบอกตวงให้มีปริมาตร 1000 cm³ แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีค่าความชื้น 35% db ปริมาตร 1000 cm³หนัก 635 กรัม
2. Soponronnarit และ Prachayawarakorn (1994) ได้เสนอความสูงเบดที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องฟลูอิดไคซ์เบดคือ 9.5 cm ซึ่งเครื่องฟลูอิดไคซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง มีห้องอบเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm ปริมาตรข้าวเปลือกที่ต้องใช้ต่อครั้งประมาณ 2984.51 cm³
3. ดังนั้นปริมาตรข้าวเปลือกที่ต้องใช้ต่อครั้ง 2984.51 cm³ ต้องใช้ข้าวเปลือกในการอบแห้งประมาณ 1900 กรัม

ก.8 การใช้เครื่องฟลูอิดไคซ์เบด

1. เปิดเครื่องฟลูอิดไคซ์เบด ปรับอุณหภูมิให้ได้ตามเงื่อนไขการทดลอง เปิดทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีเพื่อให้สภาวะการทำงานคงที่
2. ปิดสวิทช์พัคลม บ้อนข้าวเปลือก 1900 กรัม ลงในห้องอบแห้ง
3. เปิดสวิทช์พัคลม ปรับความเร็วของอากาศในห้องอบให้ได้ 2.5 m/s
4. ปล่อยให้ข้าวเปลือกในห้องอบออกทางช่องสำหรับนำตัวอย่างออก
5. ทิ้งให้เครื่องทำงานประมาณ 15 นาทีเพื่อให้สภาวะการทำงานคงที่
6. ปิดสวิทช์พัคลม บ้อนตัวอย่างข้าวเปลือกที่จะใช้ในการทดลองจริงๆ 1900 กรัมลงในห้องอบแห้ง
7. เปิดสวิทช์พัคลม ทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้ได้ตามต้องการ
8. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปล่อยให้ข้าวเปลือกออกแล้วแบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วนส่วนที่ 1 นำตัวอย่างหลังการอบไปใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดแล้ววัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือก ส่วนที่ 2 นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่เหลือไปอบแห้งในโรงเก็บต่อไป



รูปที่ ก.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปริมาณความชื้นข้าวเปลือกกับเวลาของตัวอย่างอ้างอิง

เวลา (วัน)	ความชื้น (% db)
1	34.74 ± 0.12
2	31.47 ± 0.31
3	24.60 ± 0.66
4	16.73 ± 0.24
5	15.91 ± 0.31
6	16.33 ± 0.11
7	15.92 ± 0.10
8	15.57 ± 0.10
9	14.63 ± 0.10
10	15.20 ± 0.18

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปริมาณความชื้นข้าวเปลือก (% db) กับเวลาของ
ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C

เวลา (นาที)	ความชื้น (% db)				
	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)				
	100	115	125	135	150
0.00	34.60 ± 0.64	36.07 ± 0.63	35.42 ± 0.56	36.37 ± 0.54	35.34 ± 0.08
0.50	32.93 ± 0.32	32.88 ± 0.14	32.89 ± 0.20	33.15 ± 0.46	31.77 ± 0.31
1.00	31.79 ± 1.23	31.69 ± 0.13	31.12 ± 0.49	30.45 ± 1.26	29.38 ± 0.34
1.50	30.26 ± 0.40	30.63 ± 0.41	29.45 ± 0.30	28.68 ± 0.59	29.96 ± 0.29
2.00	29.55 ± 0.06	29.41 ± 0.92	26.71 ± 0.23	25.66 ± 0.73	24.28 ± 0.34
2.50	28.15 ± 1.03	27.39 ± 0.78	25.10 ± 0.37	23.35 ± 1.00	21.69 ± 0.66
3.00	27.00 ± 0.41	25.42 ± 0.35	23.91 ± 0.31	21.62 ± 1.02	20.01 ± 0.42
4.00	25.45 ± 0.60	22.97 ± 0.34	21.09 ± 0.36	18.89 ± 0.94	17.25 ± 0.67
5.00	23.28 ± 0.26	20.20 ± 0.30	17.79 ± 0.95	16.77 ± 1.24	15.41 ± 0.24
6.00	21.63 ± 0.43	18.51 ± 0.71	16.79 ± 0.51	14.98 ± 1.05	13.66 ± 0.39
8.00	18.54 ± 0.33	15.75 ± 0.43	14.34 ± 0.36	12.40 ± 0.70	11.24 ± 0.24
10.00	16.59 ± 0.52	14.04 ± 0.41	13.28 ± 0.18	11.02 ± 0.50	8.98 ± 0.25

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก ($^{\circ}\text{C}$) กับเวลาของตัวอย่าง
ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก ($^{\circ}\text{C}$)				
	อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)				
	100	115	125	135	150
0.00	28.00 \pm 0.00	28.00 \pm 0.00	28.00 \pm 0.00	28.00 \pm 0.00	28.00 \pm 0.00
0.50	47.50 \pm 0.71	52.50 \pm 0.71	52.50 \pm 0.71	57.00 \pm 0.00	60.50 \pm 2.12
1.00	56.00 \pm 0.00	60.00 \pm 0.00	60.00 \pm 0.00	68.00 \pm 0.00	67.00 \pm 1.41
1.50	60.50 \pm 0.71	67.00 \pm 0.00	68.00 \pm 0.00	75.00 \pm 0.00	77.00 \pm 0.00
2.00	63.50 \pm 0.71	71.50 \pm 0.71	74.50 \pm 0.71	79.50 \pm 0.71	83.00 \pm 1.41
2.50	65.50 \pm 0.71	73.50 \pm 0.71	76.00 \pm 0.00	84.50 \pm 0.71	86.00 \pm 0.00
3.00	67.50 \pm 0.71	76.00 \pm 0.00	79.50 \pm 0.71	87.50 \pm 0.71	91.50 \pm 0.71
4.00	70.50 \pm 0.71	80.00 \pm 0.00	82.50 \pm 0.71	92.50 \pm 0.71	98.00 \pm 1.41
5.00	73.00 \pm 0.00	82.50 \pm 0.71	85.50 \pm 0.71	96.50 \pm 0.71	100.00 \pm 0.00
6.00	75.50 \pm 0.71	85.50 \pm 0.71	91.50 \pm 0.71	99.50 \pm 0.71	104.50 \pm 3.54
8.00	78.50 \pm 0.71	89.50 \pm 0.71	94.50 \pm 0.71	104.50 \pm 0.71	110.00 \pm 1.41
10.00	81.00 \pm 0.00	92.00 \pm 0.00	96.50 \pm 0.71	109.00 \pm 0.00	112.00 \pm 1.41

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (db) กระเปาะเปียก (wb) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของ
อากาศที่อุณหภูมิห้องในระหว่างการอบแห้งในโรงเก็บ

ลำดับ	db ($^{\circ}\text{C}$)	wb ($^{\circ}\text{C}$)	% RH	% RH เฉลี่ย	db ($^{\circ}\text{C}$) เฉลี่ย
1	29.0	26.0	71.0		
2	30.0	26.5	75.0		
3	29.5	26.5	75.0		
4	31.0	28.0	79.0	75.00	29.88

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (db) กระเปาะเปียก (wb) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของอากาศที่อุณหภูมิตั้งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	สัปดาห์	db (°C)	wb (°C)	% RH	% RH เฉลี่ย	db (°C) เฉลี่ย
1	1	30.0	26.5	75.0		
1	2	30.0	26.0	72.0		
1	3	30.0	26.5	75.0		
1	4	29.0	24.5	69.0	72.75	29.75
2	1	29.5	26.0	75.0		
2	2	30.0	26.0	72.0		
2	3	29.5	26.0	75.0		
2	4	29.0	26.0	78.0	75.00	29.50
3	1	29.0	25.5	75.0		
3	2	29.0	25.5	75.0		
3	3	30.0	26.0	72.0		
3	4	29.0	25.0	71.0	73.25	29.25
4	1	27.5	25.5	84.0		
4	2	30.0	27.0	78.0		
4	3	28.0	24.5	74.0		
4	4	30.0	27.5	80.0	79.00	28.88
5	1	30.0	26.0	72.0		
5	2	30.0	26.0	72.0		
5	3	29.0	26.0	78.0		
5	4	28.5	25.5	77.0	74.75	29.38
6	1	29.0	25.5	75.0		
6	2	28.0	24.5	74.0		
6	3	29.0	24.0	65.0		
6	4	29.0	25.0	71.0	71.25	28.75

ตารางที่ ข.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (db) กระเปาะเปียก (wb) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของอากาศที่ 15°C ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	สัปดาห์	db (°C)	wb (°C)	% RH	% RH เฉลี่ย	db (°C) เฉลี่ย
1	1	15.0	13.0	78.0		
1	2	15.0	13.0	78.0		
1	3	14.0	13.0	89.0		
1	4	14.0	12.0	78.0	80.75	14.50
2	1	14.0	13.0	89.0		
2	2	14.5	12.5	78.0		
2	3	14.0	12.0	78.0		
2	4	14.0	13.0	89.0	83.50	14.13
3	1	15.0	14.0	89.0		
3	2	14.5	13.5	89.0		
3	3	14.0	13.0	89.0		
3	4	13.0	11.0	77.0	86.00	14.13
4	1	14.0	13.0	89.0		
4	2	14.5	13.5	89.0		
4	3	14.0	12.0	78.0		
4	4	14.5	13.5	89.0	86.25	14.25
5	1	15.0	13.0	78.0		
5	2	15.0	13.0	78.0		
5	3	13.0	12.0	88.0		
5	4	12.5	11.5	88.0	83.00	13.88
6	1	14.0	13.0	89.0		
6	2	14.0	12.0	78.0		
6	3	13.0	11.0	77.0		
6	4	14.0	12.0	78.0	80.50	13.75

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน a_w ที่ระยะเวลา 0 เดือน

Source	a_w		
	df	MS	F
อุณหภูมิอบแห้ง	5	1.044E-04	12.163*
error	18	8.583E-06	
total	23		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความชื้นที่ระยะเวลา 0 เดือน

Source	ความชื้น (% db)		
	df	MS	F
อุณหภูมิอบแห้ง	5	0.246	18.023*
error	18	1.367E-02	
total	23	23	

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่ระยะเวลา 0 เดือน

Source	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน		
	df	MS	F
อุณหภูมิอบแห้ง	5	206.886	162.255*
error	18	1.275	
total	23		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนดัชนีความขาวของข้าวสารที่ระยะเวลา 0 เดือน

Source	ดัชนีความขาว		
	df	MS	F
คุณหมุมิอบแห้ง	5	2.701	28.114*
error	18	9.61E-02	
total	23		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเหลืองของข้าวสารที่ระยะเวลา 0 เดือน

Source	b*		
	df	MS	F
คุณหมุมิอบแห้ง	5	1.152	49.302*
error	18	2.337E-02	
total	23		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณ 2AP ที่ระยะเวลา 0 เดือน

Source	2AP (ppm)		
	df	MS	F
คุณหมุมิอบแห้ง	5	0.252	178.406*
error	18	1.410E-03	
total	23		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน a_w ที่ระยะเวลา 6 เดือน

Source	a_w		
	df	MS	F
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	3	2.689E-03	173.530*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	5	2.011E-04	12.978*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	1	4.471E-04	28.850*
A*B	15	1.139E-04	7.347*
A*C	3	1.209E-04	7.800*
B*C	5	4.464E-05	2.880*
A*B*C	15	2.844E-05	1.835*
error	144	1.550E-05	
total	192		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความชื้นที่ระยะเวลา 6 เดือน

Source	ความชื้น (% db)		
	df	MS	F
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	3	2.385	153.313*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	5	0.635	40.820*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	1	0.966	62.096*
A*B	15	0.177	11.407*
A*C	3	0.344	22.134*
B*C	5	5.946E-02	3.823*
A*B*C	15	3.663E-02	2.355*
error	144	1.555E-02	
total	192		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ระยะเวลา 6 เดือน

Source	เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น		
	df	MS	F
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	3	99.928	90.724*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	5	1412.837	1282.707*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	1	16.910	15.352*
A*B	15	4.195	3.809*
A*C	3	1.891	1.717
B*C	5	1.152	1.046
A*B*C	15	0.319	0.290
error	144	1.101	
total	192		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนดัชนีความขาวของข้าวสารที่ระยะเวลา 6 เดือน

Source	ดัชนีความขาว		
	df	MS	F
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	3	32.082	386.871*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	5	16.730	201.751*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	1	4.934	59.503*
A*B	15	0.730	8.807*
A*C	3	0.708	8.541*
B*C	5	0.630	7.597*
A*B*C	15	0.505	6.091*
error	144	8.293E-02	
total	192		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเหลืองของข้าวสารที่ระยะเวลา 6 เดือน

Source	b*		
	df	MS	F
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	3	15.989	252.894*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	5	4.842	76.588*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	1	4.392	69.474*
A*B	15	0.438	6.933*
A*C	3	0.489	7.731*
B*C	5	0.141	2.234
A*B*C	15	0.123	1.945*
error	144	6.320E-02	
total	192		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณ 2AP ที่ระยะเวลา 6 เดือน

Source	2AP (ppm)		
	df	MS	F
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	3	3.501	2521.712*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	5	0.983	707.801*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	1	3.126	2251.531*
A*B	15	2.858E-02	20.585*
A*C	3	0.352	253.382*
B*C	5	1.836E-02	13.224*
A*B*C	15	6.313E-03	4.547*
error	144	1.388E-03	
total	192		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รายละเอียดข้อมูลการทดลองเพิ่มเติมในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน
 ตารางที่ ข.19 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ a_w

เดือน	a_w
0	0.741 ± 0.005^a
2	0.726 ± 0.006^c
4	0.734 ± 0.007^a
6	0.730 ± 0.007^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.20 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อ a_w

อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	a_w
control	0.736 ± 0.007^a
100	0.735 ± 0.009^a
115	0.735 ± 0.006^a
125	0.730 ± 0.006^c
135	0.733 ± 0.011^b
150	0.736 ± 0.011^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.21 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w

อุณหภูมิเก็บรักษา ($^{\circ}\text{C}$)	a_w
15	0.736 ± 0.007^a
อุณหภูมิห้อง	0.733 ± 0.010^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.22 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อ a_w

การเก็บรักษา	a_w					
	อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)					
เดือน	control	100	115	125	135	150
0	0.742 ± 0.004^{abcd}	0.746 ± 0.002^{ab}	0.740 ± 0.002^{cde}	0.732 ± 0.003^{fgh}	0.744 ± 0.002^{abcd}	0.745 ± 0.003^{abc}
2	0.731 ± 0.004^{fghi}	0.729 ± 0.003^{ghi}	0.730 ± 0.003^{fghi}	0.722 ± 0.005^{kl}	0.723 ± 0.007^{kl}	0.721 ± 0.005^l
4	0.739 ± 0.003^{de}	0.739 ± 0.004^{de}	0.741 ± 0.002^{bcd}	0.735 ± 0.002^{ef}	0.739 ± 0.003^{de}	0.747 ± 0.003^a
6	0.732 ± 0.007^{fgh}	0.727 ± 0.008^{hij}	0.731 ± 0.006^{fghi}	0.730 ± 0.003^{fghi}	0.726 ± 0.001^{jk}	0.733 ± 0.002^{fg}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.23 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w

การเก็บรักษา	a_w			
	เดือน 0	เดือน 2	เดือน 4	เดือน 6
15°C	0.741 ± 0.005 ^a	0.728 ± 0.005 ^c	0.740 ± 0.004 ^a	0.733 ± 0.005 ^b
อุณหภูมิห้อง	0.741 ± 0.005 ^a	0.724 ± 0.006 ^d	0.739 ± 0.005 ^a	0.727 ± 0.007 ^{cd}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.24 ผลของอุณหภูมิมอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w

การเก็บรักษา	อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	a_w					
		control	100	115	125	135	150
15		0.737 ± 0.007 ^a	0.737 ± 0.008 ^a	0.737 ± 0.005 ^a	0.731 ± 0.005 ^{ab}	0.737 ± 0.007 ^a	0.737 ± 0.010 ^a
อุณหภูมิห้อง		0.735 ± 0.007 ^{ab}	0.734 ± 0.010 ^{ab}	0.733 ± 0.007 ^{ab}	0.729 ± 0.006 ^b	0.729 ± 0.013 ^b	0.736 ± 0.012 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.25 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อความชื้น

เดือน	ความชื้น (% db)
0	14.85 ± 0.25 ^a
2	14.43 ± 0.19 ^b
4	14.82 ± 0.23 ^a
6	14.46 ± 0.28 ^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.26 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อความชื้น

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความชื้น (% db)
control	14.69 ± 0.18 ^{ab}
100	14.74 ± 0.33 ^a
115	14.64 ± 0.18 ^b
125	14.36 ± 0.16 ^c
135	14.67 ± 0.40 ^{ab}
150	14.73 ± 0.35 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.27 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความชื้น

อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	ความชื้น (% db)
15	14.71 ± 0.27 ^a
อุณหภูมิห้อง	14.57 ± 0.33 ^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.28 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อความชื้น

การเก็บรักษา	ความชื้น (% db)					
	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
เดือน	control	100	115	125	135	150
0	14.86 ± 0.15 ^{bcde}	15.11 ± 0.04 ^a	14.73 ± 0.08 ^{def}	14.41 ± 0.15 ^{hij}	14.98 ± 0.14 ^{ab}	14.98 ± 0.04 ^{ab}
2	14.65 ± 0.05 ^{fg}	14.52 ± 0.15 ^{ghi}	14.58 ± 0.12 ^{fgh}	14.30 ± 0.08 ^j	14.31 ± 0.18 ^j	14.26 ± 0.10 ^j
4	14.77 ± 0.10 ^{cdef}	14.95 ± 0.09 ^{abc}	14.75 ± 0.17 ^{def}	14.51 ± 0.16 ^{ghi}	14.91 ± 0.26 ^{bcd}	15.02 ± 0.12 ^{ab}
6	14.50 ± 0.17 ^{ghi}	14.37 ± 0.19 ^j	14.50 ± 0.21 ^{ghi}	14.23 ± 0.12 ^j	14.50 ± 0.47 ^{ghi}	14.67 ± 0.27 ^{efg}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.29 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความชื้น

การเก็บรักษา	ความชื้น (% db)			
	เดือน 0	เดือน 2	เดือน 4	เดือน 6
15°C	14.85 ± 0.25 ^a	14.51 ± 0.17 ^c	14.84 ± 0.25 ^a	14.65 ± 0.24 ^b
อุณหภูมิห้อง	14.85 ± 0.25 ^a	14.35 ± 0.18 ^d	14.80 ± 0.21 ^a	14.27 ± 0.19 ^d

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.30 ผลของอุณหภูมิมอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความชื้น

การเก็บรักษา	อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	ความชื้น (% db)					
		control	100	115	125	135	150
15		14.74 ± 0.15 ^{ab}	14.82 ± 0.25 ^a	14.69 ± 0.11 ^{ab}	14.38 ± 0.15 ^c	14.82 ± 0.28 ^a	14.81 ± 0.31 ^a
อุณหภูมิห้อง		14.65 ± 0.21 ^{ab}	14.65 ± 0.39 ^{ab}	14.59 ± 0.22 ^b	14.34 ± 0.18 ^c	14.53 ± 0.45 ^{bc}	14.66 ± 0.37 ^{ab}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.31 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

เดือน	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน
0	51.97 ± 6.71 ^c
2	54.12 ± 6.19 ^b
4	55.03 ± 5.94 ^a
6	55.02 ± 6.09 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.32 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน
control	63.36 ± 0.81 ^a
100	43.19 ± 1.62 ^e
115	51.54 ± 2.39 ^d
125	53.60 ± 2.27 ^c
135	56.14 ± 1.05 ^b
150	56.38 ± 1.64 ^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.33 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน
15	53.74 ± 6.24 ^b
อุณหภูมิห้อง	54.33 ± 6.41 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.34 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

การเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
	control	100	115	125	135	150
0	62.44 ± 0.79 ^b	41.23 ± 1.18 ^o	47.97 ± 0.25 ^j	50.62 ± 0.95 ^k	54.91 ± 0.30 ^g	54.63 ± 1.87 ^{gh}
2	63.47 ± 0.61 ^{ab}	43.10 ± 1.09 ⁿ	52.42 ± 0.89 ^l	53.65 ± 1.71 ^{hi}	56.03 ± 0.76 ^{def}	56.09 ± 1.03 ^{de}
4	63.73 ± 0.59 ^a	44.46 ± 1.26 ^m	52.81 ± 1.34 ⁱⁱ	55.08 ± 1.60 ^{efg}	56.77 ± 0.79 ^{cd}	57.30 ± 0.92 ^c
6	63.79 ± 0.44 ^a	43.98 ± 0.71 ^{mn}	52.97 ± 1.72 ^{ll}	55.07 ± 1.10 ^{efg}	56.85 ± 0.89 ^{cd}	57.48 ± 0.70 ^c

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.35 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

การเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน			
	เดือน 0	เดือน 2	เดือน 4	เดือน 6
15°C	51.97 ± 6.78	53.75 ± 6.23	54.61 ± 5.92	54.63 ± 6.02
อุณหภูมิห้อง	51.97 ± 6.78	54.50 ± 6.27	55.44 ± 6.06	55.41 ± 6.26

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.36 ผลของอุณหภูมิมอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน

การเก็บรักษา	อุณหภูมิมอบแห้ง (°C)	เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน				
		control	100	115	125	135
อุณหภูมิมอบแห้ง (°C)	control	100	115	125	135	150
15	63.12 ± 0.72	43.19 ± 1.69	50.96 ± 1.97	53.20 ± 2.14	55.85 ± 0.83	56.11 ± 1.52
อุณหภูมิห้อง	63.59 ± 0.85	43.20 ± 1.60	52.12 ± 2.68	54.01 ± 2.39	56.42 ± 1.18	56.64 ± 1.75

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.37 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

เดือน	ดัชนีความขาว
0	66.05 ± 0.81 ^a
2	65.40 ± 0.82 ^b
4	64.61 ± 0.83 ^c
6	64.21 ± 0.80 ^d

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.38 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ดัชนีความขาว
control	64.49 ± 0.78 ^e
100	66.01 ± 1.03 ^a
115	65.82 ± 0.96 ^b
125	65.16 ± 0.74 ^c
135	64.65 ± 0.63 ^d
150	64.28 ± 0.94 ^f

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.39 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	ดัชนีความขาว
15	65.23 ± 1.02 ^a
อุณหภูมิห้อง	64.91 ± 1.11 ^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.40 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

การเก็บรักษา	ดัชนีความขาว					
	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
เดือน	control	100	115	125	135	150
0	65.48 ± 0.40 ^{efg}	67.32 ± 0.46 ^a	66.70 ± 0.22 ^b	66.07 ± 0.17 ^{cd}	65.50 ± 0.09 ^{efg}	65.21 ± 0.09 ^{gh}
2	64.57 ± 0.49 ⁱ	66.43 ± 0.39 ^{bc}	66.20 ± 0.35 ^{cd}	65.59 ± 0.21 ^{ef}	64.81 ± 0.38 ^{hi}	64.77 ± 0.44 ^{hi}
4	64.09 ± 0.35 ^{kim}	65.12 ± 0.37 ^{gh}	65.87 ± 0.96 ^{de}	64.55 ± 0.25 ^{jk}	64.01 ± 0.17 ^{lm}	64.04 ± 0.18 ^{lm}
6	63.80 ± 0.43 ^m	65.17 ± 0.55 ^{gh}	64.53 ± 0.25 ^{jk}	64.43 ± 0.28 ^{kl}	64.25 ± 0.25 ^{iklm}	63.10 ± 0.85 ⁿ

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ ข.41 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

การเก็บรักษา	ดัชนีความขาว			
	เดือน 0	เดือน 2	เดือน 4	เดือน 6
15°C	66.05 ± 0.81 ^a	65.69 ± 0.77 ^a	64.79 ± 1.01 ^{bc}	64.38 ± 0.41 ^{cd}
อุณหภูมิห้อง	66.05 ± 0.81 ^a	65.10 ± 0.78 ^b	64.44 ± 0.58 ^{cd}	64.04 ± 1.03 ^d

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.42 ผลของอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

การเก็บรักษา	อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	ดัชนีความขาว				
		อุณหภูมิอบแห้ง (°C)				
	control	100	115	125	135	150
15	64.75 ± 0.61 ^{de}	66.02 ± 1.14 ^{ab}	66.16 ± 0.87 ^a	65.16 ± 0.81 ^{cd}	64.76 ± 0.62 ^{de}	64.51 ± 0.70 ^{def}
อุณหภูมิห้อง	64.22 ± 0.86 ^{ef}	66.01 ± 0.94 ^{ab}	65.49 ± 0.95 ^{bc}	65.16 ± 0.69 ^{cd}	64.53 ± 0.64 ^{def}	64.05 ± 1.11 ^f

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.43 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อความเสียหายของข้าวสาร

เดือน	b*
0	9.25 ± 0.51 ^d
2	9.85 ± 0.53 ^c
4	10.31 ± 0.47 ^b
6	10.56 ± 0.51 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.44 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อความเสียหายของข้าวสาร

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	b*
control	9.99 ± 0.65 ^c
100	9.42 ± 0.70 ^e
115	9.70 ± 0.75 ^d
125	10.06 ± 0.62 ^c
135	10.31 ± 0.47 ^b
150	10.48 ± 0.50 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.45 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเสียหายของข้าวสาร

อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	b*
15	9.84 ± 0.64 ^b
อุณหภูมิห้อง	10.14 ± 0.75 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.46 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อความเหลืองของข้าวสาร

การเก็บรักษา	b*					
	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
เดือน	control	100	115	125	135	150
0	9.01 ± 0.30 ^h	8.57 ± 0.03 ^l	8.91 ± 0.15 ^h	9.25 ± 0.02 ^{gh}	9.80 ± 0.04 ^f	9.96 ± 0.04 ^{ef}
2	10.23 ± 0.25 ^{de}	9.09 ± 0.40 ^h	9.46 ± 0.38 ^g	9.78 ± 0.22 ^f	10.23 ± 0.20 ^{de}	10.29 ± 0.24 ^{cde}
4	10.30 ± 0.33 ^{cde}	10.00 ± 0.38 ^{ef}	9.80 ± 0.66 ^f	10.64 ± 0.30 ^{bc}	10.53 ± 0.23 ^{bcd}	10.57 ± 0.14 ^{bcd}
6	10.42 ± 0.34 ^{bcd}	10.02 ± 0.36 ^{ef}	10.61 ± 0.37 ^{bc}	10.58 ± 0.22 ^{bcd}	10.68 ± 0.61 ^b	11.09 ± 0.47 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.47 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

การเก็บรักษา	b*			
	เดือน 0	เดือน 2	เดือน 4	เดือน 6
15°C	9.25 ± 0.52 ^f	9.65 ± 0.54 ^g	10.10 ± 0.53 ^{cd}	10.36 ± 0.30 ^{bc}
อุณหภูมิห้อง	9.25 ± 0.52 ^f	10.04 ± 0.45 ^d	10.51 ± 0.30 ^{ab}	10.77 ± 0.59 ^a

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.48 ผลของอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

การเก็บรักษา	อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	b*				
		อุณหภูมิอบแห้ง (°C)				
	control	100	115	125	135	150
15	9.84 ± 0.55	9.32 ± 0.75	9.42 ± 0.56	9.96 ± 0.58	10.19 ± 0.31	10.32 ± 0.34
อุณหภูมิห้อง	10.14 ± 0.72	9.52 ± 0.66	9.97 ± 0.82	10.17 ± 0.67	10.43 ± 0.57	10.63 ± 0.58

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.49 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

เดือน	2AP (ppm)
0	0.9716 ± 0.2337^a
2	0.6407 ± 0.2462^b
4	0.4464 ± 0.2263^c
6	0.3642 ± 0.2107^d

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.50 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP

อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	2AP (ppm)
control	0.9354 ± 0.3980^a
100	0.6424 ± 0.2762^b
115	0.5771 ± 0.2658^c
125	0.5450 ± 0.2701^d
135	0.4846 ± 0.2363^e
150	0.4499 ± 0.2565^f

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.51 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

อุณหภูมิเก็บรักษา ($^{\circ}\text{C}$)	2AP (ppm)
15	0.7333 ± 0.2576^a
อุณหภูมิห้อง	0.4781 ± 0.3400^b

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.52 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP

การเก็บรักษา	2AP (ppm)					
	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
เดือน	control	100	115	125	135	150
0	1.4547 ± 0.0566 ^a	0.9964 ± 0.0291 ^b	0.9179 ± 0.0100 ^{bc}	0.8954 ± 0.0268 ^{bc}	0.7738 ± 0.0281 ^{cde}	0.7912 ± 0.0400 ^{cd}
2	0.9725 ± 0.2141 ^b	0.6513 ± 0.1995 ^{defg}	0.6069 ± 0.1945 ^{efg}	0.5871 ± 0.2122 ^{fgh}	0.5313 ± 0.1996 ^{ghi}	0.4953 ± 0.1742 ^{ghj}
4	0.7431 ± 0.2634 ^{cdef}	0.5133 ± 0.1903 ^{ghij}	0.4199 ± 0.1689 ^{hijk}	0.3678 ± 0.1409 ^{ijkl}	0.3440 ± 0.1456 ^{ijkl}	0.2900 ± 0.1229 ^{kl}
6	0.5715 ± 0.2825 ^{fgh}	0.4084 ± 0.1897 ^{hijkl}	0.3637 ± 0.1797 ^{ijkl}	0.3295 ± 0.1618 ^{ijkl}	0.2893 ± 0.1451 ^{kl}	0.2229 ± 0.1444 ^l

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.53 ผลของระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP

การเก็บรักษา	2AP (ppm)			
	เดือน 0	เดือน 2	เดือน 4	เดือน 6
15°C	0.9716 ± 0.2362 ^a	0.8226 ± 0.1647 ^b	0.6047 ± 0.1992 ^c	0.5344 ± 0.1592 ^{cd}
อุณหภูมิห้อง	0.9716 ± 0.2362 ^a	0.4588 ± 0.1665 ^d	0.2881 ± 0.1124 ^e	0.1941 ± 0.0704 ^e

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.54 ผลของอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

การเก็บรักษา	2AP (ppm)					
	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	control	100	115	125	135	150
15	1.1062 ± 0.2448 ^a	0.7763 ± 0.1635 ^b	0.7035 ± 0.1630 ^{bc}	0.6644 ± 0.1881 ^{bc}	0.5988 ± 0.1556 ^{bcd}	0.5507 ± 0.1904 ^{cde}
อุณหภูมิห้อง	0.7647 ± 0.4531 ^b	0.5084 ± 0.3043 ^{cde}	0.4507 ± 0.2921 ^{de}	0.4255 ± 0.2915 ^{de}	0.3704 ± 0.2516 ^e	0.3491 ± 0.2794 ^e

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

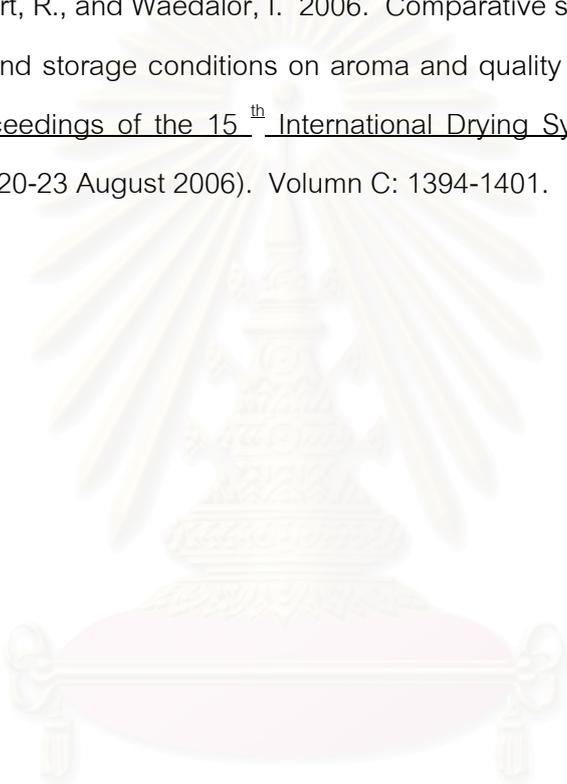
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ค
การนำเสนอผลงานและตีพิมพ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ธีฎญารัตน์ เตชทรัพย์อมร, รัชรา อิมภาประเสริฐ, ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, วรรณฯ ตุลยธัญ และ สุเมธ ต้นตระเถียร. 2006. ผลการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน และอุณหภูมิในการเก็บต่อปริมาณ 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105. Proceedings of the 8th Agro-Industrial Conference: Food Innovation, Bitec Bangna, Bangkok, Thailand. (15-16 มิถุนายน 2545): 8 หน้า. (CD ROM)
2. Borompichaichartkul, C., Wiset, L., Tulayatun, V., Tuntratean, S., Thetsup-amorn, T., Impaprasert, R., and Waedalor, I. 2006. Comparative study of effects of drying methods and storage conditions on aroma and quality attributes of Thai Jasmine rice. Proceedings of the 15th International Drying Symposium (IDS) Budapest Hungary. (20-23 August 2006). Volumn C: 1394-1401.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธัญญารัตน์ เตชทรัพย์อมร เกิดวันที่ 19 ตุลาคม 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (เกียรตินิยมอันดับ 2) ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย