

ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและสารหอม 2-แอสีติล-1-ไพโรโรลีน
และการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา



นายบัณฑิต ลิพัหัตถนรักษ์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3755-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATIONSHIP BETWEEN CHEMICAL COMPOSITION AND THE AROMA COMPOUND,
2-ACETYL-1-PYRROLINE AND CHANGES OF PASTING PROPERTY OF
KHAO DAWK MALI 105 RICE DURING STORAGE

Mr. Bundit Leeraharattanak



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 2005

ISBN 974-17-3755-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและสารหอม 2-แอสีติล-1-ไพโรโรลีนและการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

โดย นายบัณฑิต ลิพัหรัตนรักษ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

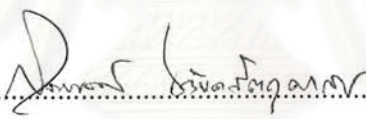
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตุลยธัญ

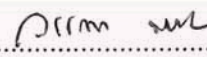
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา
อาจารย์ ดร. ปกรณ์ วรรณสุภากุล

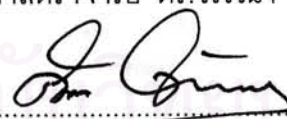
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

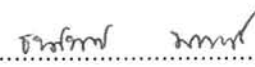
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตุลยธัญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. ปกรณ์ วรรณสุภากุล)


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

บัณฑิต ลิฬหรัตนรักษ์ : ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและสารหอม 2-แอซีทิล-1-ไพร์โรลีน และการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา (RELATIONSHIP BETWEEN CHEMICAL COMPOSITION AND THE AROMA COMPOUND, 2-ACETYL-1-PYRROLINE AND CHANGES OF PASTING PROPERTY OF KHAO DAWK MALI 105 RICE DURING STORAGE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วรรณมา ตุลยธัญ , อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา อ.ดร. ปกรณ์ วรรณศุภากุล 98 หน้า. ISBN 974-17-3755-6.

งานวิจัยนี้แบ่งวัตถุประสงค์ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาผลของพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ที่แตกต่างกัน (42 พื้นที่) ที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP และติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงและรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากผลศึกษาในส่วนที่ 1 พบว่าพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ข้าวที่ปลูกได้มีปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณความชื้น ไขมัน อมัยโลส และโปรตีน) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีพบว่า ปริมาณอมัยโลสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารหอม 2-AP อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การศึกษาในส่วนที่ 2 พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษา ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีปริมาณสารหอม 2-AP และปริมาณความชื้นลดลง ในขณะที่ปริมาณอมัยโลสจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดพบว่า ปริมาณสารหอม 2-AP มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณโปรตีนและปริมาณอมัยโลส แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ bound lipid อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวระหว่างการเก็บรักษาด้วย RVA พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ข้าวมีค่าความหนืดสูงสุด ค่า peak time และ ค่า breakdown ลดลง ในขณะที่ค่า setback จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลของโปรตีน และไขมันที่มีต่อสมบัติเพสติงของข้าว พบว่าการวิเคราะห์ RVA ด้วยการเติมสาร β -mercaptoethanol ลงในข้าวจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีผลทำให้ค่า breakdown สูงขึ้น แต่ค่า setback ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อแยกไขมันอิสระออกจากข้าวจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อแยกทั้งไขมันอิสระและ bound lipid ออกจากข้าว กลับพบว่าค่าความหนืดสูงสุดจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ระยะเวลาในการเก็บรักษายังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และรูปแบบโปรตีนของข้าว โดยพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาจะทำให้ข้าวมีค่า hardness cohesiveness และ chewiness เพิ่มขึ้น ในขณะที่มีค่า adhesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และยังพบว่าโปรตีนของข้าวมีแนวโน้มที่จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....
ปีการศึกษา.....2548.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ฉัตรพรจักษ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....อนันต์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4672315223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : 2-ACETYL-1-PYRROLINE / KHAO DAWK MALI 105/ CHEMICAL

COMPOSITION/ PASTING PROPERTY/ STORAGE

BUNDIT LEERAHARATTANARAK: RELATIONSHIP BETWEEN CHEMICAL COMPOSITION AND THE AROMA COMPOUND, 2-ACETYL-1-PYRROLINE AND CHANGES OF PASTING PROPERTY OF KHAO DAWK MALI 105 RICE DURING STORAGE THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. VANNA TULYATHAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST.PROF. SAKDA JONGKAEWWATTANA, Ph.D., PAKORN VARANUSUPAKUL, Ph.D., 98 pp. ISBN 974-17-3755-6.

The objectives of this research were to study the effect of 42 different areas at Tungkula on chemical compositions and 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) of Khao Dawk Mali 105 (KDML 105) and the relationship between chemical composition and 2-AP content in the rice during storage. In addition, the changes of pasting properties and protein pattern in the rice stored at room temperature were also investigated. The different fields affected 2-AP content and chemical compositions (moisture, crude fat, amylose and protein content) of the rice significantly ($p \leq 0.05$). Pearson correlation analysis between 2-AP and the chemical composition indicated positive correlation between amylose and 2-AP contents ($p \leq 0.05$).

During storage, 2-AP and moisture contents of the rice decreased while amylose content increased ($p \leq 0.05$). Pearson correlation analysis showed negatively correlated of 2-AP content with protein and amylose but positively correlated with bound lipid content significantly ($p \leq 0.05$). Pasting property of the rice by RVA indicated that aging caused peak viscosity, peak time and breakdown decreased while setback values increased significantly ($p \leq 0.05$). Adding β -mercaptoethanol increased peak viscosity and breakdown but decreased setback during storage significantly ($p \leq 0.05$). If free lipid in the rice were removed, peak viscosity increased significantly ($p \leq 0.05$). On the other hand, when both free and bound lipids were removed from the rice, peak viscosity decreased significantly ($p \leq 0.05$). During storage at room temperature for eight months, hardness, cohesiveness and chewiness of the rice increased whilst adhesiveness decreased significantly ($p \leq 0.05$) and molecular size of rice protein increased over time.

Department.....Food Technology....

Field of study.....Food Technology...

Academic year.....2005.....

Student's signature.....*Pa...*.....

Advisor's signature.....*N. Tulyathan*.....

Co-advisor's signature.....*Sakda Jongkae...*.....

Co-advisor's signature.....*Pakorn Varanusupakul*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร. วรธนา ตูลยธัญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ อ.ดร. ปกรณ์ วรานุศุภากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย และคำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างมากกับวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุรพงศ์ นวังคส์ตฤตศาสตร์ และ อ.ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ช่วยเหลือในการติดต่อใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร

ขอขอบพระคุณ ดร.อนวัช สุวรรณกุล ผู้อำนวยการฝ่ายเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณ อ.อานันต์ ผลวัฒนะ นักวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร สำหรับการอนุเคราะห์ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อ.ชุตินพล จงแก้ววัฒนา และนางสาวพุทธลักษณ์ ไชยประภาย เจ้าหน้าที่ประจำฝ่าย Food Quality Assurance Services จากสถาบัน Institute of Food Research and Development (IFRPD) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์

ขอขอบคุณ พี่น้องๆ พี่ๆ น้องๆ ระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับกำลังใจ และน้ำใจที่มีให้ และขอบคุณพี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ สำหรับการอำนวยความสะดวกในการวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ๆ ทุกคนในครอบครัว ที่สนับสนุนด้านการเงิน ให้ความห่วงใย และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	22
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	60
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	70
ภาคผนวก ข.....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ปริมาณองค์ประกอบของเมล็ดข้าวเปลือก5
2.2	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าว (หน่วยน้ำหนักแห้ง)6
2.3	ลักษณะของข้าวสุกที่มีปริมาณอมัยโลสต่างๆกัน8
2.4	ปริมาณของโปรตีนแต่ละชนิดในข้าว8
2.5	ปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันในข้าวกล้อง9
2.6	ปริมาณสารหอม 2-AP ที่พบในข้าวพันธุ์ต่างๆ (หน่วยน้ำหนักแห้ง)11
2.7	การเปลี่ยนแปลงของขนาดโมเลกุลของโปรตีนโอริเซนนิน อมัยโลส อมัยโลเพคติน และ สตาร์ชในข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40°C17
2.8	การเปลี่ยนแปลงของ α -amylase activity ของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่าง การเก็บรักษา20
3.1	ชื่อหมู่บ้าน และอำเภอที่ใช้ปลูกตัวอย่างข้าว23
4.1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารหอม 2-AP ความชื้น ไขมัน อมัยโลส และโปรตีนของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่30
4.2	ช่วงของปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอก มะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่31
4.3	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP กับองค์ประกอบทางเคมี ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 10531
4.4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารหอม 2-AP ความชื้น อมัยโลส โปรตีน free lipid และ bound lipid ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บ รักษา 8 เดือน33
4.5	retention time ของกรดไขมันมาตรฐานแต่ละชนิด40
4.6	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันของข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน42
4.7	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมี ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 10542

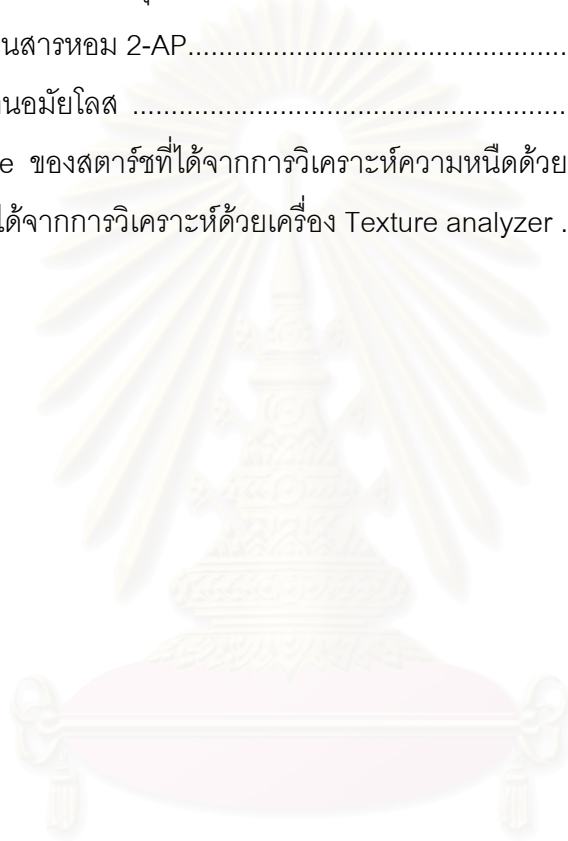
4.8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน ทั้งตัวอย่างควบคุม ที่เติมสาร β -mercaptoethanol ที่แยก free lipid และที่แยกทั้ง free และ bound lipid ออก	45
4.9	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเพสติง กับระยะเวลาในการเก็บรักษาของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105	46
4.10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน	54
4.11	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเนื้อสัมผัส กับปริมาณอมัยโลสของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105	57
ข.1	ปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 จากทุ่งกุลาร้องไห้ 42 พื้นที่ (โดยน้ำหนักแห้ง)	89
ข.2	การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน (โดยน้ำหนักแห้ง)	93
ข.3	ปริมาณของกรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกทั้งที่ได้จาก free lipid และ bound lipid ของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน	94
ข.4	สมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน	95
ข.5	ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 หุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน	97

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว3
2.2	chromatogram ของสารหอมที่ได้จากข้าวหุงสุก10
2.3	โครงสร้างของสารหอม 2-แอสติล-1-ไพโรโรลีน10
2.4	การสกัดสารหอม 2-AP ในข้าวด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรด12
2.5	ปริมาณสารหอม 2-A P ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ภาคต่างๆ ในประเทศไทย13
2.6	ปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกทุ่งนาดินทราย และทุ่งนาดินเหนียว14
2.7	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารหอม 2 - A P ในข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา15
2.8	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง16
2.9	ผลของอุณหภูมิที่ 5, 25 และ 35°C (A) และปริมาณความชื้นที่ 13, 14 และ 15% (B) ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของข้าวขาวระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน16
2.10	กราฟ RVA ของข้าวขาวพันธุ์ <i>Doongara</i> ใหม่ ที่เก็บรักษาไว้ 7 และ 12 เดือน18
2.11	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ n-hexanal ของข้าวระหว่างการเก็บรักษา19
2.12	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ 2-pentyl furan ของข้าวระหว่างการเก็บรักษา19
2.13	การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา ..21
3.1	แผนที่และรหัสของตัวอย่างข้าวที่ได้จากทุ่งนาในแต่ละพื้นที่ของจังหวัดร้อยเอ็ด24
3.2	แผนที่และรหัสของตัวอย่างข้าวที่ได้จากทุ่งนาในแต่ละพื้นที่ของจังหวัดสุรินทร์24
3.3	แผนที่และรหัสของตัวอย่างข้าวที่ได้จากทุ่งนาในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม25
3.4	แผนที่และรหัสของตัวอย่างข้าวที่ได้จากทุ่งนาในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์25
4.1	โครมาโตแกรมของสารหอม 2-AP ของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 10532
4.2	การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนพื้นที่ระหว่างสารหอม 2-AP/TMP ของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน34
4.3	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน36

4.4	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน	36
4.5	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอิมัลไลเซอร์ของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน	37
4.6	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันอิสระ และ bound lipid ของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน	38
4.7	โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่ได้จาก free lipid	41
4.8	โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่ได้จาก bound lipid	41
4.9	โครงสร้างแบบจำลองการจับกันระหว่าง amylose-lipid complex และสารหอม 2-AP	43
4.10	pasting curve ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 (ตัวอย่างควบคุม) ที่แต่ละเวลาในการเก็บรักษา	46
4.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติเพสติงกับระยะเวลาในการเก็บรักษา	47
4.12	สมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ใหม่ (ที่ 0 เดือน) ระหว่างที่ไม่เติม และที่เติมสาร β -mercaptoethanol	49
4.13	การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 เก่า (ที่ตั้งตั้งแต่ 2 เดือนขึ้นไป) ระหว่างที่ไม่เติม และที่เติมสาร β -mercaptoethanol	51
4.14	การเปลี่ยนแปลงค่า breakdown ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างที่ไม่เติม และที่เติมสาร β -mercaptoethanol	51
4.15	การทำลายพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีน เนื่องจากการเติมสาร β -mercaptoethanol	52
4.16	การเปลี่ยนแปลงค่า setback ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างที่ไม่เติม และที่เติมสาร β -mercaptoethanol	52
4.17	การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่แยกไขมันอิสระ และตัวอย่างที่แยกทั้ง free lipid และ bound lipid ออก	54
4.18	การเปลี่ยนแปลงของค่า hardness ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา	55
4.19	การเปลี่ยนแปลงของค่า adhesiveness ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา	56

4.20	การเปลี่ยนแปลงของค่า cohesiveness ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา	56
4.21	การเปลี่ยนแปลงของค่า chewiness ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา	57
4.22	รูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน	59
ก.1	กราฟมาตรฐานสารหอม 2-AP.....	71
ก.2	กราฟมาตรฐานอัมัยโลส	77
ก.3	pasting curve ของสตาร์ชที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA	83
ก.4	กราฟ TPA ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture analyzer	85



บทที่ 1

บทนำ

ข้าวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. เป็นพืชตระกูลหญ้าที่นิยมปลูกมากในแถบทวีปเอเชีย โดยเฉพาะประเทศไทย จีน อินเดีย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น ข้าวจัดเป็นอาหารหลักของชาวเอเชีย ถ้าแบ่งข้าวตามความหอมจะแบ่งได้เป็น 2 พันธุ์คือ ข้าวพันธุ์หอมและข้าวพันธุ์ไม่หอม ซึ่งปัจจุบันผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศต่างนิยมรับประทานข้าวพันธุ์หอมกันมากขึ้น และประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่เป็นแหล่งผลิตข้าวพันธุ์หอมที่สำคัญของโลก โดยข้าวพันธุ์หอมของประเทศไทยที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับในตลาดข้าวของโลกได้แก่ “ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105” (Khao Dawk Mali 105; KDML 105) หรือข้าวหอมมะลิ โดยความนิยมในข้าวหอมมะลิเกิดเนื่องจากข้าวมีสมบัติด้านความหอมมาก มีลักษณะปรากฏที่ดีและมีสมบัติทางด้านการหุงต้มที่ผู้บริโภคต้องการ

สารประกอบที่ให้กลิ่นที่มีความสำคัญในการให้ความหอมในข้าวคือ สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) (Buttery และคณะ, 1982) ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษา คุณภาพด้านความหอมสมบัติทางกายภาพ และเคมีของข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลง จากงานวิจัยของ Wongpornchai และคณะ (2004) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นหอมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าปริมาณสารหอม 2-AP ในตัวอย่างข้าวจะลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าสารหอม 2-AP ในข้าวสามารถเก็บรักษาอยู่ภายในเมล็ดข้าวได้อย่างไร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของข้าว พบว่าโครงสร้างของสตาร์ช โปรตีน และไขมันในข้าวมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว โดยในระหว่างการเก็บรักษา ข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลขององค์ประกอบทางเคมีทั้งสาม เช่น ภายในสตาร์ชเกิดการเกาะกันระหว่าง micelle มากขึ้น หรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสายโมเลกุลของโปรตีน (Moritaka และ Yasumatsu, 1972) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลขององค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวจะส่งผลให้สมบัติเฟสดีง และเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา ศึกษาถึงผลของโปรตีน ไขมัน และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการ

เปลี่ยนแปลงสมบัติพืชดั้งเดิมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 นอกจากนี้ยังศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลง
ของรูปแบบโปรตีนในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจ
ถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา
และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อรักษาคุณภาพข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในอนาคต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

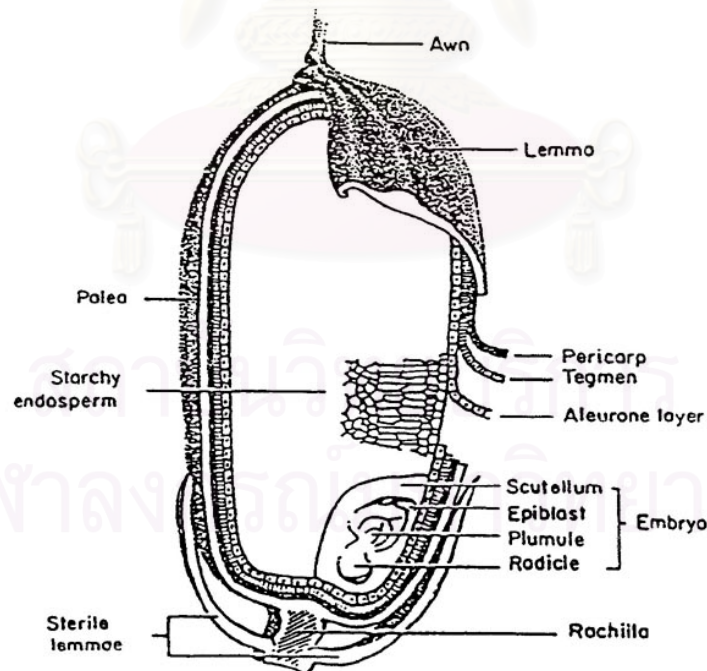
วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชในตระกูลหญ้า (วงศ์ Graminea) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน ส่วนใหญ่เป็นพืชล้มลุก มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) และมีระบบรากฝอย (fibrous root system) เติบโตได้ดีทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่น จัดอยู่ในสกุล *Oryza* ในสกุลนี้มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 23 species เป็นข้าวพันธุ์ป่า 21 species และข้าวพันธุ์ปลูก (cultivated-rice) 2 species ที่บริโภคอยู่ทุกวันนี้ คือ *Oryza glaberrima* Steud. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปแอฟริกาและ *Oryza sativa* L. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปเอเชีย และเป็นข้าวที่เป็นที่รู้จักและยอมรับอย่างกว้างขวาง และทำการผลิตและจำหน่ายกันเกือบทั้งหมดในท้องตลาด รวมทั้งที่ปลูกในประเทศไทย

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ (รูปที่ 2.1) ดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : Juliano (1985)

1. เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก 2 ชนิด (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดไว้ภายใน มีปริมาณเซลลูโลส 25% ลิกนิน 30% เพนโตเซน 15% และเถ้า 21% ซึ่งในส่วนของเถ้าจะเป็นซิลิกาสูงถึง 90%

2. เปลือกหุ้มผล (pericarp) เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ดตามความยาวของเมล็ด ผนังเซลล์ของเปลือกหุ้มเมล็ดมีความหนา 2 ไมโครเมตร มีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงสร้าง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้มีโปรตีน ไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ อีกด้วย

3. เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

ก) เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บางรูปร่างยาวรี อาจมีหลายแถว เซลล์ในชั้นนี้มีสารให้สี (pigment) ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ เปลือกหุ้มเมล็ดมีปริมาณไขมันสูงสามารถป้องกันไม่ให้น้ำเข้าสู่เนื้อเมล็ด ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 5 ถึง 8 ไมโครเมตร

ข) ชั้นเนื้อเยื่อโปร่งแสง (hyaline layer หรือ nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส และยังประกอบด้วยสารให้สีเช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

ค) ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ผนังเซลล์หนา ประกอบด้วยโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ชั้นนี้มีความสำคัญเพราะอุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด โดยเฉพาะวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบี 1 (thiamin) วิตามินบี 2 (riboflavin) และวิตามินบี 3 (niacin) ซึ่งจะพบในชั้นนี้มากกว่าส่วนอื่น

ง) คัพภะ (germ หรือ embryo) คือส่วนที่เรียกว่าจุมูกข้าวซึ่งจะเจริญไปเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด คัพภะประกอบด้วยส่วนที่จะอกเป็นยอดอ่อน (plumule) ส่วนที่จะอกเป็นรากแรกกำเนิด (radicle) ทั้ง 2 ส่วนนี้ยึดติดกันด้วยปล้องที่สั้นมากเรียกว่า มีโซคอติล (mesocotyl) ยอดอ่อนจะห่อหุ้มด้วยลักษณะที่คล้ายใบ เรียกว่า เยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) ส่วนของคัพภะทั้งหมดจะอยู่ในชั้นเนื้อเยื่อแอลิวโรน คัพภะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบที่มีมากคือโปรตีน ไขมัน เอนไซม์ และวิตามิน

จ) เนื้อเมล็ด (endosperm) แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ที่มีผนังบาง มีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่สองคือเนื้อเมล็ด (inner endosperm) ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดกลางเมล็ด เซลล์เหล่านี้เป็นเซลล์ผนังบาง ในเนื้อเมล็ดประกอบด้วยสตาρχและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ สตาρχที่เกิดในผนังเซลล์ของเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกันในเม็ดสตาρχ (starch granule) ซึ่งเม็ดสตาρχของข้าวมี

ขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยม ส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม แต่ก็พบรวมกันเม็ดเดี่ยวเช่นกัน โปรตีนที่พบอยู่ในเม็ดจะอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ช โดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ชั้นติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่

เมล็ดข้าวเปลือกจะมีปริมาณองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบของเมล็ดข้าวเปลือก

องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวเปลือก	ช่วงของปริมาณ (%)
เอนโดสเปิร์ม	66 – 76
เปลือกนอก	18 – 25
เปลือกเมล็ด	4 – 6
คัพภะ	1.5 – 3

ที่มา : Bogdan และ David (2001)

2.1.2 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่ไวต่อแสง ทนต่อสภาพแล้ง ทนต่อดินเปรี้ยว และดินเค็มได้ดี มีกลิ่นหอม ข้าวจะอ่อนนุ่มหลังจากการหุงต้ม ด้วยคุณสมบัติทางด้านกลิ่นหอมและความอ่อนนุ่ม จึงกลายเป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างมากในประเทศไทย การเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ได้คุณภาพดี เมล็ดข้าวต้องแห้ง มีความชื้นไม่เกิน 14% ต้องสะอาดปราศจากสิ่งเจือปน ไม่เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค และแมลงศัตรู ยิ่งางจะต้องสะอาด มีตาข่ายป้องกันนก หนู และศัตรูอื่นๆ อากาศถ่ายเทสะดวก มีหลังคาปิดกันแดดและฝนถ้าเก็บรักษาโดยการบรรจุกระสอบ ควรใช้ไม้รองกระสอบให้สูงจากพื้นประมาณ 5-6 นิ้ว เพื่อป้องกันความชื้นจากพื้นดินหรือซีเมนต์

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

ข้าวกล้อง และข้าวขาวมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยข้าวขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (91%) มากกว่าข้าวกล้อง (88%) แต่มีปริมาณโปรตีน (7.6%) ปริมาณไขมัน (0.5%) ปริมาณเถ้า (0.6%) และเส้นใย (0.3%) น้อยกว่าในข้าวกล้องที่มีอยู่ 8.0, 2.2, 1.0 และ 0.8% ตามลำดับ เนื่องจากในส่วนรำของข้าวกล้องเป็นแหล่งสะสมโปรตีน ไขมัน เถ้าและเส้นใยของเมล็ดข้าว

ตารางที่ 2.2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าว (หน่วยน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
คาร์โบไฮเดรต (%)	88	91
โปรตีน (%)	8.0	7.6
ไขมัน (%)	2.2	0.5
เถ้า (%)	1.0	0.6
เส้นใย (%)	0.8	0.3
ซิลิเนียม (mg/100 g)	50	45
แคลเซียม (mg/100 g)	36	27
ฟอสฟอรัส (mg/100 g)	251	106
เหล็ก (mg/100 g)	1.8	0.9
โซเดียม (mg/100 g)	10	6
โพแทสเซียม (mg/100 g)	243	105
ไอโอดีน (mg/100 g)	4	3
ไทอามีน(mg/100 g)	0.4	0.08
ไรโบฟลาวิน (mg/100 g)	0.05	0.03
ไนอะซิน (mg/100 g)	5	2
พลังงาน (cal/100 g)	405	410

ที่มา : Bogdan และ David (2001)

2.2.1 สตาร์ช (starch)

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ตารางที่ 2.2) สตาร์ชสะสมอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดห้าเหลี่ยมขนาด 3-9 ไมโครเมตร อยู่รวมกันเป็นกลุ่มภายในส่วนอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) ภายในแต่ละอะไมโลพลาสต์จะมีเม็ดสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-60 เม็ด โดยจะมีกลุ่มโปรตีน (protein bodies) แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช

สตาร์ชประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ

1. อมัยโลส (amylose)

ในเมล็ดข้าวมีปริมาณอมัยโลสอยู่ประมาณ 7-33% ของน้ำหนักเมล็ดข้าวหรือประมาณ 8-37% ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (นิธิยา, 2545) โดยอมัยโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวของน้ำตาลกลูโคส ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส หรือหน่วยแอลฟา-ดี-กลูโคไพแรนซิด

ประมาณ 250-2000 หน่วย เรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก α -D(1 \rightarrow 4) โมเลกุลของอัมัยโลส เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสสายยาวที่มีขนาดใหญ่มาก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^6 ดาลตัน อัมัยโลสในสตาร์ชบางชนิดอาจมีพันธะ α -D(1 \rightarrow 6) บ้างเล็กน้อย ประมาณ 0.3-0.5% ของพันธะทั้งหมด

อัมัยโลสไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเติมน้ำลงไป อัมัยโลสจะเกาะตัวกันเป็นตะกอนที่ไม่ละลาย เนื่องจากโมเลกุลของอัมัยโลสจะอยู่ในรูปของ helix จึงมีโอกาที่จะจับคู่กับอัมัยโลสอีก โมเลกุลหนึ่งเป็นสาย helix คู่เกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็น junction zones ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดการตกตะกอนได้

อัมัยโลสสามารถจับกับไอโอดีน โดยจะพันเป็นเกลียว (helical structure) รอบๆ ไอโอดีน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน amylose-iodine complex มีสีน้ำเงิน สีที่เกิดขึ้นจะแปรตามความยาวและจำนวนเกลียวของสายอัมัยโลส นอกจากนี้อัมัยโลสยังสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้อีก เช่น กรดไขมัน สาร surfactants และ polar agent อื่นๆ

2. อัมัยโลเพคติน (amylopectin)

อัมัยโลเพคตินเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในเมล็ดสตาร์ช ประมาณ 70-100% มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายแขนงแยกออกมา ซึ่งแต่ละแขนงจะมีน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20-35 หน่วย ดังนั้นในโมเลกุลของอัมัยโลเพคตินจึงมีทั้งพันธะ α -D(1 \rightarrow 4) และ α -D(1 \rightarrow 6) โดยจุดแยกของสายแขนงมีประมาณ 4-5% ของพันธะทั้งหมด โดยปกติอัมัยโลเพคตินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอัมัยโลสมาก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^6 ถึง 5×10^8 ดาลตัน เมื่ออัมัยโลเพคตินทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนจะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง

อัตราส่วนของอัมัยโลสและอัมัยโลเพคตินจะมีผลต่อการขยายตัวของเมล็ดแป้ง (swelling) ซึ่งสัดส่วนจะแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ของข้าว ทำให้สามารถแบ่งลักษณะของข้าวตามปริมาณอัมัยโลสได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.2.2 โปรตีน

โมเลกุลของโปรตีนเกิดจากกรด แอล-อะมิโนเรียงต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ โดยที่หมู่อะมิโนของกรดอะมิโนชนิดหนึ่งจะเชื่อมต่อกับหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนอีกชนิดหนึ่ง และน้ำ 1 โมเลกุลหลุดออกไป เนื่องจากโปรตีนทุกชนิดเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโน น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนแต่ละชนิดจะผันแปรตามจำนวน และชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล การที่โปรตีนแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันเนื่องจากมีชนิด จำนวน และการเรียงตัวของกรดอะมิโนในสารพอลิเพปไทด์ที่แตกต่างกัน

ในเมล็ดข้าวจะมีปริมาณโปรตีนมากเป็นที่สอง รองลงมาจากคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 2.2) โดยโปรตีนในข้าวจะสะสมอยู่ในรูปของกลุ่มโปรตีน โปรตีนในข้าวที่สำคัญมีด้วยกัน อยู่ 4 ชนิดคือ โปรตีนโอริเซนิน (oryzenin) หรือโปรตีนกลูเตลิน (glutelin) โปรตีนอัลบูมิน (albumin) โปรตีนโกลบูลิน (globulin) และโปรตีนโอริซิน (oryzin) หรือโปรตีนโพรลามิน (prolamin) ซึ่งปริมาณของโปรตีนแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของข้าวสุกที่มีปริมาณอมัยโลสต่างกัน

ปริมาณ amylose (%)	ชนิดข้าว	ลักษณะข้าวสุก
1 – 2	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
2 – 9	ข้าวเจ้าอมัยโลสต่ำมาก	เหนียว , นุ่ม
9 – 20	ข้าวเจ้าอมัยโลสต่ำ	เหนียว , นุ่ม
20 – 25	ข้าวเจ้าอมัยโลสปานกลาง	นุ่ม , ค่อนข้างเหนียว
25 - 33	ข้าวเจ้าอมัยโลสสูง	ร่วน , แข็ง

ที่มา : Juliano (1985)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของโปรตีนแต่ละชนิดในข้าว

ชนิดของโปรตีน	ปริมาณเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด (%)
โปรตีนโอริเซนิน	80
โปรตีนอัลบูมิน	5
โปรตีนโกลบูลิน	10
โปรตีนโอริซิน	5

ที่มา : Charstil และ Zarins (1994)

2.2.3 ไขมัน

ไขมัน เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เฮกเซน เป็นต้น และตัวทำละลายที่มีขั้วเล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และอะซิโตน ไขมันสามารถพบได้ในอาหารทั้งที่มาจากพืช และสัตว์

สำหรับไขมันที่พบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในรูปลักษณะของหยดกลม (lipid droplet) แทรกอยู่ในชั้นแอลิวโรน และคัพภะ สำหรับในส่วนเนื้อเมล็ด ไขมันจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน และสามารถเกิดโครงสร้างร่วมกับสารอื่นได้ หรือที่เรียกว่า bound lipid เมื่อนำไขมันที่สกัดได้มา

วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันพบว่ากรดไขมันหลักในข้าวมีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันในข้าวกล้อง

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณของกรดไขมัน (%)
กรดลอริก	น้อยมาก
กรดไมริสติก	0.4
กรดปาล์มมิติก	20.5
กรดสเตียริก	1.6
กรดโอเลอิก	41.3
กรดไลโนเลอิก	34.6
กรดไลโนเลนิก	1.0
กรดอะราคิดิก	0.6

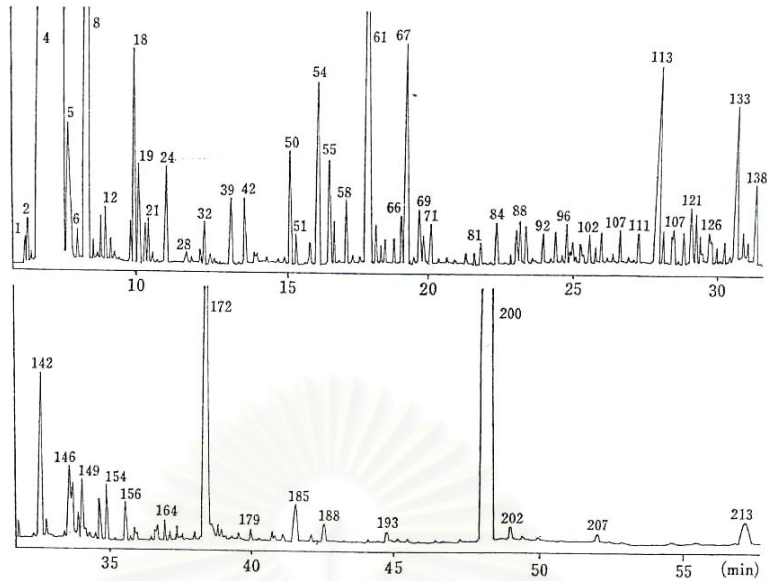
(1) เป็นผลรวมระหว่างร้อยละของกรดปาล์มมิติก และกรดสเตียริก
ที่มา : Lugay และ Juliano (1964)

2.3 สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP)

2.3.1 สมบัติทางเคมี และการวิเคราะห์สารหอม 2-AP ในข้าว

วิธีการตรวจสอบความหอมในเมล็ดข้าวได้มีการพัฒนามาเรื่อยๆ เริ่มตั้งแต่การทดสอบกลิ่นด้วยวิธีการดมโดยผู้เชี่ยวชาญและมีการให้ระดับคะแนนความหอมของข้าวเป็นระดับต่างๆ ตั้งแต่ “ไม่หอม” จนถึง “หอม” และ “หอมมาก” ต่อมาได้มีการศึกษาถึงสารประกอบที่ให้กลิ่นในข้าวด้วยการใช้วิธีการแยกสารประกอบที่ให้กลิ่นด้วย Gas Chromatography และระบุว่าเป็นสารประกอบชนิดใดด้วยวิธี Mass Spectrometry หรือ GC-MS

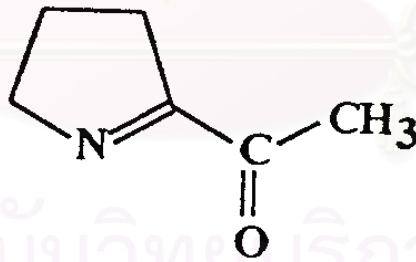
Yajima และคณะ (1978) ได้ศึกษาสารประกอบที่ให้กลิ่นในข้าวหุงสุกโดยการใช้นิเทศน์ที่เรียกว่า “Steam Distillation Continuous Extraction” หรือ SDE ในข้าวหอมพันธุ์ Koshihikari ของญี่ปุ่น และเมื่อวิเคราะห์สารหอมในข้าวหุงสุกด้วย GC-MS ได้ผลดัง chromatogram ในรูปที่ 2.2 ทำให้พบสารระเหยอยู่มากกว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบกลุ่มไฮโดรคาร์บอน 13 ชนิด แอลกอฮอล์ 13 ชนิด อัลดีไฮด์ 16 ชนิด คีโตน 14 ชนิด กรด 14 ชนิด เอสเตอร์ 8 ชนิด ฟีนอล 5 ชนิด ไพรีดีน 3 ชนิด ไพราซีน 6 ชนิด และสารประกอบอื่นอีก 8 ชนิด



รูปที่ 2.2 chromatogram ของสารระเหยที่ได้จากข้าวหุงสุก

ที่มา : Yajima และคณะ (1978)

หลังจากนั้นมีการศึกษาต่อเนื่องจนทราบโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ที่เป็นสารหอมในข้าวครั้งแรก คือสารหอม 2-AP โดยมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.3 และรายงานว่สารหอม 2-AP เป็นสารหอมหลักที่ให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว โดยพบทั้งในข้าวพันธุ์ข้าวหอมและพันธุ์ข้าวไม่หอมบางพันธุ์ (Buttery และคณะ, 1983)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารหอม 2-แอซิติล-1-ไพโรไลน

สารหอม 2-AP เป็นสารหอมระเหยชนิดหนึ่งในกลุ่มเทอร์ปีน (terpene) เป็นสารหอมที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตหลายชนิดทั้งในพืชและสัตว์ นอกจากนี้ยังพบในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ด้วย ได้แก่ ในไบเตย (Buttery และคณะ, 1983) ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Schieberle และ Grosch, 1985) และในกระบวนการหมักโกโก้ด้วยเชื้อจุลินทรีย์ (Romanczyk และ McClelland, 1995)

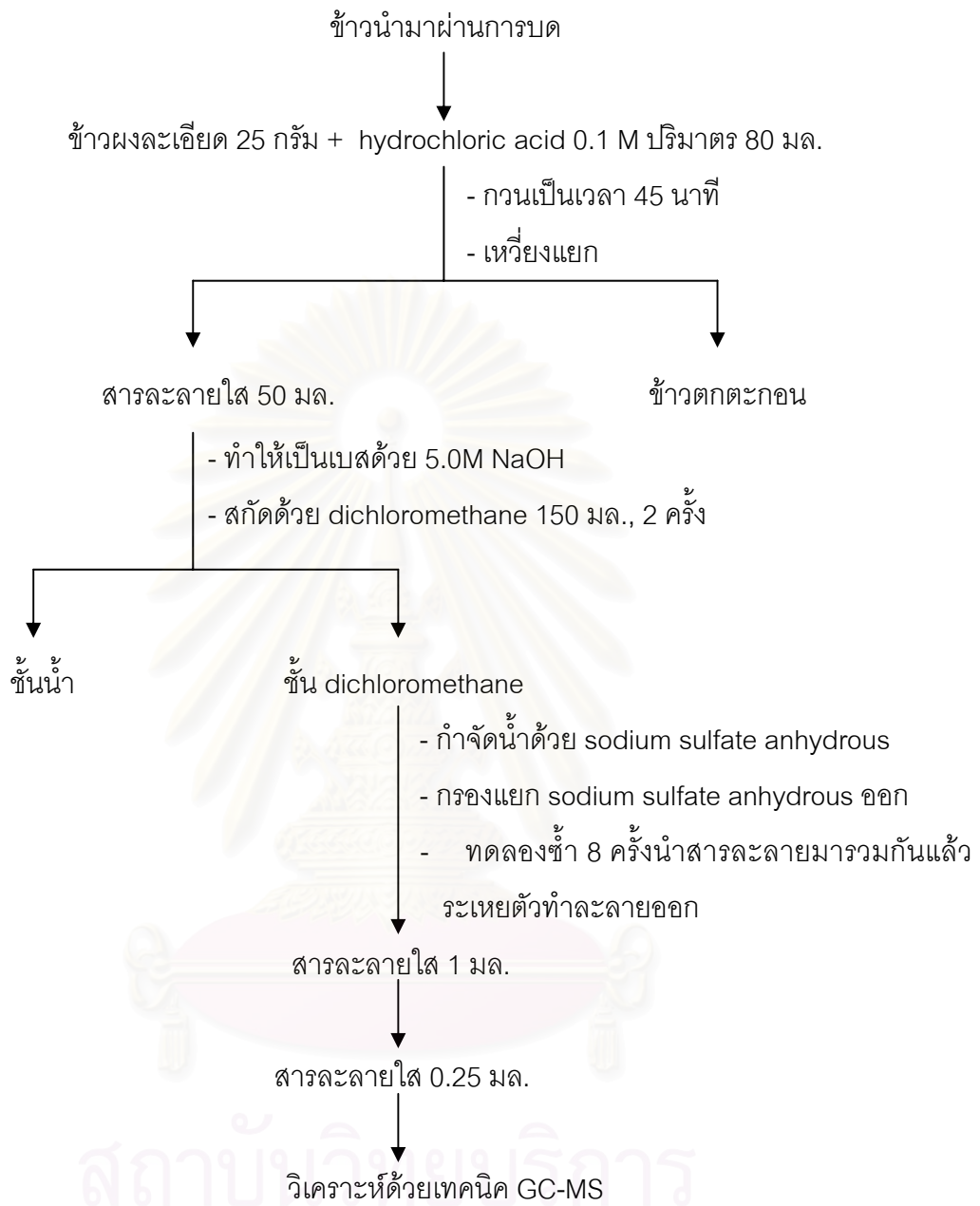
Buttery และคณะ (1983) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ต่างๆ ด้วยวิธี SDE ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณสารหอม 2-AP ที่พบในข้าวพันธุ์ต่างๆ (หน่วยน้ำหนักแห้ง)

พันธุ์ข้าว	ปริมาณของสารหอม 2-AP (ppm)	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
Malagkit Sungsong	0.09	0.2
IR841-76-1	0.07	0.2
Khao Dawk Mali 105	0.07	0.2
Milagrosa	0.07	-
Basmati 370	0.06	0.17
Seratus Malam	0.06	-
Azucena	0.04	0.16
Hieri	0.04	0.1
Texas Long Grain	<0.008	-
Calrose	<0.006	-

ที่มา: Buttery และคณะ (1983)

เนื่องจากการที่สารหอม 2-AP มีสมบัติทางเคมีเหมาะสมที่สามารถถูกสกัดออกมาจากเมล็ดข้าวได้โดยใช้สารละลายกรดอ่อน เช่น acetic acid หรือ hydrochloric acid สุกัญญา (2544) จึงได้ทำการพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP ในข้าวดิบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรด โดยมีวิธีการสกัดดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งตัวอย่างข้าวที่ สุกัญญา (2544) ใช้ในการศึกษามีด้วยกัน 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์หอมพม่า และข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสารหอม 2-AP มากที่สุดคือ 0.352 ppm รองลงมาเป็นพันธุ์หอมพม่าคือ 0.288 ppm และพันธุ์หอมคลองหลวงมีปริมาณสารหอม 2-AP น้อยที่สุดเท่ากับ 0.022 ppm ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP ในข้าวด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรด เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถทำได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP ในตัวอย่างข้าว

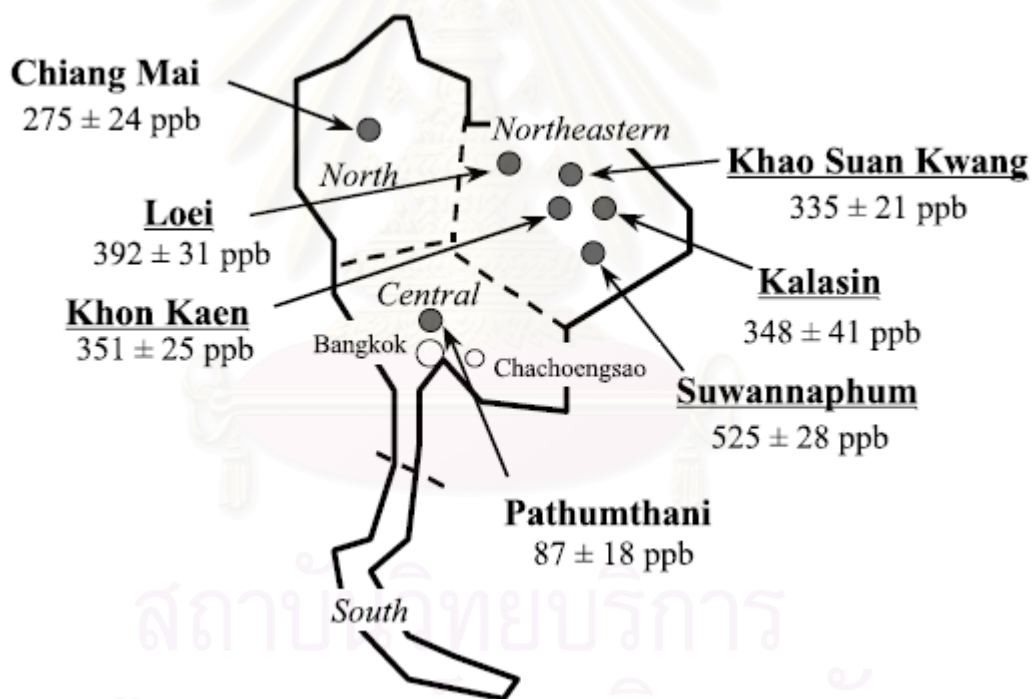


รูปที่ 2.4 การสกัดสารหอม 2-AP ในข้าวดด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรด
ที่มา : สุกัญญา (2544)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพด้านความหอมของข้าวพันธุ์หอม

Singh และคณะ (1997) สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ และความเสถียรของสารหอม 2-AP ในข้าวพันธุ์หอม โดยปัจจัยที่ช่วยส่งเสริม และรักษาสารหอม 2-AP ในข้าวได้แก่ ภาวะอากาศเย็นในช่วงออกดอก และช่วงการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าว การใช้ปุ๋ยคอก สภาพดินที่อุดมสมบูรณ์ มีลักษณะดินที่ร่วนซุย เบา และอยู่บนพื้นที่ดอน มีความชื้นในดินต่ำ และใช้มือในขั้นตอนการแยกแกลบ

Yoshihashi และคณะ (2004) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ภาคต่างๆ ของประเทศไทยจำนวน 7 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ จ.เชียงใหม่ พื้นที่ จ.ปทุมธานี พื้นที่ อ.เมือง และ อ.เขาสนกวาง จ.ขอนแก่น พื้นที่ จ.กาฬสินธุ์ พื้นที่ จ.เลย และ พื้นที่ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด พบว่ามีปริมาณสารหอม 2-AP แตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

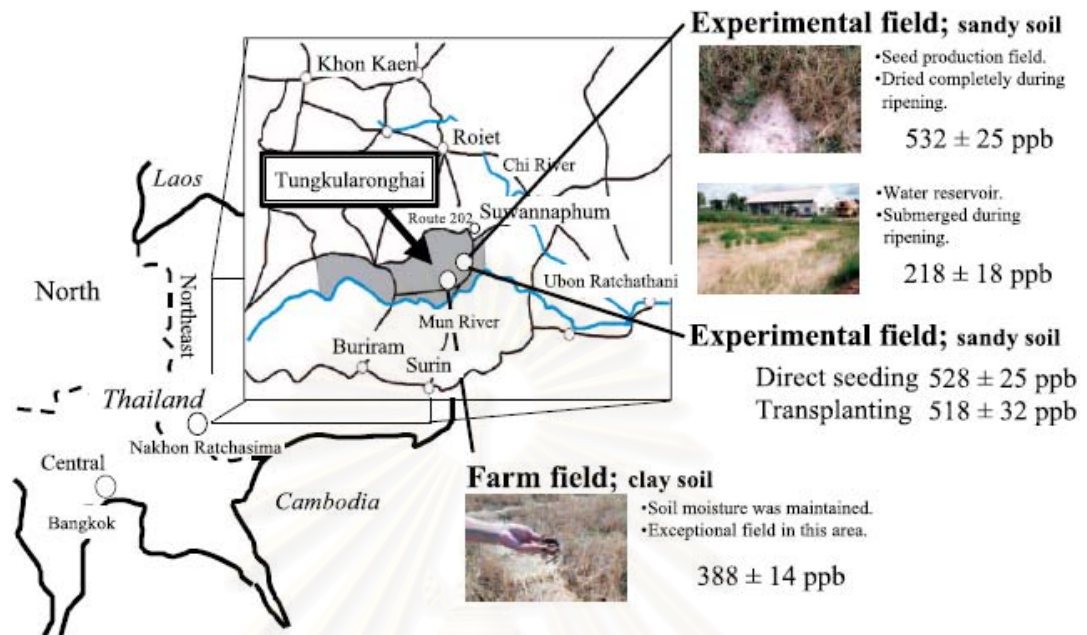


รูปที่ 2.5 ปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ภาคต่างๆ ในประเทศไทย

ที่มา : Yoshihashi และคณะ (2004)

นอกจากนี้ Yoshihashi และคณะ (2004) ยังได้ศึกษาความแตกต่างของปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกระหว่างทุ่งนาดินทราย (sandy soil) และดินเหนียว (clay soil) พบว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งนาดินทรายจะให้ข้าวพันธุ์ข้าว

ดอกมะลิ 105 ที่มีปริมาณสารหอม 2-AP (532 ± 25 ppb) สูงกว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งนาดินเหนียว (388 ± 14 ppb) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกทุ่งนาดินทราย และทุ่งนาดินเหนียว

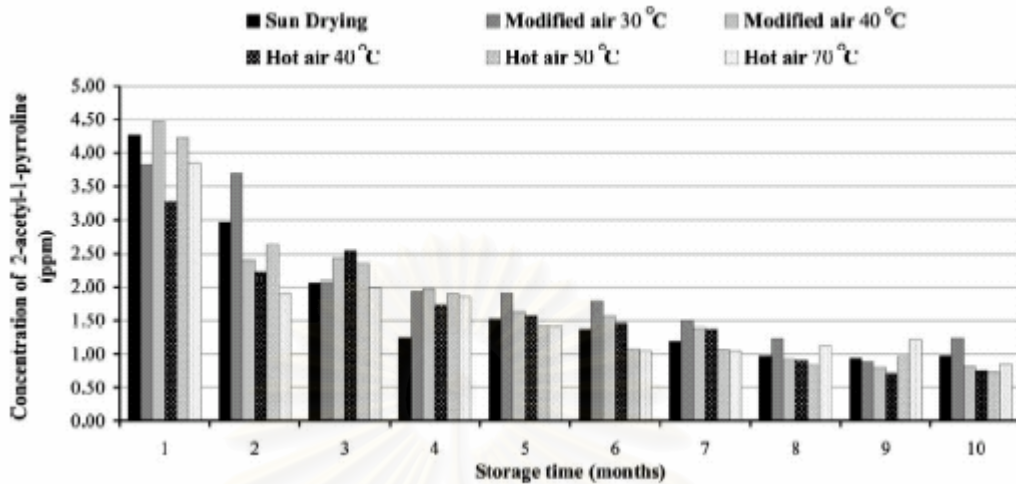
ที่มา : Yoshihashi และคณะ (2004)

2.4 การเปลี่ยนแปลงของข้าวระหว่างการเก็บรักษา

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงสารหอม 2-AP ของข้าวระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของข้าวระหว่างการเก็บรักษา พบว่ากลิ่นหอมหรือปริมาณสารหอม 2-AP ในตัวอย่างข้าวจะลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (งามชื่น, 2545; Wongpornchai และคณะ, 2004; Yoshihashi และคณะ, 2005) เนื่องจากสารหอม 2-AP จะค่อยๆ ระเหยหายไป ดังตัวอย่างงานวิจัยของ Wongpornchai และคณะ (2004) ที่ศึกษาผลของการอบแห้งและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 วิธีการที่ใช้ในการอบแห้งประกอบไปด้วย การอบแห้งด้วย modified air ที่ 30 และ 40°C การอบแห้งด้วย hot air ที่ 40, 50 และ 70°C และการตากแดด จนกระทั่งข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือ 13-15% (น้ำหนักสด) หลังจากนั้นเก็บรักษาข้าวเปลือกในอุณหภูมิ 20-35°C และความชื้นสัมพัทธ์ 70-85% เป็นเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณสารหอม 2-AP ในตัวอย่างข้าวจะลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา และการอบแห้งข้าวเปลือกด้วย

อุณหภูมิสูงจะทำให้ปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวเปลือกลดลงมากกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ ต่ำ แสดงให้เห็นว่าความร้อนที่สูงเป็นปัจจัยที่ทำให้สารหอม 2-AP ระเหยมากขึ้น (รูปที่ 2.7)



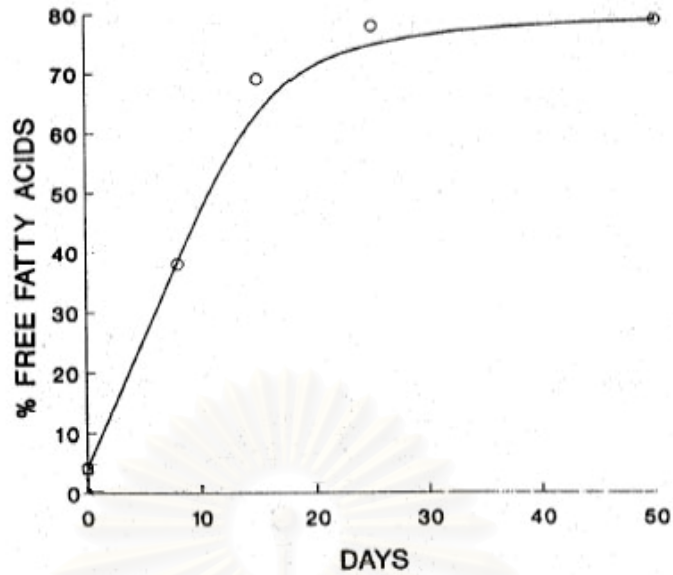
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารหอม 2-AP ในข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

ที่มา: Wongpornchai และคณะ (2004)

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของข้าวระหว่างการเก็บรักษา

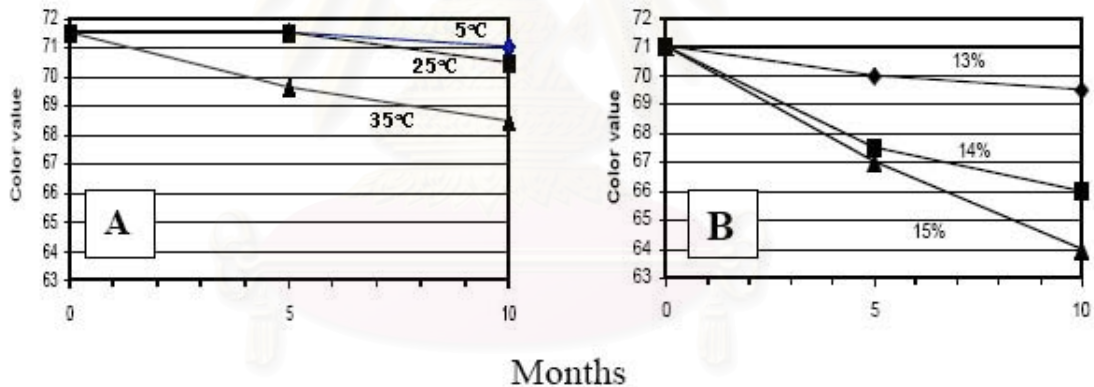
ในระหว่างการเก็บรักษา ข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเคมีกายภาพทั้งที่ ต้องการ และไม่ต้องการ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และภาวะในการเก็บรักษา โดยปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติกายภาพ เคมี และคุณภาพของ ข้าว Viraktamath และ Desikachar (1971) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระใน ข้าวกล้องระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า 30% ของไขมันในข้าวจะถูกเปลี่ยนเป็นกรด ไขมันอิสระภายใน 1 สัปดาห์ ภายใต้ภาวะความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูง ดัง แสดงในรูปที่ 2.8

Barber (1972) ศึกษาผลของอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นที่มีต่อการ เปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน พบว่าข้าวขาวที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 35°C จะมีสีเข้มมากกว่าข้าวขาวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C และ 5°C และข้าวขาวที่มี ปริมาณความชื้นสูง (15% และ 14%) จะมีสีเข้มมากกว่าข้าวขาวที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (13%) ดัง แสดงในรูปที่ 2.9 และในระหว่างการเก็บรักษาข้าวขาวจะมีสีเข้มขึ้น ทั้งนี้เกิดเนื่องจากการ เกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ของกรดอะมิโน และคาร์โบไฮเดรตที่มีในข้าว



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง

ที่มา: Viraktamath และ Desikachar (1971)



รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิที่ 5, 25 และ 35°C (A) และปริมาณความชื้นที่ 13, 14 และ 15% (B) ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของข้าวขาวระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน

ที่มา: Barber (1972)

Chrastil (1990b) รายงานว่าปริมาณโปรตีนทั้งหมดในข้าวจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา แต่สมบัติทางเคมีของโปรตีนสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยจากการทดลองเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 1 ปี พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนโอริเซนิน (oryzenin) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดโมเลกุลของอัมัยโดเพคตินจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดโมเลกุลของอัมัยโดสมีค่าลดลง (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของขนาดโมเลกุลของโปรตีนโอริเซนนิน อมัยโลส อมัยโลเพคติน และสตาร์ชเฉลี่ยในข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 40°C

Rice	Mx10 ^{5 (1)}	Rice	Mx10 ⁵
Oryzenin (protein)		Amylopectin	
medium-grain rice		medium-grain rice	
control	1.03	control	29.9
4 C	1.12	4 C	31.0
40 C	2.01	40 C	32.0
long-grain rice		long-grain rice	
control	1.22	control	25.2
4 C	1.44	4 C	25.6
40 C	2.01	40 C	31.2
Amylose		Starch	
medium-grain rice		medium-grain rice	
control	1.24	control	24.9
4 C	1.18	4 C	25.3
40 C	1.03	40 C	27.5
long-grain rice		long-grain rice	
control	1.55	control	19.7
4 C	1.46	4 C	20.3
40 C	1.10	40 C	22.7

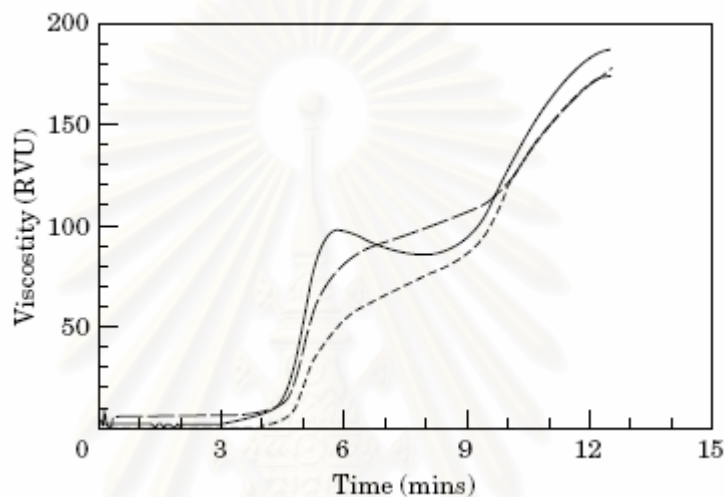
(1) MX10⁵ คือ ขนาดโมเลกุลเฉลี่ย ×10⁵ ดาลตัน

ที่มา : Chrastil (1990b)

ระยะเวลาในการเก็บรักษาก็มีผลทำให้สมบัติเพสติงของข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง โดย Shibuya และ Iwasaki (1984) รายงานว่าค่าความหนืดสูงสุด และค่า breakdown ของข้าว จะมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่ 7 และ 12 เดือนดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งการลดลงของค่าความหนืดสูงสุดของข้าวแสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชของข้าวเก่าจะมีความต้านทานต่อการขยายตัวมากกว่าข้าวใหม่

Zhou และคณะ (2003) ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมัน และกรดไขมันอิสระในข้าวระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 37°C เป็นเวลา 4 และ 7 เดือน พบว่ากรดไขมันหลักในข้าวได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก และพบว่าข้าวกล้องจะมีปริมาณกรดไขมันทั้งหมดสูงกว่าข้าวขาวประมาณ 3 เท่า โดยในข้าวกล้องจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) อยู่ใน free lipid สูงกว่าใน bound lipid ในขณะที่ข้าวขาวจะมีปริมาณกรดไขมันที่อิ่มตัว (saturated fatty acid) ใน bound lipid มากกว่าใน free lipid และจากการศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวที่มีต่อองค์ประกอบของกรดไขมันพบว่าปริมาณกรดไลโนเลอิกของ free lipid มีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณ กรดไล

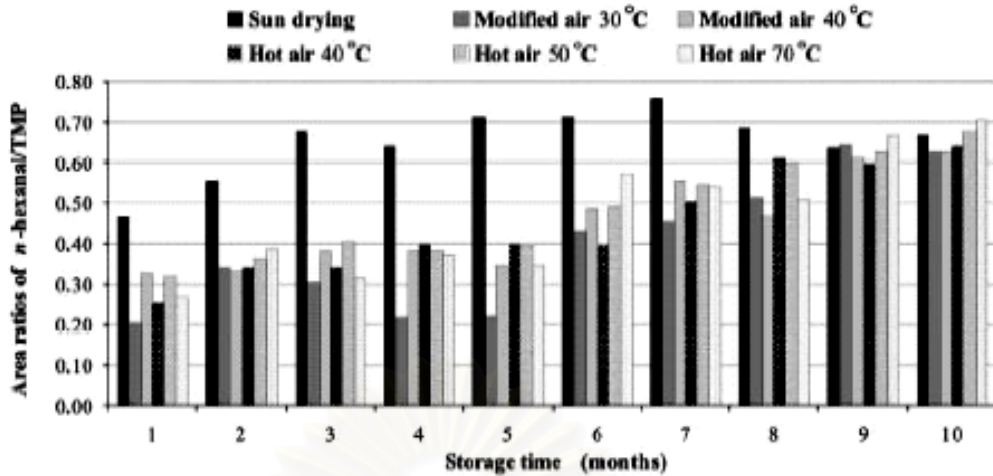
โมเลกุลของ bound lipid มีค่าคงที่แสดงให้เห็นว่า bound lipid มีความเสถียรในระหว่างการเก็บรักษามากกว่า free lipid เมื่อศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวทั้ง 3 พันธุ์พบว่า free lipid มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าใน bound lipid โดยใน free lipid มีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ส่วน bound lipid มีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นจึงทำให้กรดไขมันใน free lipid มีความเสถียรต่ำกว่าใน bound lipid เนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวใน bound lipid จะไปเกิดเป็นโครงสร้าง amylose-lipid complex ที่มีความคงตัวจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา



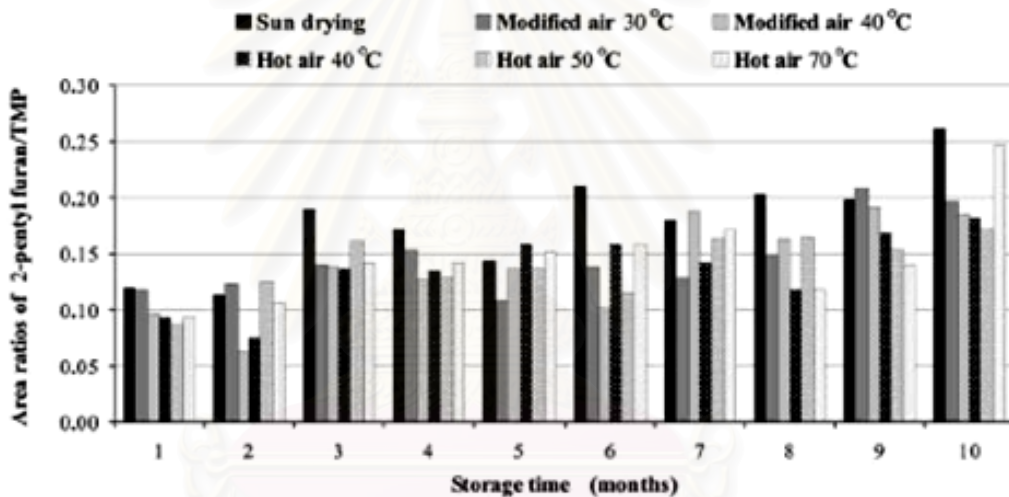
รูปที่ 2.10 กราฟ RVA ของข้าวขาวพันธุ์ Doongara ใหม่(—) ที่เก็บรักษาไว้ 7 เดือน (- -) และ 12 เดือน (---)

ที่มา: Shibuya และ Iwasaki (1984)

ในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ไขมันในข้าวจะถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น แล้วกรดไขมันอิสระจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นสารประกอบ hydroperoxides ทำให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่น off-flavour ในข้าว สารเหล่านี้ได้แก่ สารประกอบคาร์บอนิล n-hexanal และ 2-pentyl furan เพิ่มขึ้น (Yasumatsu และคณะ, 1966 ; Wongpornchai และคณะ, 2004 Yoshihashi และคณะ, 2005) ส่งผลให้ข้าวเก่าเกิดกลิ่นหืน งานวิจัยของสุกัญญา และคณะ (2004) ที่ศึกษาผลของการอบแห้ง และระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ n-hexanal และ 2-pentyl furan ในข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณ n-hexanal และ 2-pentyl furan ของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา และการใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้งข้าวเปลือกจะเป็นการเพิ่มปริมาณ n-hexanal และ 2-pentyl furan ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นของข้าวลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12



รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ n-hexanal ของข้าวระหว่างการเก็บรักษา
ที่มา: Wongpornchai และคณะ (2004)



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ 2-pentyl furan ของข้าวระหว่างการเก็บรักษา
ที่มา: Wongpornchai และคณะ (2004)

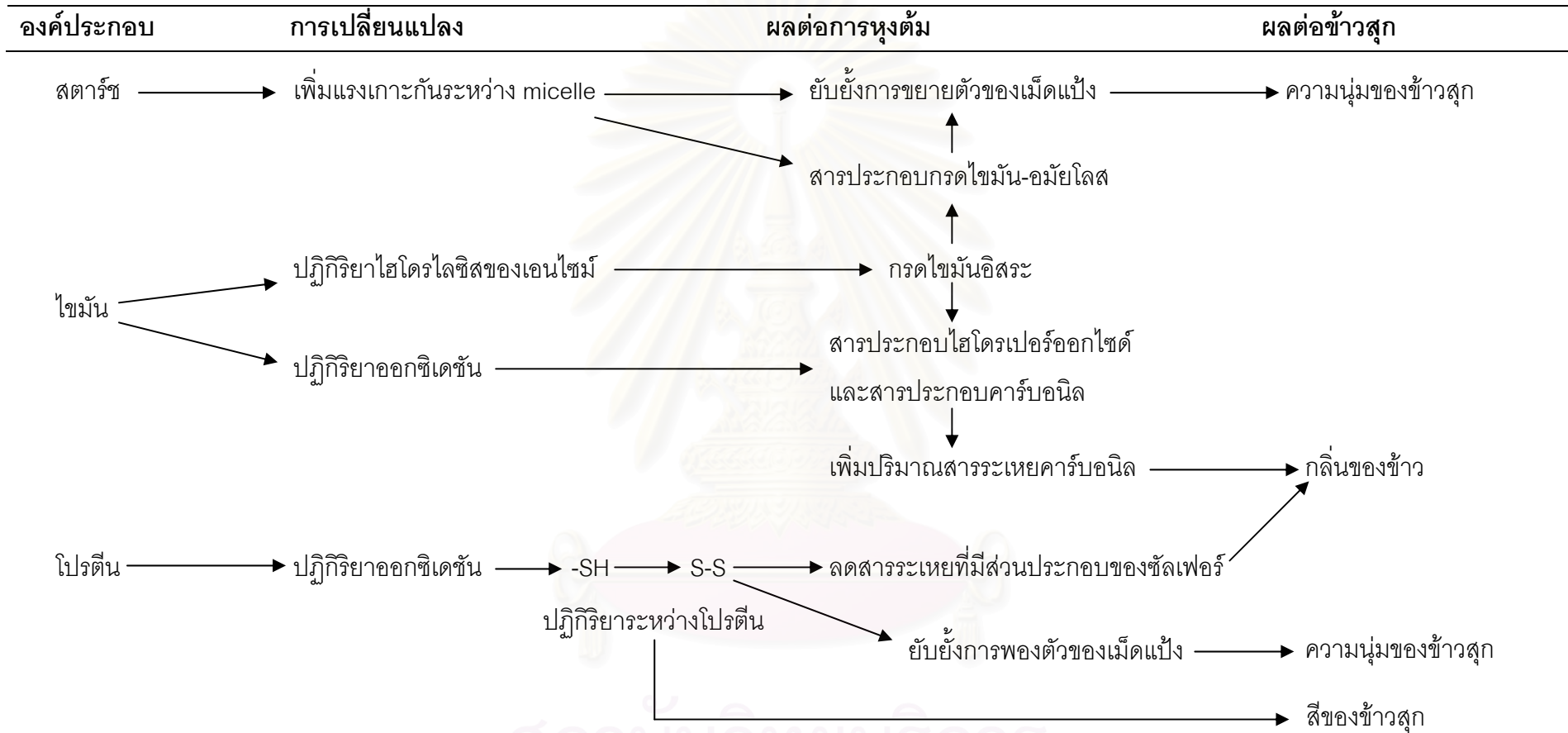
การทำงานของเอนไซม์จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในข้าวระหว่างการเก็บรักษา โดยจิรศักดิ์และคณะ (2547) ศึกษาแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C เป็นเวลา 7 เดือน พบว่าแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.94 U/100 กรัมข้าว เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 7 เดือนพบว่าแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C จะมีค่าเท่ากับ 7.78 และ 9.57 U/100 กรัมข้าว ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 7 และ 9 เท่าของค่าแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เริ่มต้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)	α -amylase activity (U/100 กรัมข้าว)	
	25°C	37°C
0	0.94±0.01	0.94±0.01
1	0.91±0.01	1.42±0.13
2	1.14±0.01	1.93±0.11
3	2.84±0.08	3.33±0.06
4	5.01±0.01	4.73±0.02
5	5.13±0.13	6.07±0.01
6	6.27±0.12	7.48±0.31
7	7.78±0.12	9.57±0.13

ที่มา : จิรศักดิ์และคณะ (2547)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษาดังที่กล่าวข้างต้น เกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ สตาร์ช ไขมัน และโปรตีน ซึ่งสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลง และหาความสัมพันธ์ระหว่างสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา และศึกษาถึงผลของโปรตีน และไขมันที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา

ที่มา : Moritaka และ Yasumatsu (1972)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

3.1.1 ศึกษาความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งกุลาร้องไห้พื้นที่แตกต่างกัน

งานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งกุลาร้องไห้จำนวน 42 พื้นที่

3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี สารหอม 2-AP สมบัติเพสติง และรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ก. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

งานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP กับองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณอมัยโลส ปริมาณ free lipid และ bound lipid และองค์ประกอบของกรดไขมันของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ข. ศึกษาผลของไขมัน โปรตีนและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105

งานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของไขมัน โปรตีน และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ โดยวิเคราะห์สมบัติเพสติงด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA)

ค. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

งานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง texture analyzer

ง. **ศึกษารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส (SDS-PAGE) แบบ
มิติเดียว ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105ระหว่างการเก็บรักษา**

งานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบโปรตีนในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส (SDS-PAGE) แบบมิติเดียว ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

3.2 วัตถุประสงค์

3.2.1 ตัวอย่างข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งกุลาร้องไห้จำนวน 42 พื้นที่

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการศึกษาในส่วนนี้ เป็นตัวอย่างข้าวกลั่นพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้จำนวน 42 พื้นที่ (หมู่บ้าน และอำเภอละ 3 พื้นที่) เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงกลางเดือนพฤศจิกายน 2546 โดยชื่อหมู่บ้าน และอำเภอที่ใช้ปลูกตัวอย่างข้าว ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และจากการสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต(<http://www.panteethai.com>) ได้แผนที่หมู่บ้าน และอำเภอที่ใช้ปลูกตัวอย่างข้าวดังแสดงในรูปที่ 3.1 3.2 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.1 ชื่อหมู่บ้าน และอำเภอที่ใช้ปลูกตัวอย่างข้าว

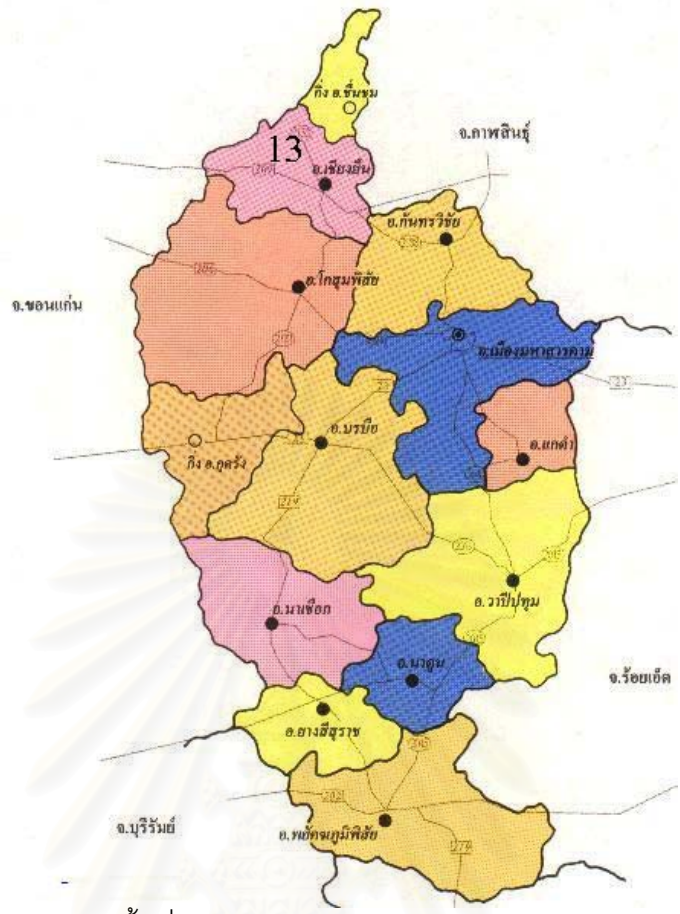
หมายเลขรหัส	ชื่อหมู่บ้าน และอำเภอที่ใช้ปลูกตัวอย่างข้าว
1	อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด
2	อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด
3	อ.เมืองสรวง จ.ร้อยเอ็ด
4	บ้านงูเห่า อ.จตุรพักตรพิมาน จ.ร้อยเอ็ด
5	บ้านฝ้าย อ.จตุรพักตรพิมาน จ.ร้อยเอ็ด
6	อ.เกษตรวิสัย จ.ร้อยเอ็ด
7	อ.อาจสามารถ จ.ร้อยเอ็ด
8	อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด
9	อ.ปทุมรัตน์ จ.ร้อยเอ็ด
10	อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด
11	อ.ท่าตูม จ. สุรินทร์
12	อ.ชุมพลบุรี จ.สุรินทร์
13	อ.เขียงยืน จ.มหาสารคาม
14	อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์



รูปที่ 3.1 แผนที่ และรหัสของพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ในจังหวัดร้อยเอ็ด



รูปที่ 3.2 แผนที่ และรหัสของพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ในจังหวัดสุรินทร์



รูปที่ 3.3 แผนที่ และรหัสของพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ในจังหวัดมหาสารคาม



รูปที่ 3.4 แผนที่ และรหัสของพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ในจังหวัดกาฬสินธุ์

3.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี กลิ่นหอม สมบัติเพสติง และรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการศึกษาในส่วนนี้ เป็นตัวอย่างข้าวกล้อง และข้าวขาวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่เพาะปลูกแบบนาปีในพื้นที่ทุ่งกุลารดทราย อ.เมือง จ.สุรินทร์ เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงวันที่ 25-26 พฤศจิกายน 2547 ปริมาณ 30 กิโลกรัม

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งกุลารดพื้นที่แตกต่างกัน

ออกแบบการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ตัวแปรในการทดลองคือ พื้นที่ปลูกข้าวจำนวน 42 พื้นที่ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า least significant differences (LSDs) โดยนำข้าวเปลือกสดพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ได้จากทุ่งกุลารดพื้นที่แตกต่างกัน จำนวน 42 พื้นที่ (ข้อ 3.2.1) มาสีเป็นข้าวกล้อง แล้วบรรจุในถุงพลาสติกภายใต้ภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาในภาวะแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20°C แล้วจึงนำตัวอย่างข้าวกล้องมาวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

- (1) วิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรดตามวิธีของ Wongpornchai และคณะ (2003) ดังแสดงในภาคผนวก ก.1
- (2) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยวิธีอบแห้งในตุ้มร้อน ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ก.2
- (3) วิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent Extraction) ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ก.3
- (4) วิเคราะห์ปริมาณนอัมย์โลสด้วยวิธี spectrophotometry ตามวิธีของ Juliano (1982) ดังแสดงในภาคผนวก ก.5
- (5) วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ก.4

3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี กลิ่นหอม สมบัติเพสติง และรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ก. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ออกแบบการทดลองแบบ CRD ตัวแปรในการทดลองคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าว 8 เดือน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า least significant differences (LSDs) โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 (ข้อ 3.2.2) มาบรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน (polypropylene; PP) หนา 0.06 มิลลิเมตร ถุงละ 100 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แล้วสุ่มตัวอย่างข้าวทุกๆ เดือน เป็นเวลา 8 เดือน เพื่อวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

- (1) วิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP (เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1)
- (2) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1)
- (3) วิเคราะห์ปริมาณอมัยโลส (เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1)
- (4) วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method (เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1)
- (5) วิเคราะห์ปริมาณ free lipid และ bound lipid ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย ดัดแปลงจากวิธีของ Vasanthan และ Hoover (1992a), A.O.C.S. (1993) และ Zhou และคณะ (2003) ดังแสดงในภาคผนวก ก.6
- (6) วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี ดัดแปลงจากวิธีของ Vasanthan และ Hoover (1992a), A.O.C.S. (1993) และ Zhou และคณะ (2003) ดังแสดงในภาคผนวก ก.6

จ. ศึกษาผลของไขมัน โปรตีนและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105

ออกแบบการทดลองแบบ 6x4 Factorial in CRD ตัวแปรในการทดลองคือ

1. ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าว 0, 2, 4, 6, 7 และ 8 เดือน
2. ตัวอย่างแบ่งที่ใช้ในการศึกษา 4 ชนิด ได้แก่
 - 2.1 ตัวอย่างแบ่งข้าวควบคุม
 - 2.2 ตัวอย่างแบ่งข้าวที่เติมสาร β -mercaptoethanol
 - 2.3 ตัวอย่างแบ่งข้าวที่แยก free lipid ออก (ภาคผนวก ก.7)
 - 2.4 ตัวอย่างแบ่งข้าวที่แยกทั้ง free lipid และ bound lipid ออก (ภาคผนวก ก.7)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า least significant differences (LSDs) โดยนำตัวอย่างข้าวขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ข้อ 3.2.2) มาบรรจุใส่ถุงพลาสติก PP หนา 0.06 มิลลิเมตร ถุงละ 100 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน แล้วจึงสุ่มตัวอย่างข้าวที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 7 และ 8 เดือน วิเคราะห์สมบัติเพสติงด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) ดังแสดงในภาคผนวก ก.8

ข. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ออกแบบการทดลองแบบ CRD ตัวแปรในการทดลองคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าว 8 เดือน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า least significant differences (LSDs) โดยนำตัวอย่างข้าวขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ข้อ 3.2.2) มาบรรจุใส่ถุงพลาสติก PP หนา 0.06 มิลลิเมตร ถุงละ 100 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แล้วสุ่มตัวอย่างข้าวทุกๆ เดือน เป็นเวลา 8 เดือน นำมาหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วย Texture Profile Analysis (TPA) โดยใช้เครื่อง texture analyzer ดังแสดงในภาคผนวก ก.9

ค. ศึกษาารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส (SDS-PAGE) แบบมิติเดียว ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

นำตัวอย่างข้าวขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ข้อ 3.2.2) มาบรรจุใส่ถุงพลาสติก PP หนา 0.06 มิลลิเมตร ถุงละ 100 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน แล้วจึงสุ่มตัวอย่างข้าวที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 7 และ 8 เดือน หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างที่เตรียมได้มาสกัดโปรตีน (ภาคผนวก ก.10) และศึกษารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส (SDS-PAGE) แบบมิติเดียว ดังแสดงในภาคผนวก ก.11

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งกุลาร้องไห้พื้นที่แตกต่างกัน

งานวิจัยส่วนนี้ศึกษาถึงผลความแตกต่างของพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้จำนวน 42 พื้นที่จากทั้งหมด 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 30 พื้นที่ จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 6 พื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 3 พื้นที่ และจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 3 พื้นที่ รวมเป็น 42 พื้นที่ โดยตลอดระยะเวลาในการเพาะปลูกมีการควบคุมชนิดและปริมาณของปุ๋ยที่ใช้กับข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่ให้เหมือนกัน เมื่อนำข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เพาะปลูกได้ทั้ง 42 พื้นที่มาวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันทั้งหมด ปริมาณอิมัลไลต์ และปริมาณโปรตีน พบว่าพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ที่แตกต่างกันทั้ง 42 พื้นที่มีผลทำให้ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เพาะปลูกได้มีปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.1) โดยช่วงของปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 4.2

การที่พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เพาะปลูกได้มีปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน อาจเกิดเนื่องจากทุ่งกุลาร้องไห้แต่ละพื้นที่ที่ใช้ปลูกข้าวมีความแตกต่างกันทางด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ สภาพอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ปลูกข้าว เช่น แร่ธาตุ สารอาหาร ปริมาณเกลือหรือ ปริมาณความชื้นในดิน เป็นต้น และจากผลการทดลองจะเห็นว่าตัวอย่างข้าวทั้ง 42 พื้นที่จะมีค่าปริมาณความชื้นสูง (ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้เกิดจากการที่ตัวอย่างข้าวเปลือกทั้ง 42 พื้นที่หลังการเก็บเกี่ยวไม่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งก่อนการสี นอกจากนี้การที่ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่ที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน เกิดเนื่องจากในช่วงของการเก็บเกี่ยวตัวอย่างข้าวทั้ง 42 พื้นที่ต้องใช้เวลาในการเก็บเกี่ยวนาน ดังนั้นจึงทำให้ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่ มีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ความแก่-อ่อนของข้าวแตกต่างกัน โดยข้าวที่เก็บเกี่ยวเร็วจะมีปริมาณความชื้นสูงกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวช้า ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวก็สอดคล้องกับรายงานการวิจัยดังต่อไปนี้

ความหอม ความนุ่ม ความเลื่อมมัน การเกาะตัว และความขาวของข้าวหอมมะลิจะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในดินที่ใช้เพาะปลูก นั่นคือ ดินที่เหมาะสมกับเมล็ดข้าวหอมมะลิจะต้องมีแร่ธาตุไนโตรเจนต่ำ (Suwanarit และคณะ, 1996)

Singh (2001) รายงานว่าข้าวขาวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยมีปริมาณสารหอม 2-AP ที่สูงกว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มาจากภูมิภาคอื่นๆ แม้ว่าจะไม่ได้มีการทดลองเพื่อศึกษาถึงสาเหตุ แต่นักวิจัยเชื่อว่าปริมาณสารหอม 2-AP ในข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูก ชนิดของดิน และปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูก

Yoshihashi และคณะ (2004) ได้รายงานปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ได้แก่ พื้นที่ อ.เมือง จ.ขอนแก่น (351 ppb) อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น (335 ppb) พื้นที่ จ.กาฬสินธุ์ (348 ppb) พื้นที่ จ.เลย (392 ppb) และพื้นที่ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด (525 ppb) (รูปที่ 2.5)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารหอม 2-AP ความชื้น ไขมัน อมัยโลส และโปรตีนของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่

แหล่งความแปรปรวน	ปริมาณสารหอม 2-AP	ปริมาณความชื้น	ปริมาณไขมัน	ปริมาณอมัยโลส	ปริมาณโปรตีน
พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้	*	*	*	*	*
CV (%)	14.23	2.71	4.00	0.81	2.82

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำผลการทดลองของทั้ง 42 พื้นที่ดังกล่าว มาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP กับองค์ประกอบทางเคมีทั้ง 4 ด้วย Pearson correlation ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยพบว่าปริมาณอมัยโลสที่ได้จากข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารหอม 2-AP อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันทั้งหมด และปริมาณโปรตีน ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารหอม 2-AP ($p > 0.05$) แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่ปริมาณอมัยโลสเริ่มต้นของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จะมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณสารหอม 2-AP เริ่มต้น โดยจากผลความสัมพันธ์เชิงบวกแสดงว่าถ้าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณอมัยโลสเริ่มต้นสูง ก็มีความเป็นไปได้ที่ปริมาณสารหอม 2-AP เริ่มต้นจะสูงด้วย

ตารางที่ 4.2 ช่วงของปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่

ค่าสังเกต	ช่วงของปริมาณองค์ประกอบ
ปริมาณสารหอม 2-AP (ppm)	1.35-5.17
ปริมาณความชื้น (%น้ำหนักแห้ง)	17.19-30.88
ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง)	3.52-5.71
ปริมาณอมัยโลส (%น้ำหนักแห้ง)	12.44-16.81
ปริมาณโปรตีน (%น้ำหนักแห้ง)	8.59-15.90

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP กับองค์ประกอบทางเคมีในข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105

รูปแบบความสัมพันธ์	ค่า Pearson correlation
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณความชื้น	-0.159 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณไขมัน	-0.234 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณอมัยโลส	0.313*
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณโปรตีน	0.079 ^{NS}

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

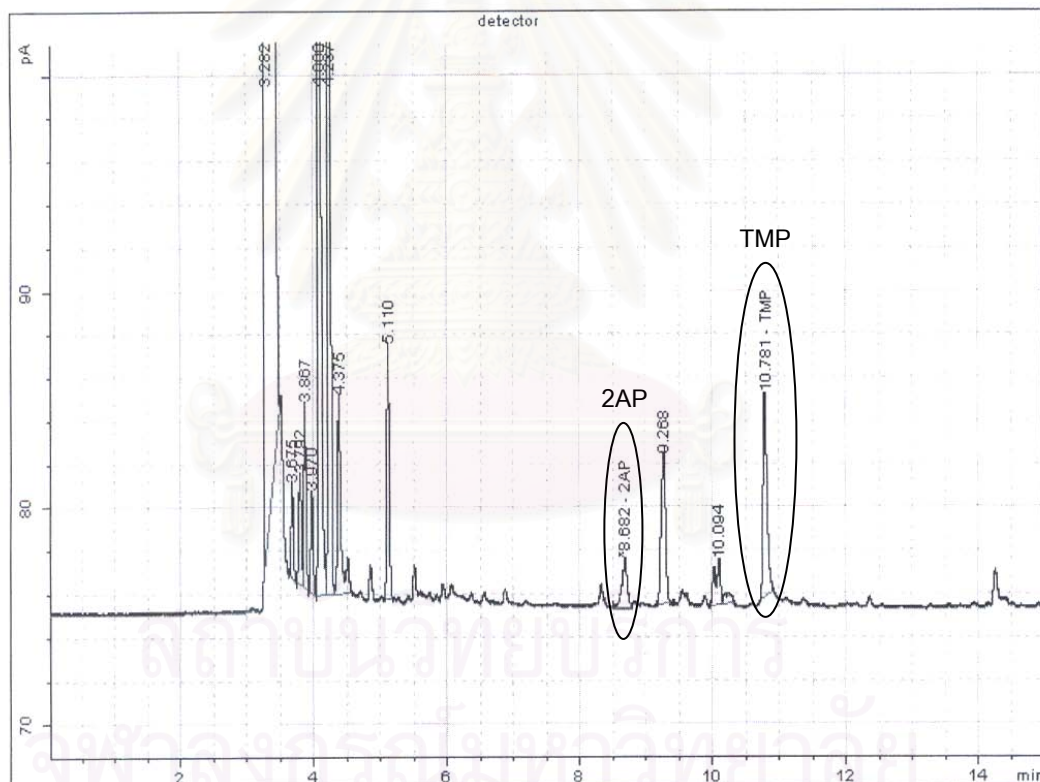
NS = ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ดังนั้นจากงานวิจัยในส่วนนี้ จึงนำไปสู่การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติง ลักษณะเนื้อสัมผัส และรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี สารหอม 2-AP สมบัติพิเศษดี ลักษณะเนื้อสัมผัส และรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บ รักษา

4.2.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสาร หอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารหอม 2-AP ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโต
กราฟฟี ได้โครมาโตแกรมที่ประกอบด้วยพีคของสารหอม 2-AP และพีคของสารมาตรฐานภายใน
(internal standard) 2,4,6-ไตรเมทิลไพริดีน (2,4,6-Trimethylpyridine; TMP) โดยพีคของสาร
หอม 2-AP และสารมาตรฐานภายใน TMP จะมีระยะเวลาในการเกิดพีค หรือ retention time อยู่ที่
8.6 และ 10.7 นาทีตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของสารหอม 2-AP ของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105

ปกติแล้วการรายงานปริมาณสารหอม 2-AP จะรายงานในหน่วย ppm โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานสารหอม 2-AP ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน แต่เนื่องจากสารหอม 2-AP ที่ใช้เป็นสารมาตรฐานที่มีอยู่นั้นไม่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จึงไม่สามารถนำมาทำเป็นกราฟมาตรฐานสารหอม 2-AP ได้ ดังนั้นในงานวิจัยส่วนนี้จึงรายงานปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าว

กลี้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในรูปของอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคระหว่างสารหอม 2-AP และสารมาตรฐานภายใน TMP โดยควบคุมความเข้มข้น และปริมาณของสารมาตรฐานภายใน TMP ที่ใช้ในแต่ละตัวอย่างให้มีปริมาณเท่ากัน จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวกลี้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ข้าวกลี้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสารหอม 2-AP ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และปริมาณอิมัลไลต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณ free lipid และ bound lipid ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารหอม 2-AP ความชื้น อิมัลไลต์ โปรตีน free lipid และ bound lipid ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

แหล่งความแปรปรวน	ปริมาณสารหอม 2-AP	ปริมาณความชื้น	ปริมาณอิมัลไลต์	ปริมาณโปรตีน	ปริมาณ free lipid	ปริมาณ bound lipid
time	*	*	*	*	NS	NS
CV (%)	22.83	0.99	0.92	0.98	3.87	17.01

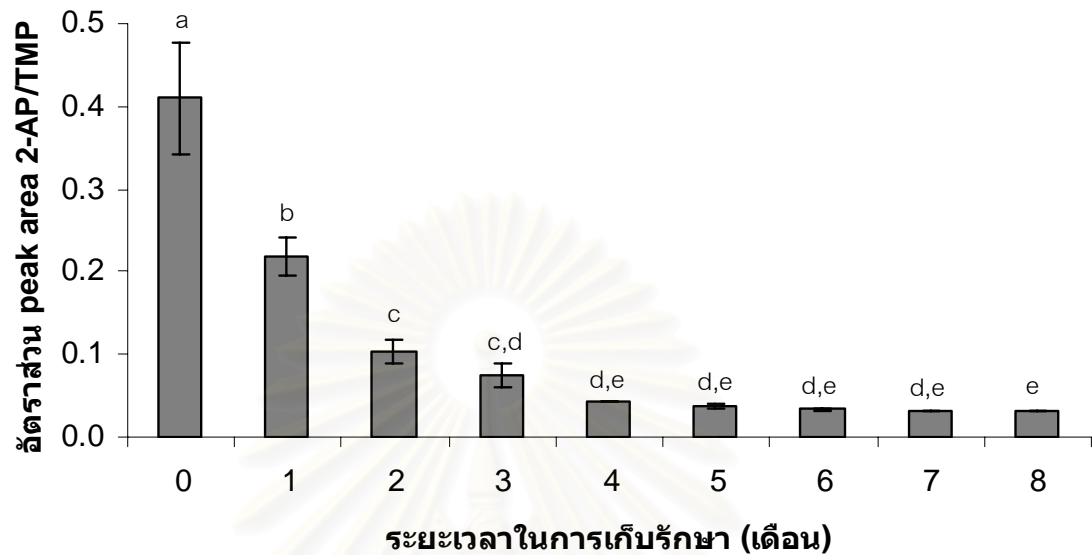
time = ระยะเวลาในการเก็บรักษา 8 เดือน

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวกลี้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่าข้าวกลี้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสารหอม 2-AP ลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.2) โดยจะเห็นว่าปริมาณสารหอม 2-AP จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลือเพียง 18% ของปริมาณสารหอม 2-AP เริ่มต้น (เดือนที่ 0) ในช่วง 3 เดือนแรก หลังจากนั้นในช่วงระยะเวลาที่เหลือ (เดือนที่ 4-8) ปริมาณสารหอม 2-AP จะลดลงอย่างช้าๆ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากสารหอม 2-AP ในข้าวเกิดการระเหยไปในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Wongpornchai และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารหอม 2-AP ในข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาในถุงกระสอบ เป็นเวลา 10 เดือน โดยข้าวเปลือกเริ่มต้นมีปริมาณสารหอม 2-AP เท่ากับ 4.25 ppm เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 10 เดือน ข้าวเปลือกมีปริมาณสารหอม 2-AP เหลือเพียง

1.00 ppm ซึ่งมีปริมาณสารหอม 2-AP ลดลงเหลือเพียง 22% ของปริมาณสารหอม 2-AP เริ่มต้น (รูปที่ 2.7)



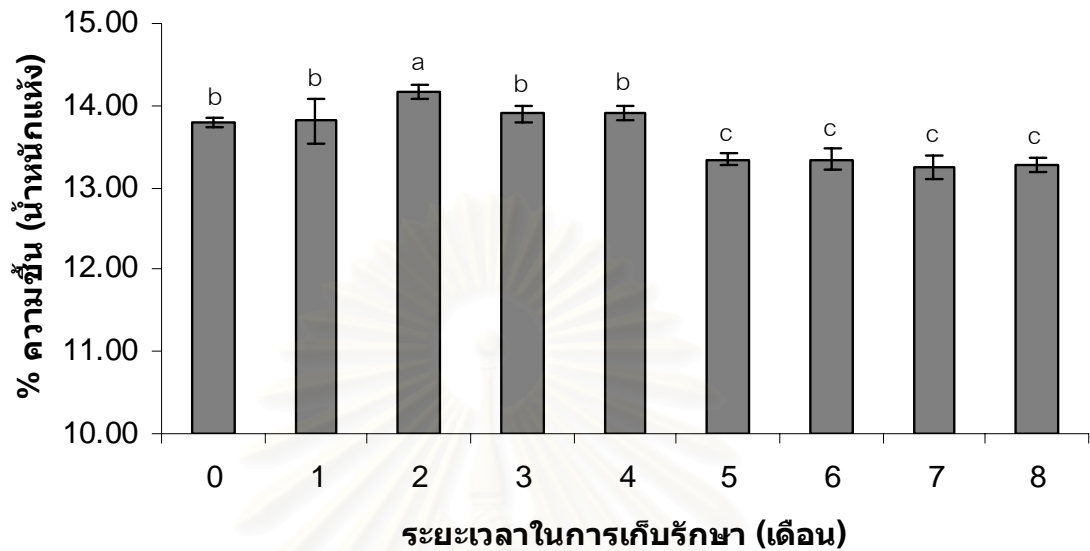
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคระหว่างสารหอม 2-AP/TMP ของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน a,b,c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เริ่มต้นมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 13.80% เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 8 เดือนพบว่าข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณความชื้นเหลือ 13.26% ซึ่งลดลงไปประมาณ 3.91% ของปริมาณความชื้นเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยการลดลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 อาจเกิดเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าวมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ความชื้นในข้าวจึงระเหยออกสู่ภายนอก ทำให้ปริมาณความชื้นของข้าวมีค่าลดลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของจิรศักดิ์และคณะ (2547) ที่รายงานว่ามีปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในถุงพลาสติก PP ที่อุณหภูมิ 37°C จะมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยปริมาณความชื้นของข้าวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 15.12% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 8 เดือน พบว่าข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 12.12% ซึ่งลดลงไปประมาณ 19.84% ของปริมาณความชื้นเริ่มต้น

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีนเริ่มต้นเท่ากับ 8.04% เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 8 เดือนพบว่าข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีน (8.56%) เพิ่มขึ้นประมาณ 6.47% ของปริมาณโปรตีนเริ่มต้น (รูปที่ 4.4) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ยังไม่สามารถอธิบายถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวให้ชัดเจนได้

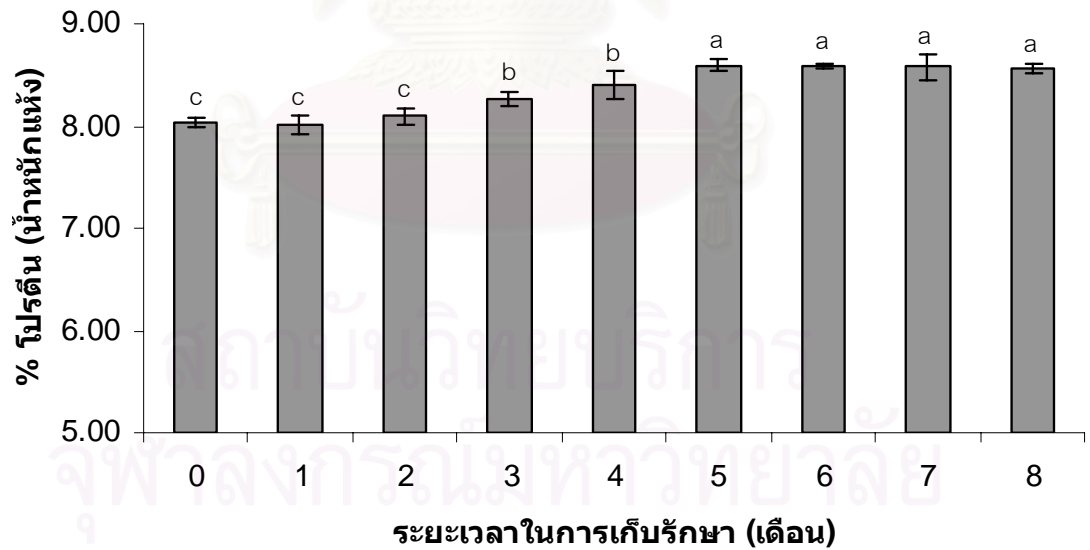
สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัมัยโลสของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 8 เดือน พบว่าปริมาณอัมัยโลสมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณอัมัยโลสเริ่มต้นเท่ากับ 13.07% และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 14.30% เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 8 เดือน ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 9.41% ของปริมาณอัมัยโลสเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 การเพิ่มขึ้นของปริมาณอัมัยโลสในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อาจเกิดเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ α -amylase ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว โดยเอนไซม์ α -amylase เป็นเอนไซม์ที่พบได้ทั่วไปทั้งในพืช และสัตว์ ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์โมเลกุลสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง โดยจะตัดพันธะ α -1,4 ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่จับอยู่ได้ ลักษณะการทำงานเป็นแบบสุ่มตัดภายในเมื่อใช้เอนไซม์ α -amylase ย่อยสารละลายสตาร์ชจะทำให้ความหนืดของสารละลายสตาร์ชลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้ค่า reducing power เพิ่มขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยของจิรศักดิ์และคณะ (2547) ศึกษาแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C เป็นเวลา 7 เดือน พบว่าแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.94 U/100 กรัมข้าว เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 7 เดือนพบว่าแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C จะมีค่าเท่ากับ 7.78 และ 9.57 U/100 กรัมข้าว ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 7 และ 9 เท่าของค่าแอกติวิตีของ α -amylase ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เริ่มต้นตามลำดับ (ตารางที่ 2.8) จากการเพิ่มขึ้นของค่าแอกติวิตีของ α -amylase ที่มีอยู่ในข้าวทำให้เกิดการย่อยสลายสายโมเลกุลของสตาร์ชขนาดใหญ่ให้กลายเป็นสายโมเลกุลขนาดเล็กมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอัมัยโลสในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งผลการเพิ่มขึ้นของปริมาณอัมัยโลสในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สอดคล้องกับงานวิจัยของพัศกร (2545) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอัมัยโลสในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณอัมัยโลสของข้าวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 13.1% และเมื่อเก็บรักษาที่

อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือนจะมีปริมาณอภัยโลสเพิ่มขึ้นเป็น 14.7% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปริมาณอภัยโลสเริ่มต้นประมาณ 1.6%



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน

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

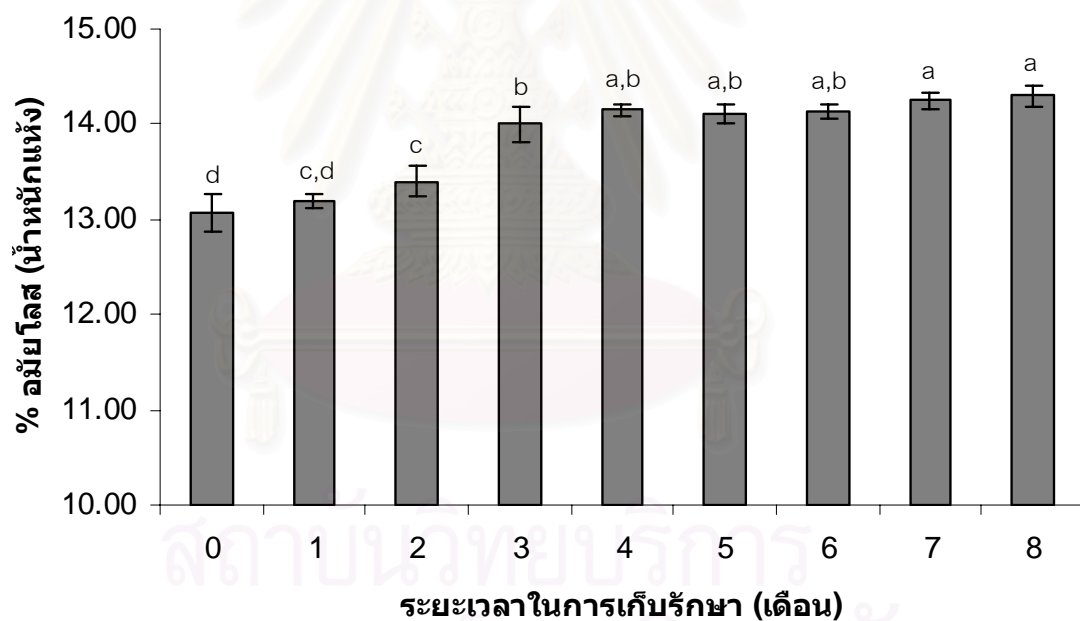


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน

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

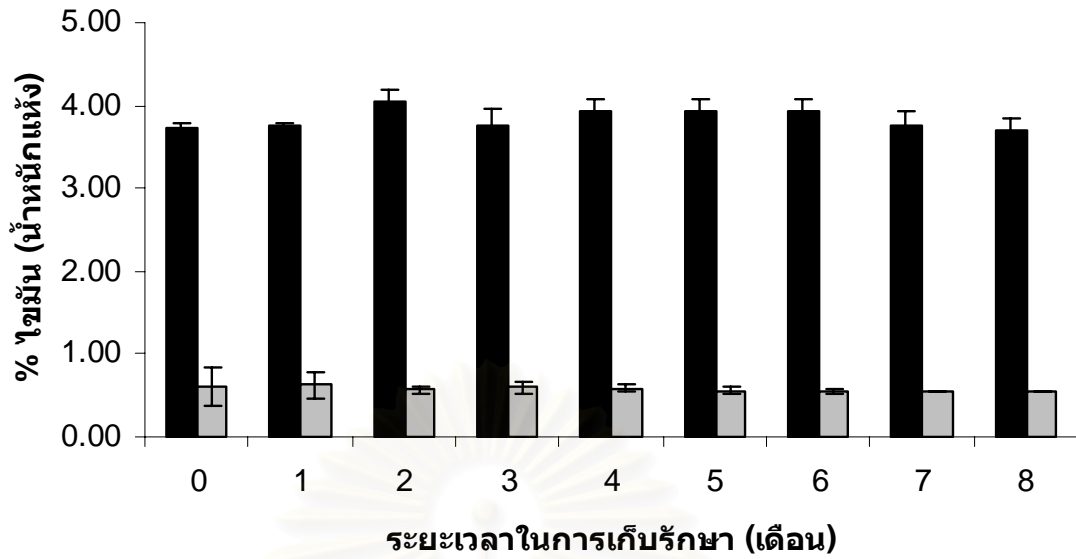
สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ free lipid และ bound lipid ของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลทำให้ปริมาณ free lipid และ bound lipid ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เกิดการเปลี่ยนแปลง ($p>0.05$) (รูปที่ 4.6) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou และคณะ (2002) ที่รายงานว่าปริมาณไขมันในข้าวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณ free lipid และ bound lipid ของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แล้ว จึงนำ free lipid และ bound lipid ที่สกัดได้ มาวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (ภาคผนวก ก.6) ได้โครมาโตแกรมที่ประกอบด้วยพีคของกรดไขมัน โดยในการบ่งชี้ชนิดของกรดไขมันของแต่ละพีคจะทำการเปรียบเทียบกับพีคของกรดไขมันมาตรฐานรวมที่มี retention time ของกรดไขมันแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันจากทั้ง free lipid และ bound lipid ของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้ตัวอย่างโครมาโตแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน

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



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ free lipid (■) และ bound lipid (□) ของข้าวก้างพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน
a,b,c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากโครมาโตแกรมกรดไขมันที่ได้จากทั้ง free lipid และ bound lipid พบว่ากรดไขมันหลักที่พบทั้งใน free lipid และ bound lipid มีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดโอเลอิก (C18:1 $\Delta 9$) และกรดไลโนเลอิก (C18:2 $\Delta 9,12$) พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันทั้ง 3 ชนิดรวมกันมากกว่า 90% ของกรดไขมันทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงรายงานผลขององค์ประกอบของกรดไขมันในรูปของสัดส่วนพื้นที่ใต้พีคของกรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกต่อพื้นที่ใต้พีคของกรดไขมันทั้งสามรวมกัน (ภาคผนวก ก.6) ซึ่งจากการวิเคราะห์หรือย่อยองค์ประกอบของกรดไขมันทั้งที่ได้จาก free lipid และ bound lipid พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลทำให้องค์ประกอบของกรดไขมันที่ได้จากทั้ง free lipid และ bound lipid เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ยกเว้นกรดโอเลอิกที่ได้จาก bound lipid เท่านั้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.6) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของกรดไขมันทั้ง 3 ระหว่าง free lipid และ bound lipid พบว่ากรดไขมันที่ได้จาก free lipid จะมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก) สูงกว่า (76-78%) ที่ได้จาก bound lipid (58-61%) ในขณะที่กรดไขมันที่ได้จาก bound lipid จะมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (กรดปาล์มมิติก) สูงกว่า (37-41%) ที่ได้จาก free lipid (21-23%)

เมื่อนำปริมาณสารหอม 2-AP และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณอัมัยโลส ปริมาณ free lipid ปริมาณ bound lipid และร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมัน มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson correlation ผล

การวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณสารหอม 2-AP มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณโปรตีน และปริมาณอัมัยโลส แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ bound lipid อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

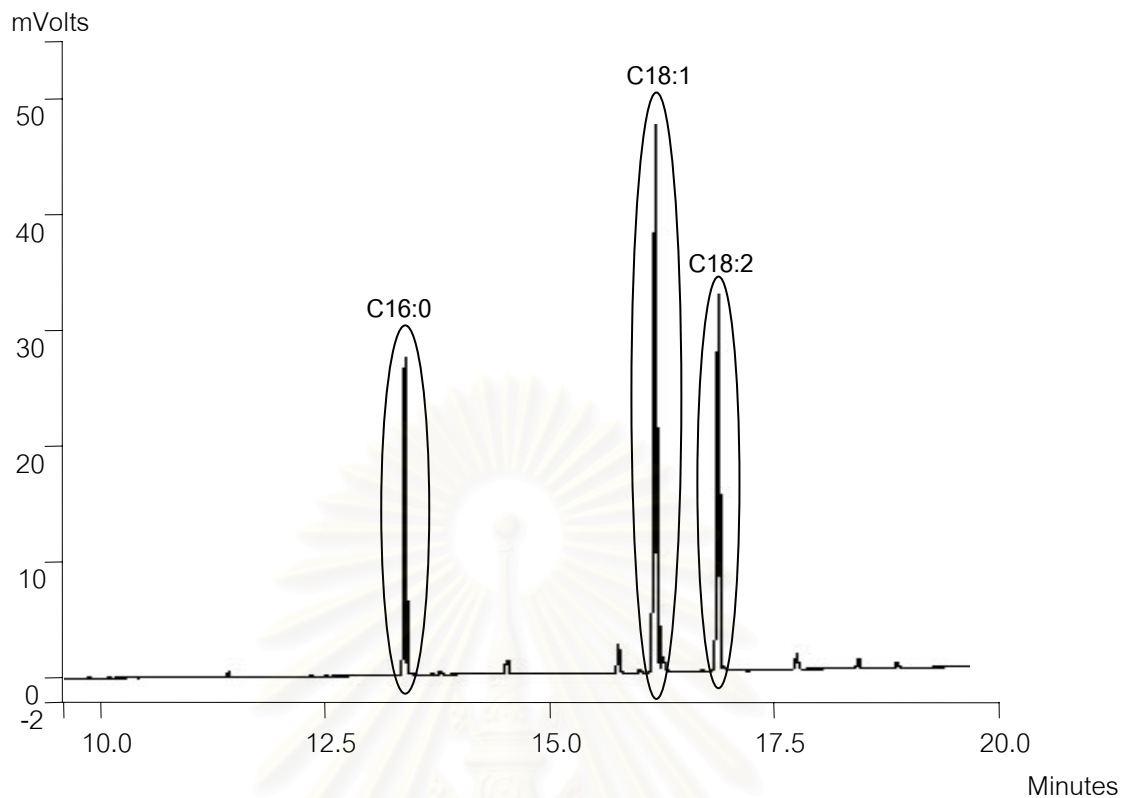
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน และความสัมพันธ์ระหว่างสารหอม 2-AP และ bound lipid ทำให้รู้ว่า bound lipid มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอยู่สูง ซึ่งส่วนสาย hydrocarbon ของกรดไขมันอิ่มตัวนี้สามารถที่จะไปเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนร่วมกับสายอัมัยโลสของสตาร์ช ได้เป็น amylose-lipid complex เนื่องจากว่าภายในสายเกลียวหรือ helix ของอัมัยโลสมีสมบัติเป็น hydrophobic จึงสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนร่วมกับสาย hydrocarbon ของกรดไขมันอิ่มตัวได้ดี ในขณะที่ส่วนที่มีหัวของกรดไขมันที่อยู่ด้านนอกสาย helix ของอัมัยโลสอาจจะจับกับโมเลกุลของสารหอม 2-AP ที่โครงสร้างมีความเป็นขั้วอยู่บ้างได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เก็บรักษาสารหอม 2-AP ไว้ได้ แต่เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนดังกล่าวเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงต่ำจึงอาจถูกทำลายในระหว่างการเก็บรักษาได้ จึงทำให้ปริมาณสารหอม 2-AP ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงขอเสนอโครงสร้างแบบจำลองการจับกันระหว่าง amylose-lipid complex และสารหอม 2-AP ดังแสดงในรูปที่ 4.9



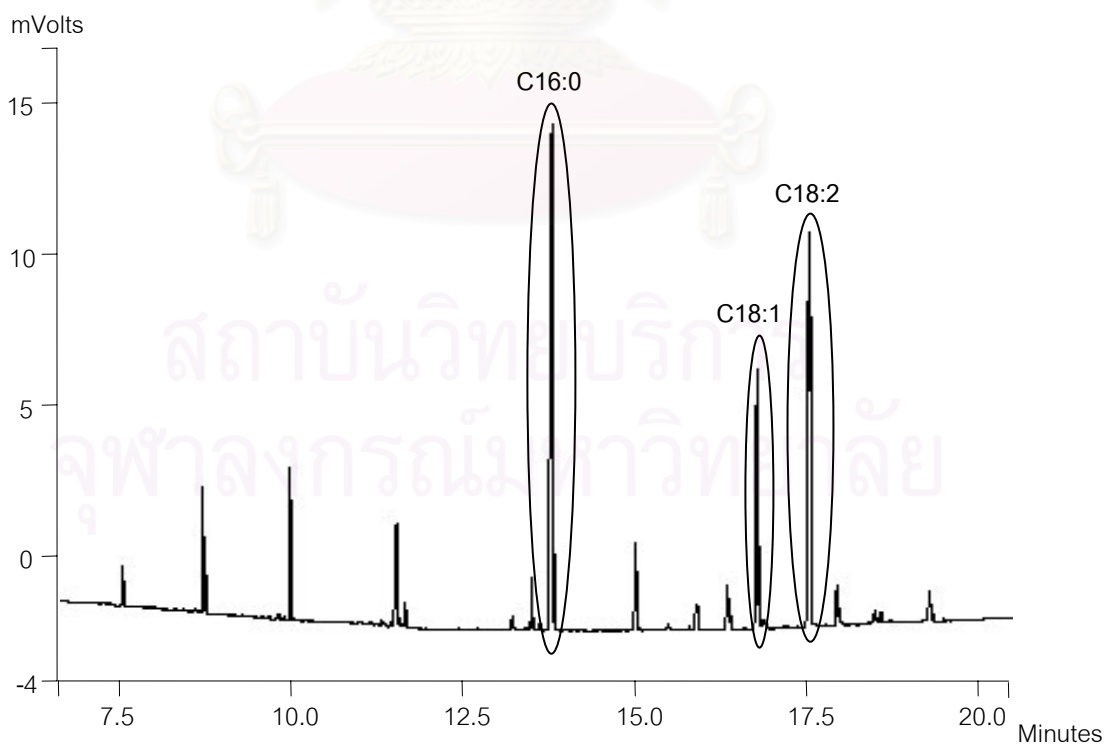
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 retention time ของกรดไขมันมาตรฐานแต่ละชนิด

ชนิดของกรดไขมัน	ค่า retention time (นาที)
C6:0	5.949
C8:0	7.335
C10:0	8.596
C12:0	9.933
C14:0	11.571
C14:1	12.005
C16:0	13.657
C16:1	14.079
C18:0	16.181
C18:1-trans	16.424
C18:1 cis	16.537
C18:2-trans	16.694
C18:2-cis	16.914
gamma-C18:3	17.806
C18:3	18.284
C20:0	19.003
C20:4n-6	21.166
C22:0	22.129
C20:5n-3 (EPA)	22.328
C22:1	22.715
C23:0	23.966
C22:6n-3 (DHA)	26.149



รูปที่ 4.7 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่ได้จาก free lipid



รูปที่ 4.8 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่ได้จาก bound lipid

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

แหล่งความแปรปรวน	ปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมัน (%)					
	free lipid			bound lipid		
	C16:0	C18:1	C18:2	C16:0	C18:1	C18:2
time	NS	NS	NS	NS	*	NS
CV (%)	3.60	2.09	5.44	3.50	3.27	3.18

time = ระยะเวลาในการเก็บรักษา 8 เดือน

C16:0 = กรดปาล์มมีติก

C18:1 = กรดโอเลอิก

C18:2 = กรดไลโนเลอิก

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

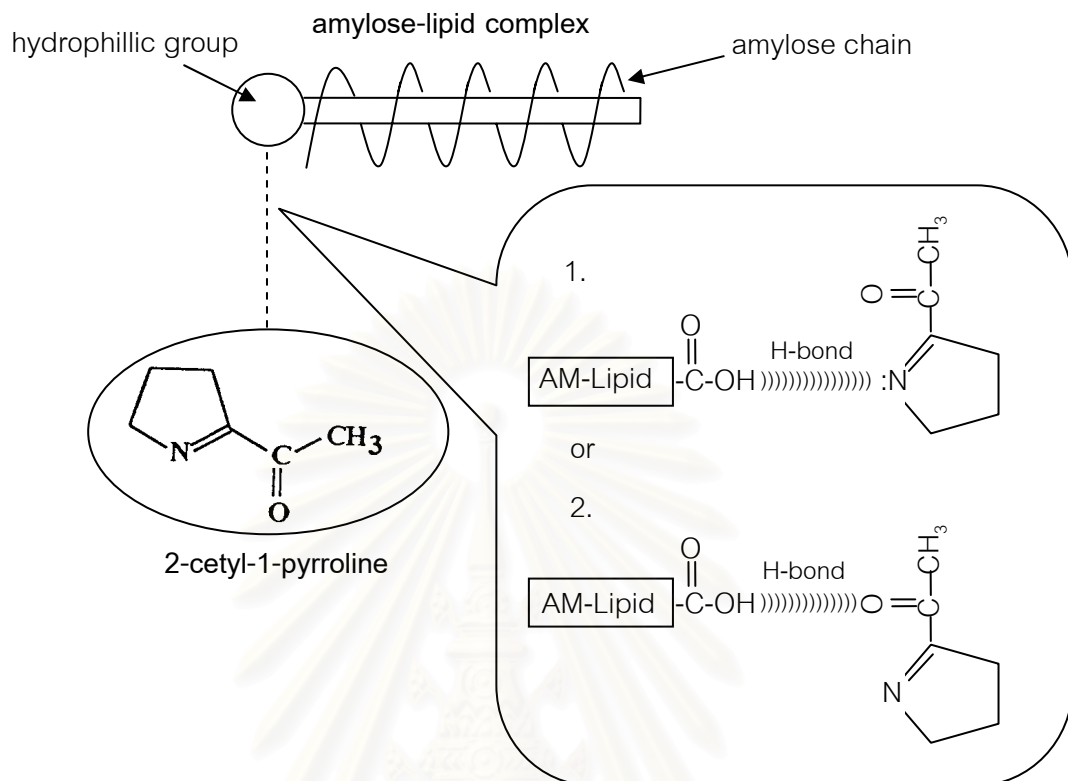
NS = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

รูปแบบความสัมพันธ์	ค่า Pearson correlation
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณความชื้น	0.399 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณโปรตีน	-0.782*
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณอมัยโลส	-0.880*
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณ free lipid	-0.343 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ ปริมาณ bound lipid	0.722*
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ %C16:0 จาก free lipid	0.245 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ %C18:1 จาก free lipid	-0.055 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ %C18:2 จาก free lipid	-0.080 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ %C16:0 จาก bound lipid	0.054 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ %C18:1 จาก bound lipid	-0.167 ^{NS}
ปริมาณสารหอม 2-AP กับ %C18:2 จาก bound lipid	0.065 ^{NS}

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS คือ ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.9 โครงสร้างแบบจำลองการจับกันระหว่าง amylose-lipid complex และสารหอม 2-AP

4.2.2 ศึกษาผลของไขมัน โปรตีนและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

สมบัติเพสติงเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของสตาร์ช เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเมื่อสารละลายสตาร์ชผ่านการให้ความร้อน หรือทำให้สุก สมบัติเพสติงมีความสำคัญต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สตาร์ชเป็นส่วนประกอบ ในงานวิจัยส่วนนี้จะศึกษาถึงผลของโปรตีน ไขมัน ในข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 8 เดือนด้วยเครื่อง RVA (ภาคผนวก ก.8)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์สมบัติเพสติงมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Multivariate test โดยให้ผลของโปรตีน ไขมัน เป็นทรีทเมนต์ (treatment) และให้ระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเดือน พบว่าทรีทเมนต์ และระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าทรีทเมนต์มีความสัมพันธ์กับระยะเวลา

ในการเก็บรักษาด้วย ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.8) ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของแต่ละทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (treatment combination) ด้วยค่า least significant differences (LSDs) ซึ่งสามารถแบ่งผลการศึกษาดังกล่าวออกเป็น 3 ปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
2. ผลของโปรตีนที่มีต่อสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
3. ผลของไขมันที่มีต่อสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ก. ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 4.8) การเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวในแต่ละเดือนแสดงดังกราฟ RVA ในรูปที่ 4.10 ซึ่งเมื่อนำค่าสังเกตที่บ่งบอกถึงสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้จากการวิเคราะห์ RVA ทั้ง 7 ค่ามาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษาด้วยวิธี Pearson correlation ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดสูงสุด ค่า peak time ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่า breakdown และค่า setback มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p > 0.05$) โดยค่าความหนืดสูงสุด ค่า peak time และ ค่า breakdown ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในขณะที่ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ค่าความหนืดสุดท้าย และค่า setback ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11

การเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวสามารถบ่งบอกถึงลักษณะของเม็ดสตาร์ชข้าวได้ การลดลงของค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาแสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชข้าวจะมีความต้านทานต่อการขยายตัวมากขึ้น ในขณะที่การลดลงของค่า breakdown แสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชข้าวมีความคงตัวต่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีการสร้างพันธะภายในเม็ดสตาร์ชมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาข้าว โดยการลดลงของค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา อาจเกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณอมัยโลสในข้าว โดยปกติแล้วสตาร์ชจากธัญพืชจะมีรูปแบบของการขยายตัว และการละลาย 2 ชั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ด

สตาร์ชที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ พันธะบริเวณผลึก (crystalline) และบริเวณอสัณฐาน (amorphous) ของเม็ดสตาร์ช สตาร์ชจากธัญพืชมีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการขยายตัว และการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอัมัยโลสสูง ซึ่งอัมัยโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดสตาร์ชแข็งแรงมากขึ้น จึงทำให้เม็ดสตาร์ชขยายตัวได้ต่ำ ดังนั้นปริมาณอัมัยโลสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เพิ่มขึ้นอาจจะส่งผลทำให้เม็ดสตาร์ชข้าวมีส่วนผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปยับยั้งการขยายตัวของเม็ดสตาร์ชข้าว จึงทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าลดลง (Tester และ Morrison, 1990) นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษายังพบว่าโปรตีนโอริเซนิน (oryzenin) ในข้าวจะมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (ตารางที่ 2.7) (Chrastil, 1990b) และพบว่าโมเลกุลของโปรตีนจะจับกับโมเลกุลของสตาร์ชมากขึ้น จึงไปเพิ่มความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ช ดังนั้นเม็ดสตาร์ชจึงขยายตัวต่ำลง ทำให้ความหนืดสูงสุดมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (Chrastil, 1994)

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน ทั้งตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมสาร β -mercaptoethanol ตัวอย่างที่แยก free lipid และตัวอย่างที่แยกทั้ง free และ bound lipid ออก

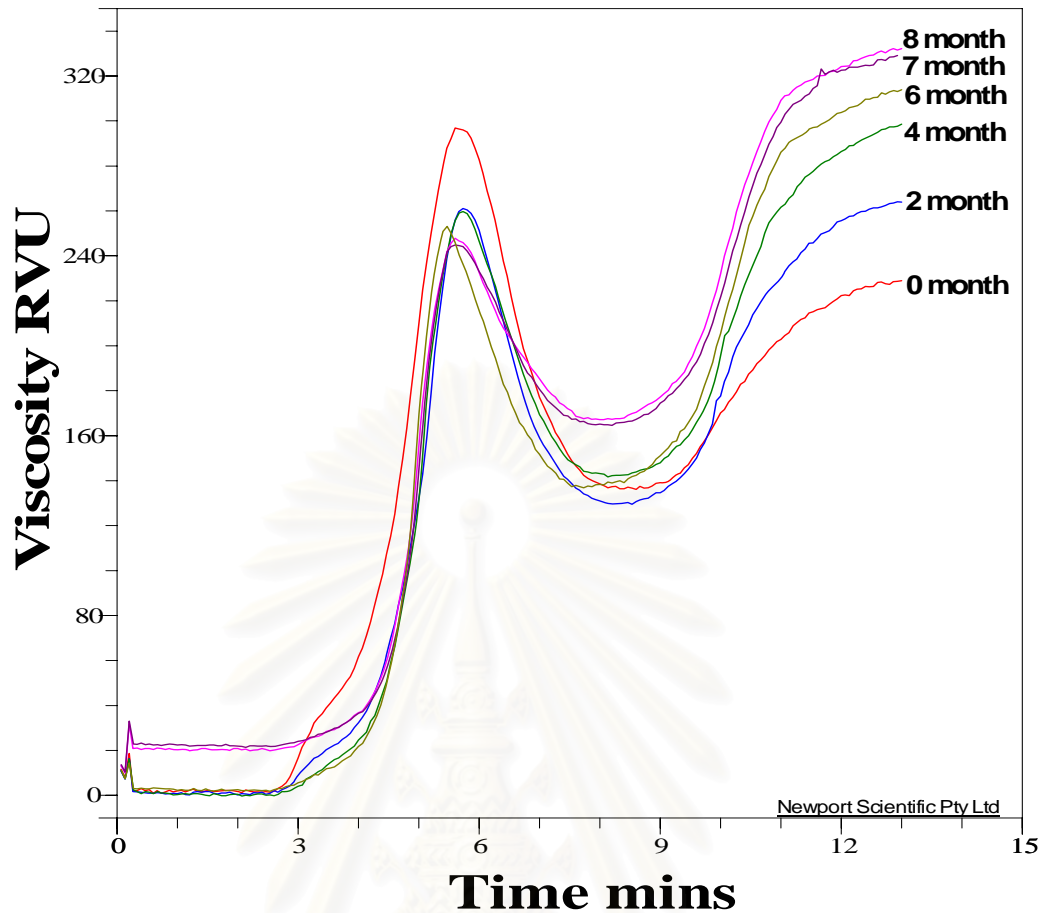
แหล่งความแปรปรวน	GT	PV	Ptime	trough	FV	BD	SB
trt	*	*	*	*	*	*	*
time	*	*	*	*	*	*	*
trtXtime	NS	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2.12	2.58	1.81	3.77	2.21	5.84	2.09

trt = ตัวอย่างข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมสาร β -mercaptoethanol ตัวอย่างที่แยก free lipid และตัวอย่างที่แยกทั้ง free และ bound lipid ออก

time = ระยะเวลาในการเก็บรักษา 8 เดือน

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



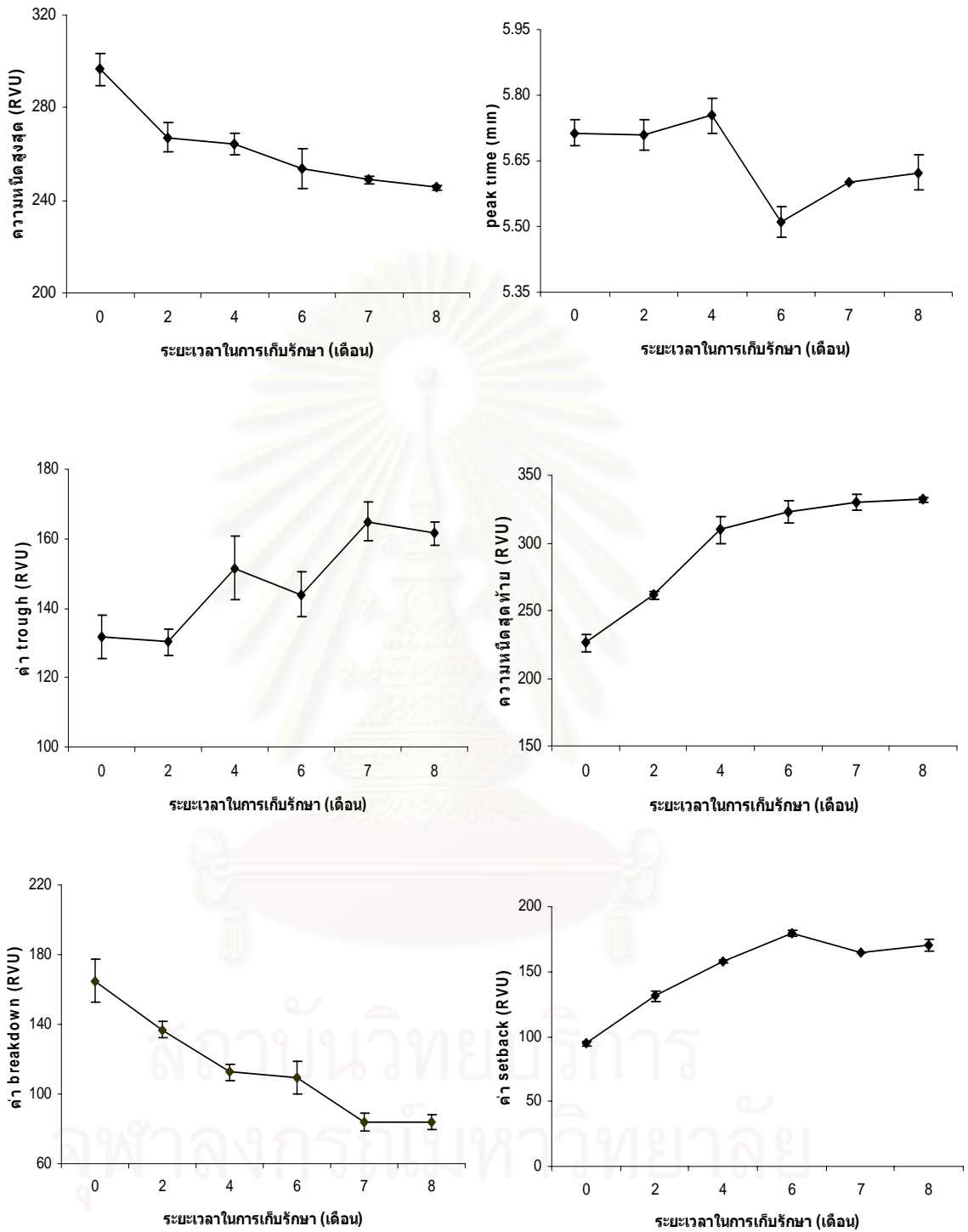
รูปที่ 4.10 pasting curve ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตัวอย่างควบคุม) ที่แต่ละเวลาในการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเพสติง กับระยะเวลาในการเก็บรักษาของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

รูปแบบความสัมพันธ์	ค่า Pearson correlation
ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ ค่า gelatinization temperature	0.347 ^{NS}
ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ ค่า peak viscosity	-0.889*
ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ ค่า peak time	-0.508*
ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ ค่า trough	0.839*
ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ ค่า final viscosity	0.911*
ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ ค่า breakdown	-0.944*
ระยะเวลาในการเก็บรักษา กับ ค่า setback	0.846*

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติพิเศษต่าง ๆ กับระยะเวลาในการเก็บรักษา

การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหลังจากปล่อยให้ starch paste เป็นตัวลง โดยโมเลกุลอมัยโลสที่อยู่ใกล้กัน จะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (orientation) และสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นขอบเขตรอยต่อ (junction zones) โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความเหนียวคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลแน่นมากขึ้น ซึ่งปริมาณ และขนาดของโมเลกุลอมัยโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ช และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยสตาร์ชที่มีปริมาณอมัยโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มาก และเร็วกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอมัยโลสต่ำ ดังนั้นปริมาณอมัยโลสของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้สตาร์ชข้าวเกิดการคืนตัว หรือรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shibuya และ Isawaki (1984) ที่รายงานว่าคุณสมบัติเพสติงของข้าวใหม่ และข้าวเก่ามีความแตกต่างกัน โดยจากการทดลองเก็บรักษาข้าวพันธุ์ Doongara ที่อุณหภูมิ 37 ° C เป็นเวลา 7 และ 12 เดือน พบว่าค่าความหนืดสูงสุด และค่า breakdown ของข้าวจะมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (รูปที่ 2.10)

Sowbhagya และ Bhattacharya (2001) รายงานว่าค่า breakdown ของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 ° C จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 4 เดือน ทั้งนี้เกิดเนื่องจากระหว่างการเก็บรักษา โครงสร้างของข้าวจะมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชข้าวจะเกิดโครงสร้างร่วมกันระหว่างสตาร์ชกับไขมัน และสตาร์ชกับโปรตีน ทำให้เกิดเป็นชั้นที่ผิวของเมล็ดสตาร์ชที่ส่งผลต่อสมบัติเพสติง และการเกิดเจลลาตินเซชันของข้าว

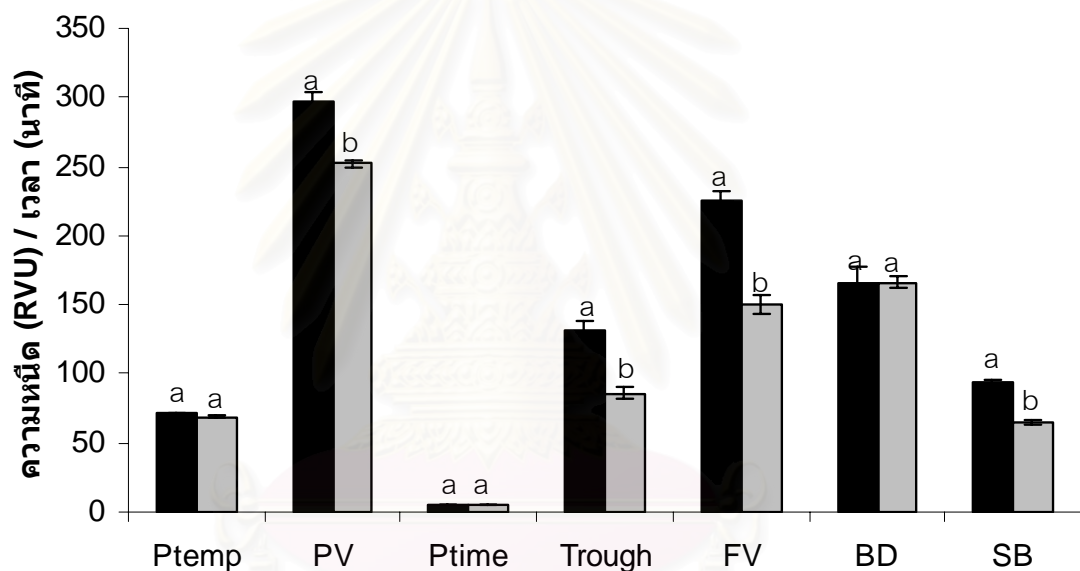
Zhou และคณะ (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ Kyeema, Koshihikari และ Doongara ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 37 ° C เป็นเวลา 16 เดือน พบว่าค่าความหนืดสูงสุด และค่า breakdown ของข้าวทั้ง 3 พันธุ์จะมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 ° C จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ° C แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา

ข. ผลของโปรตีนที่มีต่อสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

โปรตีนหลักในข้าวคือ โปรตีนโอริเซินิน (80-90%) ซึ่งโอริเซินินเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ทั้งชนิด intra- และ inter-molecular bonding โปรตีนอื่นที่เหลือได้แก่ โพรลามิน โกลบูลิน และอัลบูมิน (Sugimoto และคณะ, 1986;

Chrastil และ Zarins, 1994) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าโปรตีนในข้าวมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และสมบัติเพสติงของข้าว (Chrastil, 1994; Martin และ Fitzgerald, 2002) ดังนั้นในงานวิจัยส่วนนี้จะศึกษาถึงผลของโปรตีนในข้าวที่มีต่อสมบัติเพสติง โดยการใช้สาร β -mercaptoethanol ซึ่งมีสมบัติเป็นสารรีดิวซ์ซึ่งไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นเวลา 8 เดือน ดังนั้นในการทดลองส่วนนี้จะใช้สาร β -mercaptoethanol เติมลงในแป้งข้าวในระหว่างการวิเคราะห์ RVA

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ใหม่ (ที่ 0 เดือน) ระหว่างที่ไม่เติม (control) และที่เติมสาร β -mercaptoethanol พบว่าการเติมสาร β -mercaptoethanol มีผลทำให้สมบัติเพสติงของข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 สมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ใหม่ (ที่ 0 เดือน) ระหว่างที่ไม่เติม (■) และที่เติมสาร β -mercaptoethanol (□)

a,b กราฟแท่งคู่ที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โดย Ptemp แทนอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที

PV แทนค่าความหนืดสูงสุด

Ptime แทนระยะเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด

Trough แทนค่าความหนืดต่ำสุด

FV แทนค่าความหนืดสุดท้าย

BD แทนผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด

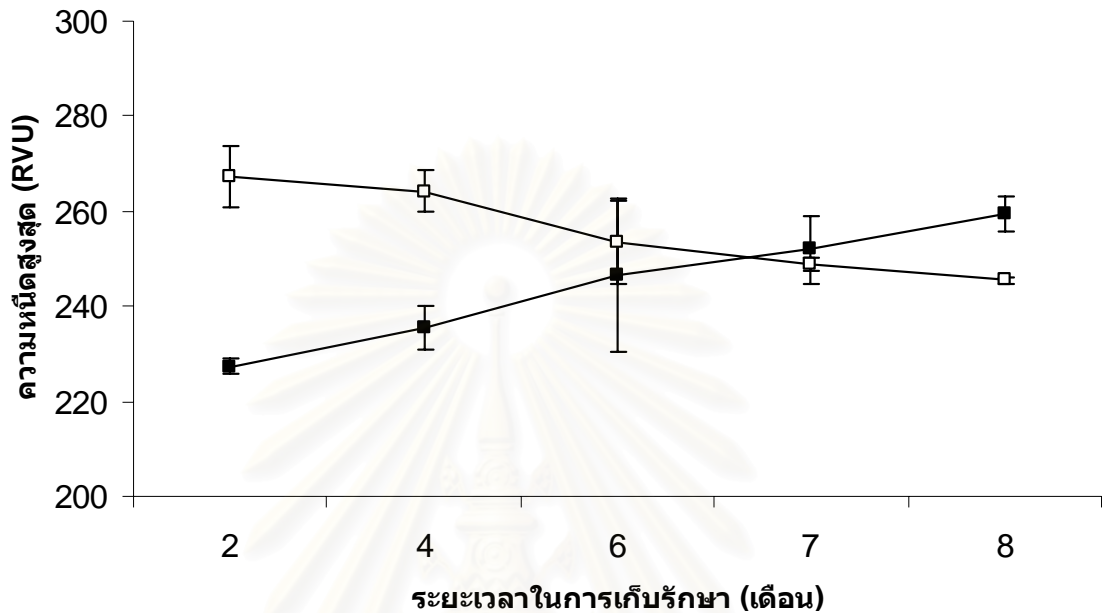
SB แทนผลต่างของค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดต่ำสุด

เมื่อเติมสาร β -mercaptoethanol ลงในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ใหม่ (ที่ 0 เดือน) พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีโนเซชัน ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่า setback จะมีค่าลดลง แสดงว่าพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนในข้าวมีผลต่อสมบัติเพสติง โดยการลดลงของค่าความหนืดสูงสุดเกิดจากการทำลายพันธะไดซัลไฟด์แสดงให้เห็นว่า การเกิดพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีนช่วยเพิ่มความหนืดของข้าวได้ เนื่องจากเมื่อพันธะไดซัลไฟด์ถูกทำลาย มีผลทำให้สายโปรตีนเกิดการคลายเกลียว จึงทำให้ส่วนที่มีขั้วหรือส่วน hydrophilic ของโปรตีนอาจจะออกมามากขึ้น แล้วไปแย่งจับน้ำกับเม็ดสตาร์ช ดังนั้นเม็ดสตาร์ชจึงเกิดการขยายตัวลดลง ทำให้ความหนืดมีค่าลดลง นอกจากนี้พันธะไดซัลไฟด์จะช่วยทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของ protein matrix ที่สามารถดูดซับน้ำแล้วทำให้โปรตีนสามารถเกิดความหนืดได้ด้วยตัวเอง หรือพันธะไดซัลไฟด์จะไปช่วยทำให้เกิด interaction กันระหว่างส่วน viscous และ disperse phase ของแป้งสุกได้ทำให้ข้าวใหม่มีความหนืดสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อทำลายพันธะไดซัลไฟด์ดังกล่าว จึงทำให้ความหนืดของข้าวใหม่ลดลง (Martin และ Fitzgerald, 2002)

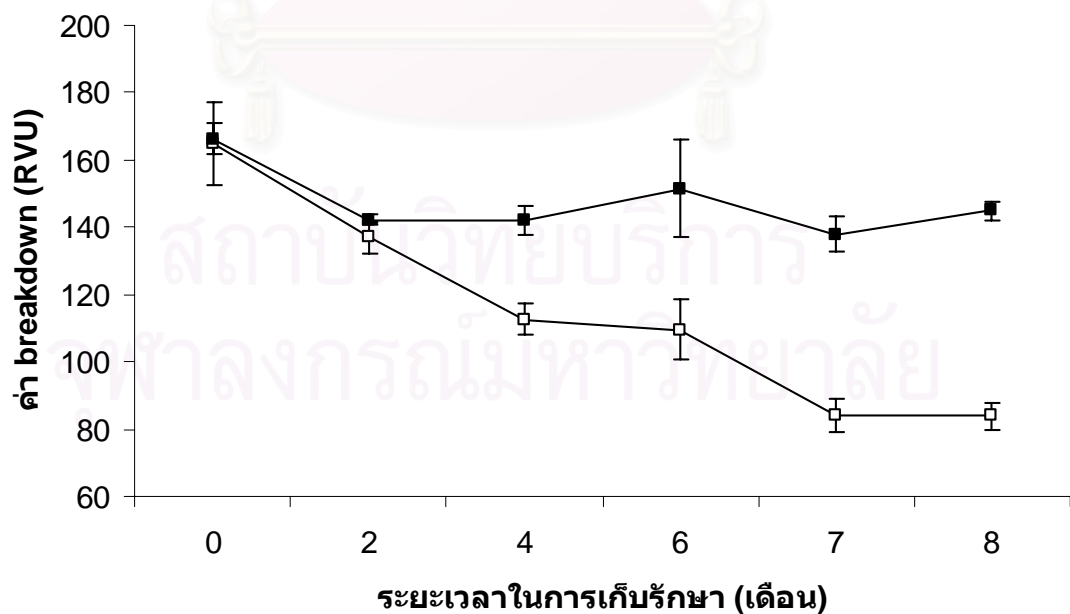
เมื่อนำสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เก่า (อายุการเก็บตั้งแต่ 2 เดือนขึ้นไป) มาเปรียบเทียบกับกันระหว่างที่ไม่เติม และที่เติมสาร β -mercaptoethanol พบว่าค่าความหนืดสูงสุดของข้าวเก่าที่เติมสาร β -mercaptoethanol จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งตรงกันข้ามกับการลดลงของค่าความหนืดสูงสุดของข้าวเก่าที่ไม่ได้เติมสาร β -mercaptoethanol (รูปที่ 4.13) แสดงให้เห็นว่าโปรตีนในข้าวเก่าจะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลโปรตีนด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ส่งผลให้โปรตีนจำกัดการขยายตัวของเม็ดสตาร์ช ความหนืดสูงสุดของเม็ดสตาร์ชจึงลดลง (Chrastil และ Zarins, 1992) ดังนั้นเมื่อเติมสาร β -mercaptoethanol ซึ่งทำลายพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลโปรตีน มีผลทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวกลับมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Martin และ Fitzgerald (2002) ที่พบว่าเมื่อนำข้าวเก่ามาเติมสาร dithiothreitol (DTT) ซึ่งเป็นสารรีดิวซิงชนิดหนึ่งจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ข้าวใหม่ที่เติมสาร DTT จะมีค่าความหนืดสูงสุดลดลงเมื่อเทียบกับค่าความหนืดสูงสุดของข้าวเก่าและใหม่ที่ไม่ได้เติมสาร DTT

เมื่อพิจารณาค่า breakdown ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบกันระหว่างที่ไม่เติม และที่เติมสาร β -mercaptoethanol พบว่าการเติมสาร β -mercaptoethanol มีผลทำให้ค่า breakdown ของข้าวมีค่าสูงขึ้น (รูปที่ 4.14) แสดงให้เห็นว่าโปรตีนในข้าวมีผลต่อความสามารถในการทนต่อแรงเฉือน ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ได้เติมสาร β -mercaptoethanol จะมีโครงสร้างโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ (โครงสร้างทุติยภูมิ ตติยภูมิ และจตุรภูมิ) ที่จะช่วยทำให้เพสตีของข้าวมีความทนทานต่อแรงเฉือนมากขึ้น ในขณะที่โปรตีนในข้าวที่เติมสาร β -mercaptoethanol จะถูกทำลายพันธะไดซัลไฟด์ โปรตีนจะเกิดการคลายเกลียวเป็น

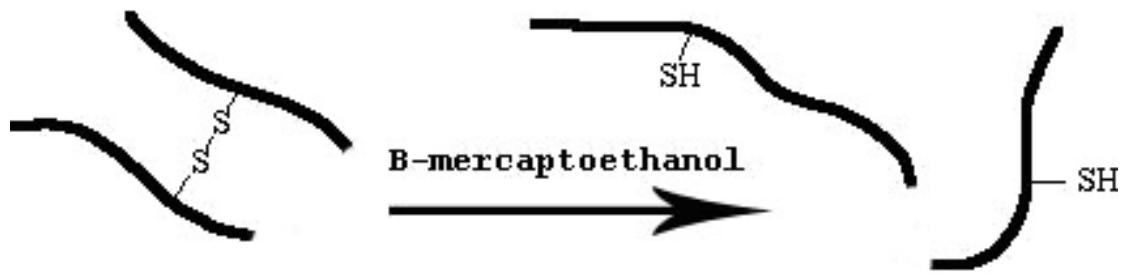
สายตรง (รูปที่ 4.15) ทำให้ได้โปรตีนที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก (โครงสร้างปฐมภูมิ) ที่มีความแข็งแรงต่ำ จึงส่งผลทำให้เพปต์ของข้าวที่เติมสาร β -mercaptoethanol มีความแข็งแรงต่ำลง ทนต่อแรงเฉือนได้น้อยลง ดังนั้นค่า breakdown จึงมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เก้า (ที่ตั้งตั้งแต่ 2 เดือนขึ้นไป) ระหว่างที่ไม่เติม (□) และที่เติมสาร β -mercaptoethanol (■)

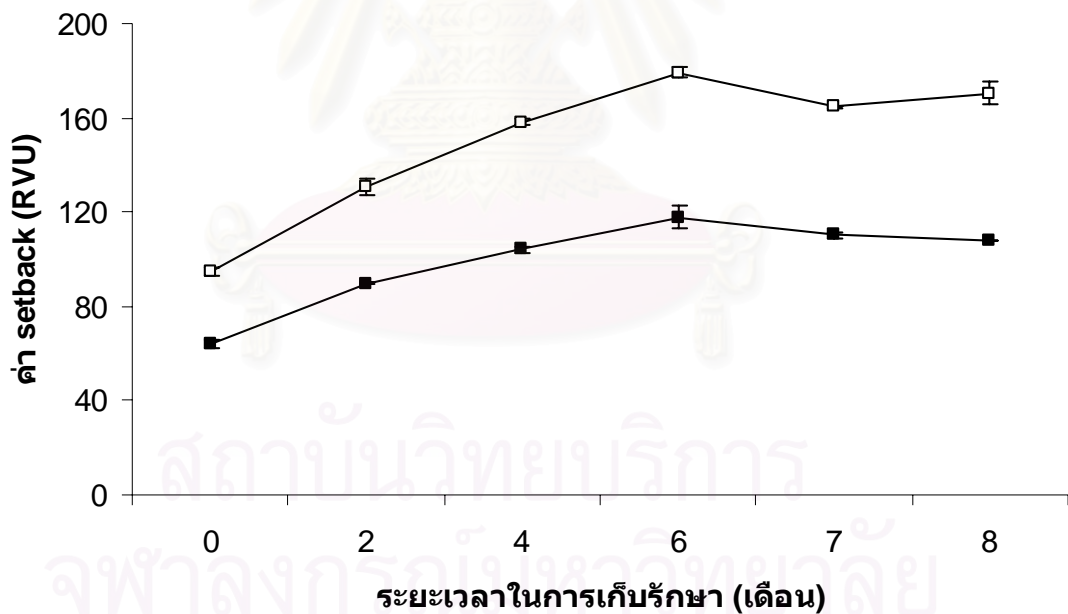


รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่า breakdown ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างที่ไม่เติม (□) และที่เติมสาร β -mercaptoethanol (■)



รูปที่ 4.15 การทำลายพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีน เนื่องจากการเติมสาร β -mercaptoethanol

สำหรับผลของการเติมสาร β -mercaptoethanol ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า setback ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าการเติมสาร β -mercaptoethanol มีผลทำให้ค่า setback ของข้าวมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งการลดลงของค่า setback ดังกล่าวอาจเกิดเนื่องจากโปรตีนของข้าวที่เติมสาร β -mercaptoethanol มีโครงสร้างปฐมภูมิที่มีขนาดเล็กสามารถไปสร้างพันธะกับสายอัมยิโลสหลังจากที่เม็ดสตาร์ชแตกตัวแล้วได้ จึงเป็นการขัดขวางการกลับมาสร้างพันธะไฮโดรเจนกันระหว่างสายอัมยิโลส



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า setback ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างที่ไม่เติม (□) และที่เติมสาร β -mercaptoethanol (■)

ค. ผลของไขมันที่มีต่อสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

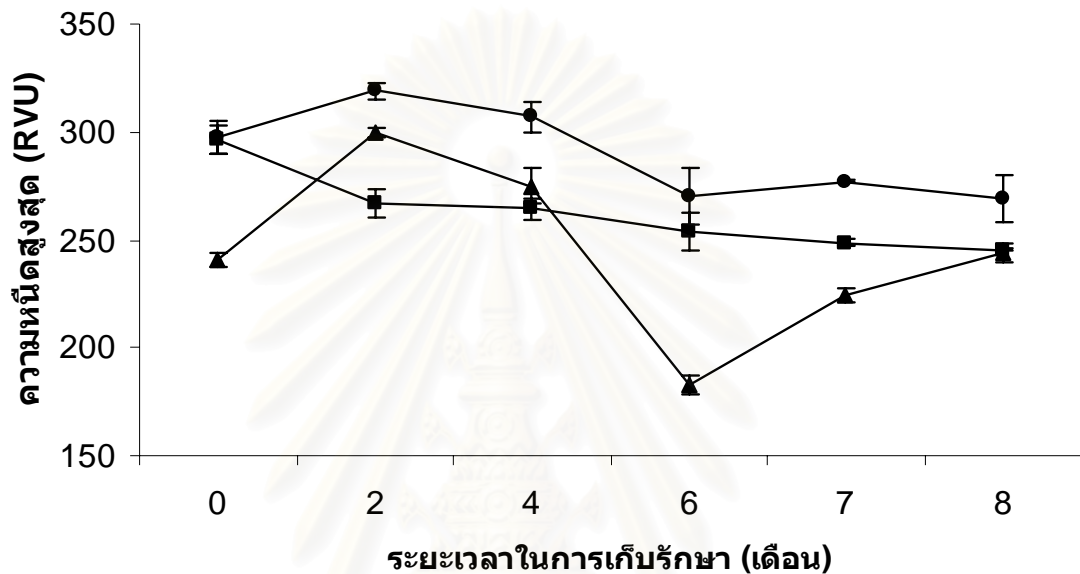
จากการศึกษาผลของการแยก free lipid และ bound lipid ออกจากแป้งข้าวที่มีต่อสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าโดยเมื่อนำค่าความหนืดสูงสุดของข้าวทั้งตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่แยก free lipid และตัวอย่างที่แยกทั้ง free lipid และ bound lipid ออกมาเปรียบเทียบกัน (รูปที่ 4.17) จะเห็นว่าการแยก free lipid ในข้าวออกจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม เนื่องจาก free lipid เป็นไขมันหลักที่พบมากบริเวณผิวของเม็ดสตาร์ชในข้าว สามารถเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนร่วมกับอัมัยโลสได้เป็นโครงสร้าง amylose-lipid complex โดยสาย hydrocarbon ของไขมันจะแทรกเข้าไปอยู่ในส่วนเกลียวของสายอัมัยโลส (Banks และ Greenwood, 1972) ทำให้เกิดเป็นชั้นที่ผิวของเม็ดสตาร์ช ส่งผลให้โครงสร้างเม็ดสตาร์ชของข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น และต้องใช้เวลาในการหุงต้มเพิ่มขึ้น (Kaur และ Singh, 2000; Sowbhagya และ Bhattacharya, 2001) ดังนั้นเมื่อแยก free lipid ออกจึงทำให้โครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงถูกทำลาย จึงไม่มีผลไปยังการขยายตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการขยายตัวมากขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อแยกทั้ง free lipid และ bound lipid ออกจากข้าว พบว่าค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดย bound lipid เป็นไขมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ช จับแน่นกับสายโมเลกุลของสตาร์ช เมื่อแยก free lipid และ bound lipid ออก จึงอาจมีผลให้เกิดการยึดตัวของโครงสร้างเครือข่าย (network) ของสายโมเลกุลในเม็ดสตาร์ช ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีการขยายตัวลดลง ดังนั้นค่าความหนืดสูงสุดจึงมีค่าลดลง (Gray และ Schoch, 1962)

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก เป็นลักษณะที่มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทางเคมีกายภาพ ได้แก่ การดูดซับน้ำ การพองตัว การละลาย และความหนืดของข้าว (Gujral และ Kumar, 2003)

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก โดยการวิเคราะห์ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่อง texture analyzer ซึ่งได้ค่าสังเกตที่บ่งบอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่ค่า hardness adhesiveness springiness cohesiveness และ chewiness เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความ

แตกต่างกันทางสถิติด้วยค่า least significant differences (LSDs) พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา มีผลทำให้ค่า hardness adhesiveness cohesiveness และ chewiness มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า springiness ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.10) โดยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุกจะมีความแข็ง (แสดงด้วยค่า hardness) มากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างตัวอย่างควบคุม (■) ตัวอย่างที่แยก free lipid (●) และตัวอย่างที่แยกทั้ง free lipid และ bound lipid (▲)

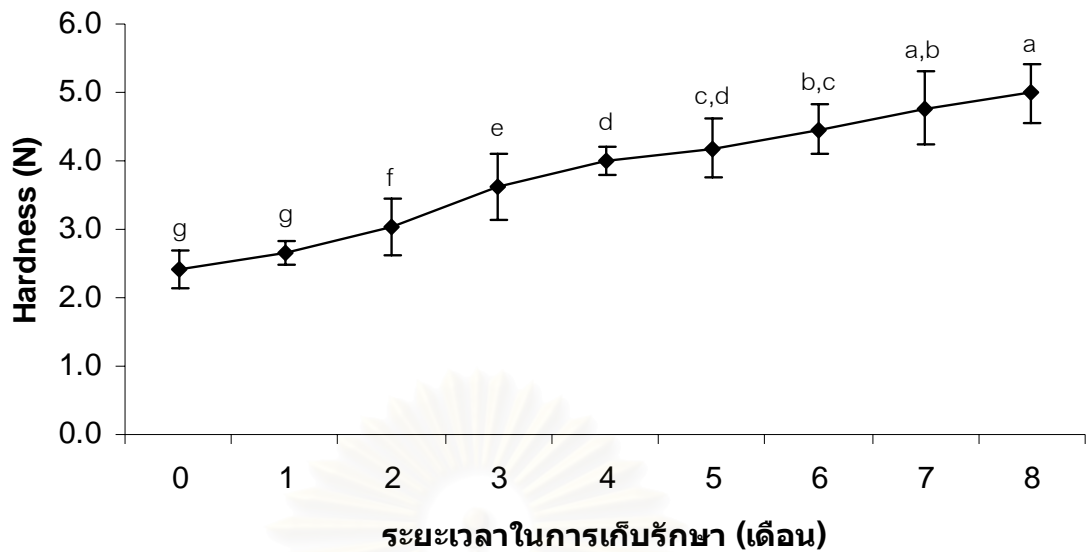
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

แหล่งความแปรปรวน	hardness	adhesiveness	springiness	cohesiveness	chewiness
time	*	*	NS	*	*
CV (%)	10.14	38.36	9.17	7.77	19.72

time = ระยะเวลาในการเก็บรักษา 8 เดือน

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



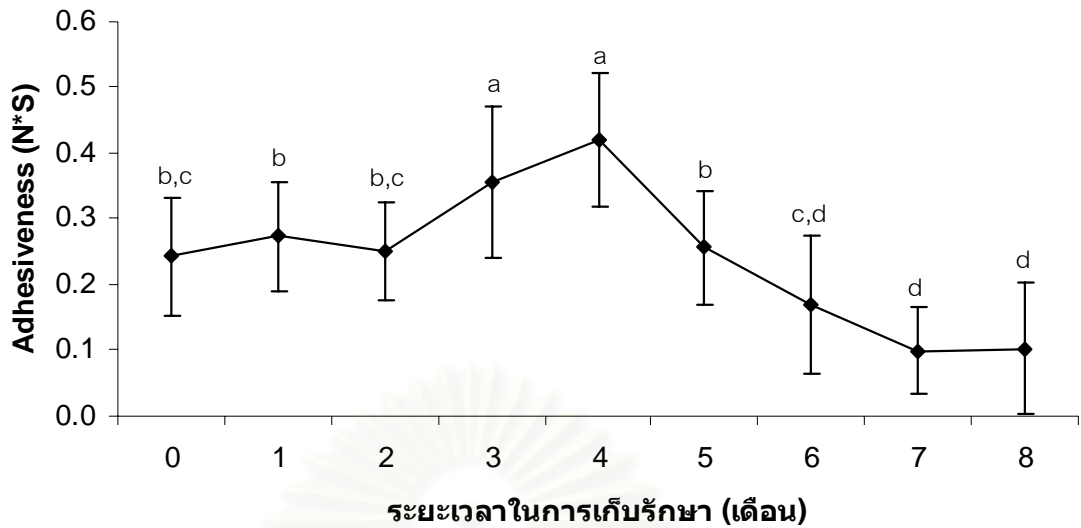
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงของค่า hardness ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

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

เมื่อพิจารณาที่ค่า adhesiveness ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเกาะติดกับพื้นหรือผิววัสดุอื่นๆ เช่น ซ้อน ทัพพี ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก พบว่าในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 0-4 เดือนจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากเดือนที่ 4 เป็นต้นไปจะเห็นว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุกจะมีค่า adhesiveness ลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาในการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าข้าวเก่าจะมีความสามารถในการเกาะติดกับพื้นลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.19

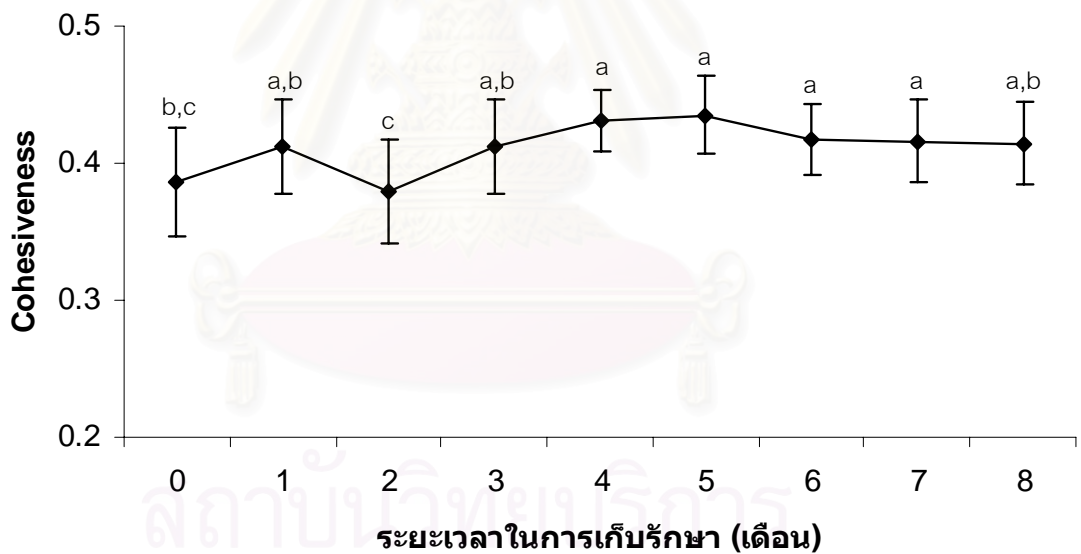
สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่า cohesiveness ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเกาะติดกันเองภายในของข้าวหุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุกจะมีค่า cohesiveness เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ดังแสดงในรูปที่ 4.20

สำหรับค่า chewiness หรือค่าความหนึบ ซึ่งเป็นค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวข้าวหุงสุกในปาก พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าข้าวเก่าจะมีความแข็งแรง และสามารถทนต่อการเคี้ยวของปากได้มากกว่าข้าวใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงของค่า adhesiveness ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

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

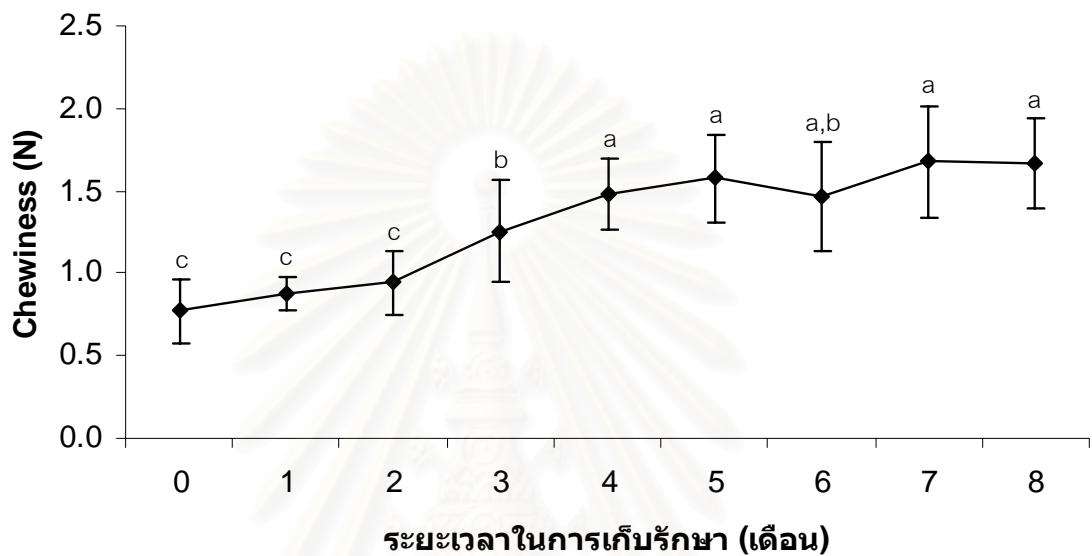


รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงของค่า cohesiveness ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

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

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในระหว่างการเก็บรักษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Perdon และคณะ (1997) ที่รายงานว่าข้าวขาวหุงสุกพันธุ์ Bengal และ Cypress ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -13 และ 3°C พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีค่าความแน่นเนื้อ (firmness) เพิ่มขึ้น และมีค่าความเหนียว (stickiness) ลดลงตามระยะเวลาในการ

เก็บรักษา เช่นเดียวกับ Gujral และ Kumar (2003) ที่ศึกษาผลของการเร่งภาวะในการเก็บรักษา ด้วยการปรับระดับความชื้นของข้าวเปลือกให้เท่ากับ 14, 18 และ 22% ที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวระหว่างการศึกษาพบว่า ข้าวหุงสุกทั้งข้าวขาว และข้าวกล้องจะมีค่า hardness cohesiveness และ springiness เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า adhesiveness มีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของค่า chewiness ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุกในระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

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

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเนื้อสัมผัส กับปริมาณอมัยโลสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

รูปแบบความสัมพันธ์	ค่า Pearson correlation
ปริมาณอมัยโลส กับ ค่า hardness	0.957*
ปริมาณอมัยโลส กับ ค่า adhesiveness	-0.221 ^{NS}
ปริมาณอมัยโลส กับ ค่า cohesiveness	0.721*
ปริมาณอมัยโลส กับ ค่า chewiness	0.975*

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS = ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

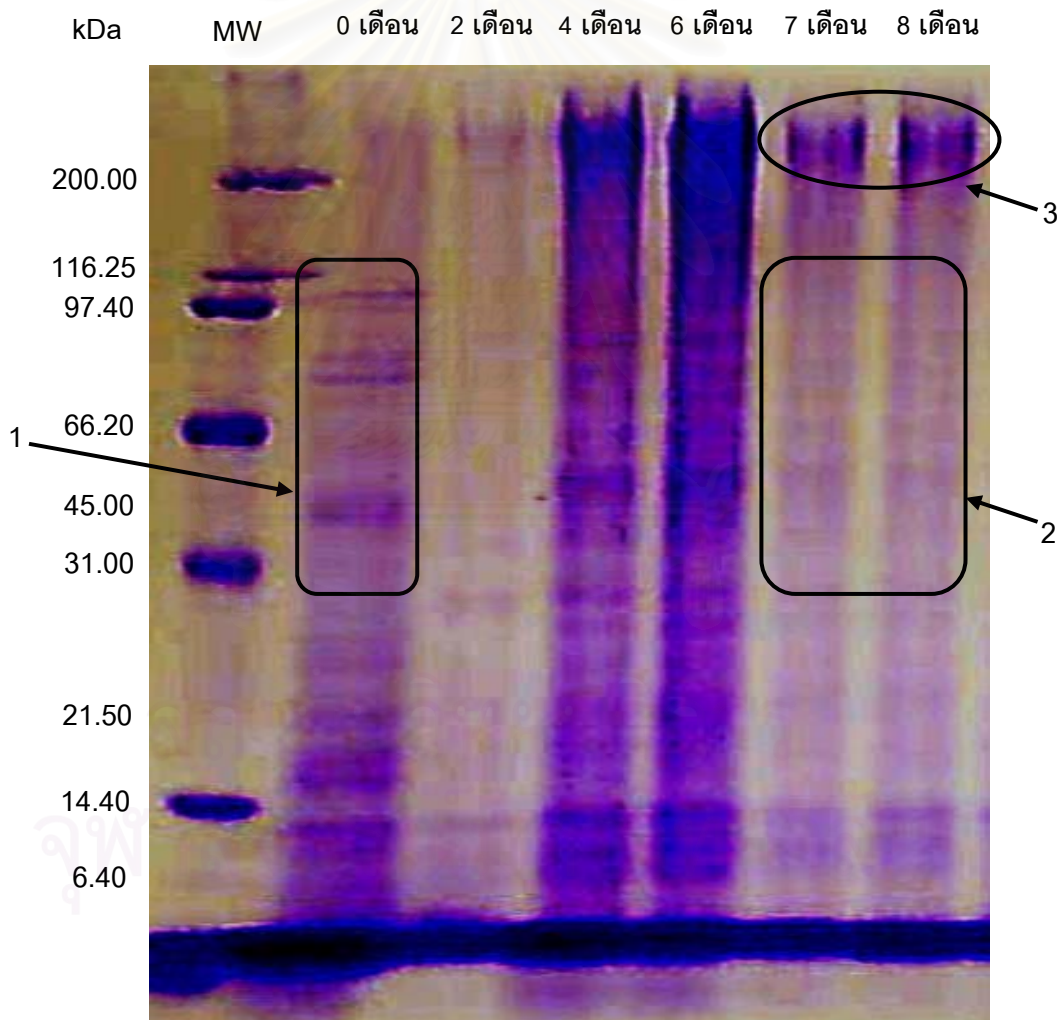
4.2.4 การศึกษารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส (SDS-PAGE) แบบมิติเดียว ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษารูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา โดยการสกัดโปรตีนในข้าว แล้ววิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส แบบมิติเดียว ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.22 โดยจะเห็นว่ารูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ทั้ง 8 เดือนจะเป็นแบบกระจาย คือ มีทั้งโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ กลาง และเล็ก แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้สัดส่วนของโปรตีนแต่ละขนาดไม่เท่ากัน โดยข้าวใหม่ (อายุการเก็บ 0 เดือน) จะมีปริมาณของโปรตีนขนาดกลางได้แก่ โปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลประมาณ 45 75 80 และ 100 กิโลดาลตัน อยู่ในปริมาณสูง แต่เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นพบว่าข้าวเก่าโดยเฉพาะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 7 และ 8 เดือน จะมีปริมาณของโปรตีนที่มีขนาดกลางลดลง โดยสังเกตได้จากความเข้มของแถบโปรตีนที่มีขนาดกลางในข้าวใหม่ (สีเหลี่ยมหมายเลข 1) จะมีความเข้มมากกว่าแถบโปรตีนที่มีขนาดกลางในข้าวเก่า (สีเหลี่ยมหมายเลข 2) แต่กลับพบว่ามีโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดโมเลกุลมากกว่า 200 กิโลดาลตัน) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการตรวจพบแถบโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ในข้าวเก่า (วงกลมหมายเลข 3) แต่เมื่อพิจารณาแถบโปรตีนของข้าวที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 4 และ 6 เดือนจะเห็นว่ามีความเข้มจนไม่สามารถเปรียบเทียบแถบโปรตีนแต่ละขนาดได้ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากโปรตีนที่สกัดได้จากข้าวมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตปนอยู่ด้วย จึงส่งผลให้สีข้มเจลเกิดการปนเปื้อน ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 โดยโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 มีแนวโน้มที่จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่มากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของขนาดโปรตีนในข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 อาจเกิดเนื่องจากการสร้างพันธะไคซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chrastil (1990b) ที่พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนโอริเซนิน (oryzenin) ของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 1 ปี จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (ตารางที่ 2.7)

เมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงของขนาดโมเลกุลของโปรตีนในข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษามาพิจารณาร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติง และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 หุงสุก พบว่าการเพิ่มขึ้นของขนาดโมเลกุลโปรตีนส่งผลให้สมบัติเพสติง และเนื้อสัมผัสของข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโปรตีนในข้าวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะช่วยให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นเม็ดสตาร์ชจึงพองตัวได้ต่ำลง และมีความสามารถในการทนต่อแรงเฉือนได้มากขึ้น เมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติเพสติงจึงทำให้ค่าความหนืดสูงสุด และค่า breakdown มีค่าลดลง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนดังกล่าว

ยังอาจส่งผลให้ข้าวหุงสุกมีความแข็ง (ค่า hardness) มากขึ้น จึงต้องใช้แรงในการเคี้ยวมากขึ้น (ค่า chewiness) ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

แต่ในการศึกษาขั้นนี้ไม่สามารถบอกชนิด และน้ำหนักโมเลกุลที่ชัดเจนได้ เนื่องจากเทคนิคการแยกโปรตีนแบบมิติเดียวเป็นเทคนิคการแยกโปรตีนอย่างหยาบ จึงไม่สามารถบอกความแตกต่างที่ละเอียดมากๆ ได้ นอกจากนี้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบโปรตีนที่ต้องการความแตกต่างมากขึ้น จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวมากกว่านี้ ดังนั้นในการวิจัยต่อไปเป็นไปได้ที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานกว่านี้ และอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์โปรตีนที่ละเอียดมากกว่านี้ เช่น การวิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส แบบ 2 มิติ เป็นต้น



รูปที่ 4.22 รูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา 8 เดือน

MW = โปรตีนมาตรฐานที่ใช้เป็น molecular weight marker

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในทุ่งกุลาพื้นที่แตกต่างกัน

พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกได้มีปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณอภัยโลธ และปริมาณโปรตีน) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีแสดงว่า ปริมาณอภัยโลธที่ได้จากข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ทั้ง 42 พื้นที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารหอม 2-AP อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

5.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี สารหอม 2-AP สมบัติเพสติง และรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

5.2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารหอม 2-AP ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณสารหอม 2-AP และปริมาณความชื้นของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 จะมีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณอภัยโลธจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนปริมาณ free lipid ปริมาณ bound lipid และร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันทั้งที่ได้จาก free lipid และ bound lipid (ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดโอเลอิก (C18:1 $\Delta 9$) และกรดไลโนเลอิก (C18:2 $\Delta 9,12$)) ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดพบว่า ปริมาณสารหอม 2-AP มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณโปรตีน และปริมาณอภัยโลธ แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ bound lipid อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จึงได้เสนอโครงสร้างแบบจำลองการจับกันระหว่าง amylose-lipid complex และสารหอม 2-AP

5.2.2 ศึกษาผลของไขมัน โปรตีนและการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติง ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 มีค่าความหนืดสูงสุด ค่า peak time และ ค่า breakdown ลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่า setback ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ไม่มีเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การเติมสาร β -mercaptoethanol ลงในข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ใหม่ (ที่ 0 เดือน) ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าลดลง แต่เมื่อนำข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 เก่า (ที่ตั้งตั้งแต่ 2 เดือนขึ้นไป) มาเติมสาร β -mercaptoethanol กลับพบว่าค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พิสูจน์ให้เห็นว่าโปรตีนในข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยจะเกิดการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายโปรตีน ส่วนค่า breakdown จะมีค่าเพิ่มขึ้น และค่า setback จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติมสาร β -mercaptoethanol ลงในข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ทั้งใหม่และเก่า

การแยก free lipid ในข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ออก ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อแยกทั้ง free lipid และ bound lipid ออกจากข้าว กลับพบว่าค่าความหนืดสูงสุดของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

5.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 มีค่า hardness cohesiveness และ chewiness เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า adhesiveness จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า springiness ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

5.2.4 ศึกษารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส แบบมิติเดียว (SDS-PAGE) ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อรูปแบบโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 โดยโปรตีนของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 มีแนวโน้มที่จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทั้งหมด ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อมในการปลูกข้าว เช่น ชนิดและสภาพดิน ความชื้นในดิน อุณหภูมิ แสง อากาศ ชนิดและปริมาณปุ๋ยที่มีต่อปริมาณสารหอม 2-AP เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่จะให้ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีปริมาณสารหอม 2-AP สูงที่สุด และอาจศึกษาถึงผลของปริมาณอามัยโลสเริ่มต้นของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีต่อปริมาณสารหอม 2-AP เริ่มต้น โดยอาจจะใช้เทคนิคการตัดแต่งพันธุกรรมให้ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณอามัยโลสที่แตกต่างกัน แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-AP เริ่มต้นว่าให้ปริมาณที่แตกต่างกันหรือไม่ นอกจากนี้ยังอาจศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานกว่านี้ และอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์โปรตีนที่ละเอียดมากขึ้น เช่น การวิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบ 2 มิติ เพราะระยะเวลาที่นานมากขึ้นอาจทำให้ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของข้าวมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาผลของโปรตีนที่มีต่อสมบัติเพศดิงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทำให้ทราบว่าพันธะไดซัลไฟด์ภายในโปรตีนเป็นพันธะที่มีผลต่อสมบัติเพศดิง ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าว จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปสู่การปรับปรุงสมบัติเพศดิงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เพื่อให้ได้สมบัติเพศดิงตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการให้ข้าวยังคงมีความนุ่ม ไม่แข็งตามระยะเวลาในการเก็บรักษา จำเป็นจะต้องหาแนวทางป้องกันการรวมตัว หรือการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลโปรตีนในข้าวในระหว่างการเก็บรักษา เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- งามชื่น คงเสรี. 2540. การวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยข้าว.
- งามชื่น คงเสรี. 2545. เอกสารประกอบการอบรมปฏิบัติการในหลักสูตร "คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวอื่นปนในข้าวหอมมะลิไทย". กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร, เพลงพิณ ศิวพรรักษ์ และ ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2547. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของข้าวขาวดอกมะลิสายพันธุ์ 105 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 27: 285-297.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2543. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- พัศกร เจียตระกูล. 2545. การเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิให้คงความหอมด้วยวิธี Grain Chilling. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุกัญญา วงศ์พรชัย. 2544. การวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-อะเซทิล-1-ไพโรโรลีนในข้าวด้วยวิธีทางเคมี. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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.
- A.O.C.S. 1993. Official Methods and Recommended Practices. American Oil Chemists' Society. 4th ed. Champaign, IL.: American Oil Chemists' Society.
- Banks, W. and Greenwood, C.T. 1972. On hydrogen bonding in amylose. Biopolymers. 11: 321-323.
- Barber, S. 1972. Milled Rice and Changes During Ageing In Rice: Chemistry and Technology. 1st Ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Bogdan, J.D. and David, A.V. 2001. Cereals and Cereal Products Chemistry and Technology. Aspen Publishers, Inc., Maryland.

- Buttery, R.G., Ling, L.C., Juliano, B.O. and Turnbaugh, J.G. 1983. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 31: 823-826.
- Buttery, R.G., Turnbaugh, J.G. and Ling, L.C. 1988. Contribution of volatiles to rice aroma. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 36: 1006-1009.
- Charstil, J. 1990a. Chemical and physicochemical changes of rice during storage at different temperatures. Journal of Cereal Science. 11: 71-85.
- Charstil, J. 1990b. Protein-starch interaction in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 38: 1804-1809.
- Charstil, J. 1994. Stickiness of oryzenin and starch mixtures of preharvest and postharvest rice grains. Journal of Agriculture Food Chemistry. 42: 2147-2151.
- Charstil, J. and Zarins, Z.M. 1992. Influence of storage on peptide subunit composition on rice oryzenin. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 40: 927-930.
- Charstil, J. and Zarins, Z.M. 1994. Changes in peptide subunit composition of albumins, globulins, prolamines and oryzenin in maturing rice grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42: 2152-2155.
- Gray, V.M. and Schoch, T.J. 1962. Effect of surfactants and fatty adjuncts on the swelling and solubilization of granular starch. Starch/Stärke. 14: 239.
- Gujral, H.S. and Kumar, V. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. Journal of Food Engineering. 59: 117-121.
- Indudhara Swamy, Y.M., Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. 1978. Changes in the physio-chemical properties of rice with aging. Journal of the Science of Food and Agriculture. 29: 627-639
- Juliano, B.O. 1981. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16: 334-340, 360.
- Juliano, B.O. 1985. Criteria and Tests For Rice Grain Qualities In Rice: Chemistry and Technology, 2nd Ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, U.S.A.

- Juliano, B.O., Perez, C.M., Blackeney, A.B., Castillo, T.D., Kongseree, N., Laignelet, B., Lapis, E.T., Murty, V.V.S., Paule, C.M. and Webb, B.D. 1981. International cooperative testing on the amylase content of milled rice. Starch/Stärke. 33: 157-162.
- Kaur, K. and Singh, N. 2000. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour. Food Chemistry. 71: 511-517.
- Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature. 227(259): 680-685.
- Lugay, J.C. and Juliano, B.O. 1964. Fatty acid composition of rice lipids by gas-liquid chromatography. Journal of American Oil Chemists Society. 41: 273-275
- Mahatheeranont, S., Keawsa-ard, S. and Dumri, K. 2001. Quantification of the rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 773-779.
- Martin, M. and Fitzgerald, M.A. 2002. Proteins in rice grains influence cooking properties. Journal of Cereal Science. 36: 285-294.
- Moritaka, S. and Yasumatsu, K. 1972. Studies on cereals. X. The effect of sulfhydryl groups on storage deterioration of milled rice. Eiyo To Shokuryo. 25: 59-62.
- Morrison, W.R. 1988. Lipid in cereal starches: A review. Journal of Cereal Science. 8: 1-15.
- Noomhorm, A., Kongseree, N. and Apintanapong, N. 1997. Effect of aging on the quality of glutinous rice crackers. Cereal Chemistry. 74: 12-15.
- Perdon, A.A., Marks, B.P., Siebenmorgen, T.J. and Reid, N.B. 1997. Effects of rough rice storage conditions on the amylograph and cooking properties of medium grain rice cv. Bengal. Cereal Chemistry 74: 864-867.
- Romanczyk, L.J., McClelland, C.A., Post, L.S. and Aitken, W.M. 1995. Formation of 2-acetyl-1-pyrroline by several *Bacillus cereus* strains isolated from cocoa fermentation boxes. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 43: 469-475.
- Schieberle, P. 1987. Formation of 2-acetyl-1-pyrroline and other important flavor compounds in wheat bread crust. In Thermal Generation of Aromas. American Chemical Society: Washington, DC.

- Schieberle, P and Grosch, W. 1985. Identification of the volatile flavor compounds of wheat bread crust comparison with rye bread crust. Z Lebensm Forsch. 185: 111–113.
- Shibuya, N. and Iwasaki, T. 1984. Effect of cell wall degrading enzymes on the cooking properties of milled rice and the texture of cooked rice. Journal of the Japanese Society of Food Science and Technology. 31: 656–660.
- Singh, R.K., Singh, U.S. and Khush, G.S. 2001. Aromatic Rices. Oxford and IBH Publishing., India.
- Sowbhagya, C.M. and Bhattacharyat, K.R. 2001. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. Journal of Cereal Science. 34: 115-124.
- Sugimoto, T., Tanaka, K. and Kasai, Z. 1986. Molecular species in the protein body (ii) (PBII) of developing rice endosperm. Agricultural Biological Chemistry. 50: 3031-3035.
- Suwanarit, A., Kreetapirom, S., Buranakarn, S., Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Somboonpong, S., Rattapat, S., Ratanasupa, S., Romyen, P., Wattanapryapakul, S., Naklang, K., Rotjanakusal, S. and Pornurisnit, P. 1996. Effect of nitrogen fertilizer on grain qualities of Khao Dawk Mali 105. Kasetsart Journal of Nature Science. 30: 458-474.
- Tanchotikul, U. and Hsieh, Y. 1991. An improved method for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline, a 'popcorn'-like Aroma, in aromatic rice by High-Resolution Gas Chromatography/Mass Spectrometry/Selected Ion Monitoring. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 39: 994-947
- Tester, R.F. and Morrison, W.R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. Cereal Chemistry. 67: 551–557.
- Vasanthan, T., and Hoover, R. 1992a. A comparative study of the composition of lipids associated with starch granules from various botanical sources. Food Chemistry. 43: 19–29.
- Vasanthan, T., and Hoover, R. 1992b. Effect of defatting on starch structure and physicochemical properties. Food Chemistry. 45(5): 337–347.
- Villareal, R.M., Resurreccion, A.P., Suzuki, L.B. and Juliano, B.O. 1976. Changes in physicochemical properties of riceduring storage. Starch/Stärke. 28: 88–94.

- Viraktamath, S.C. and Desikachar, H.S.R. 1971. Rice Quality Workshop 2003. [On line]. Available from: <http://www.agronomy.ucdavis.edu> [2005, July1]
- Widjaja, R., Craske, J.D. and Wootton, M. 1996. Change in volatile components of paddy, brown and white fragrant rice during storage. Journal of Science Food Agricultural. 71: 218-224.
- Widjaja, R., Wootton, M. and Craske, J.D. 1996. Comparative studies on volatile components of non-fragrant and fragrant rices. Journal of Science Food Agricultural. 70: 151-161.
- Wongpornchai, S., Dumri, K., Jongkaewwattana, S. and Siri, B. 2004. Effect of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105. Food Chemistry. 87: 407-414.
- Wongpornchai, S., Sriseadka, T. and Choonvisase, S. 2003. Identification and quantitation of rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in bread flowers (*Vallaris glabra* Ktze). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51: 457-462.
- Yajima, I., Yanai, T., Nakamura, M., Sakakibara, H. and Habu, T. 1978. Volatile flavor components of cooked rice. Agricultural Biological Chemistry. 42: 1229-1233.
- Yajima, I., Yanai, T., Nakamura, M., Sakakibara, H. and Hayashi, K. 1979. Volatile flavor components of cooked kaorimai (scented rice, *O. sativa japonica*). Agricultural Biological Chemistry. 43: 2425-2429.
- Yasumatsu, K., Moritaka, S. and Wada, S. 1966. Stale flavour of stored rice. Agricultural and Biological Chemistry. 30: 483-486.
- 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. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 2001-2004
- Yoshihashi, T., Nguyen, T.T.H. and Kabaki, N. 2004. Area dependency of 2-acetyl-1-pyrroline content in an aromatic rice variety, Khao Dawk Mali 105. Japan Agricultural Research Quarterly. 38: 105-109.
- Yoshihashi, T., Nguyen, T.T.H., Surojanametakul, V., Tungtrakul, P. and Varayanond W. 2005. Effect of storage conditions on 2-acetyl-1-pyrroline content in aromatic rice variety, Khao Dawk Mali 105. Journal of Food Science. 70: 34-37.

Zhou, Z. K., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2002. Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes. Journal of Cereal Science. 35: 65–78.

Zhou, Z. K., Blanchard, C., Helliwell, S. and Robards, K. 2003. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. Journal of Cereal Science. 37: 327–335.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-แอสิติล-1-ไพโรโรลีน ด้วยวิธีการใช้สารละลายกรด ตามวิธีของ Wongpornchai และคณะ (2003)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography; GC) ยี่ห้อ Hewlett Packard (HP) รุ่น 6850
2. เครื่องเขย่า (shaker)
3. ขวดกรวยแยก (separatory funnel) ขนาด 250 ml.
4. ขวด V-shaped vial

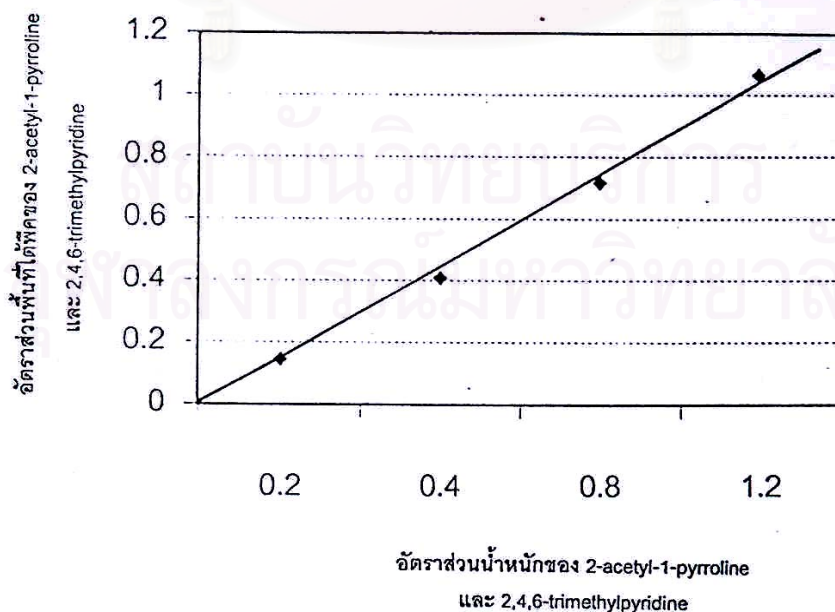
สารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่มีสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-ไตรเมทิลไพรีดีนเข้มข้น 0.25 mg./l.
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5.0 โมลาร์
3. สารละลายไดคลอโรมีเทน
4. สารแอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาด 1 mm. ผสมให้เข้ากัน แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าวประมาณ 5 g. พร้อมกับจดน้ำหนักข้าวที่แน่นอนใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml.
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 50 ml. เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที นาน 30 นาที
3. นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกส่วนกากออก
4. นำสารละลายใส่มาใส่ขวดกรวยแยก แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5.0 โมลาร์ปริมาตร 1.2 ml. และสารละลายไดคลอโรมีเทนปริมาตร 50 ml.
5. ทำการสกัดแล้วแยกส่วนสารละลายในชั้นไดคลอโรมีเทน (ชั้นล่าง) มาเก็บไว้ ส่วนสารละลายในชั้นน้ำ (ชั้นบน) จะนำมาสกัดอีกครั้งด้วยสารไดคลอโรมีเทนปริมาตร 50 ml. (หากสารละลายผสมไม่แยกชั้นให้นำไปเหยียงแยกที่ความเร็วรอบ 2000-3500 รอบ/นาที นาน 3 นาที)

6. นำสารละลายในชั้นไดคลอโรมีเทนที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 ครั้งมารวมกัน แล้วกำจัดน้ำด้วยการเติมสารแอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต
7. กรองแยกสารแอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต แล้วนำสารละลายสกัดไประเหยด้วยเครื่องระเหยที่อุณหภูมิ 40 °C จนมีปริมาตรเหลือ 1 ml.
8. นำสารละลายสกัดไปใส่ในขวด vial เปิดฝาทิ้งไว้ให้ระเหยที่อุณหภูมิห้องจนมีปริมาตรเหลือ 0.1 ml. แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี โดยภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นดังนี้
 - เครื่อง GC ยี่ห้อ Hewlett Packard (HP) รุ่น 6850
 - คอลัมน์ รุ่น HP-1 ความยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.32 mm. ความหนาของฟิล์ม 0.25 μm
 - ปริมาตรตัวอย่างที่ฉีด 1 μL
 - split ratio 5:1
 - อุณหภูมิเครื่อง 250°C
 - ความดัน 4.87 psi
 - ใช้ He เป็นแก๊สนำพา (carrier gas) ที่ความเร็วในการไหล 1 ml./นาที
 - ใช้ detector ชนิด flame ionization detector (FID)
9. นำโครมาแกรมของสารหอม 2-AP ที่ได้มาหาอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟระหว่างสารหอม 2-AP และสารมาตรฐานภายใน TMP นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานสารหอม 2-AP ดังแสดงในรูปที่ ก.1 เพื่อหาปริมาณสารหอม 2-AP (ppm)



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานสารหอม 2-AP

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธี air oven method

ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.A.C. (1990) โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้อบจาก $130\pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็น $100\pm 5^{\circ}\text{C}$

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อนของ Memmert รุ่น model 600, Germany

วิธีการทดลอง

1. นำถั่วยอลูมิเนียมไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักถั่วยอลูมิเนียมเปล่าที่แน่นอนเก็บไว้
2. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาด 1 mm. ผสมให้เข้ากัน แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าวประมาณ 2 g. ใส่ในถั่วยอลูมิเนียมที่แห้งสนิท
3. นำตัวอย่างข้าวที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาภาชนะอลูมิเนียม
4. นำตัวอย่างออกจากตู้อบพร้อมกับปิดฝาภาชนะอลูมิเนียม ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักถั่วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างที่แน่นอน
5. นำตัวอย่างข้าวอบต่อในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ โดยให้มีความชื้นมีความคลาดเคลื่อนได้ร้อยละ 0.2
6. ชั่งน้ำหนักถั่วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง แล้วหักลบด้วยน้ำหนักของถั่วยอลูมิเนียมเปล่าจะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

การคำนวณปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (dry basis)

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมด (crude fat)

ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet extractor)
2. ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Memmert รุ่น model 600, Germany

สารเคมี

1. สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการทดลอง

1. นำขวดก้นกลมขนาด 250 ml.มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมเปล่าที่แน่นอนเก็บไว้
2. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาด 1 mm. ผสมให้เข้ากันนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าวแห้งประมาณ 2 g. พร้อมกับจดน้ำหนักข้าวที่แน่นอน ใส่ลงกระดาษกรอง ห่อกระดาษกรองใส่ลงในทิมเบอร์
3. นำทิมเบอร์ที่ใส่ตัวอย่างและขวดก้นกลมเปล่าที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปประกอบเข้าในเครื่องสกัดไขมัน ที่ใช้สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ ปริมาตร 200 ml.เป็นสารละลายสกัด
4. สกัดไขมันนาน 3 ชั่วโมง
5. นำขวดก้นกลมที่ได้หลังการสกัดไประเหยสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ออกด้วยเครื่องระเหยจนหมด
6. นำขวดก้นกลมไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมหลังการสกัดไขมันที่แน่นอน เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไขมันทั้งหมดในตัวอย่าง

การคำนวณปริมาณไขมันทั้งหมด

$$\text{ร้อยละไขมันทั้งหมด} = \frac{(\text{น้ำหนักขวดก้นกลมหลังการสกัด} - \text{น้ำหนักขวดก้นกลมเปล่า}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณ crude protein ด้วยวิธี Kjeldahl method

ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องย่อยโปรตีน ยี่ห้อ Buchi รุ่น K-424, Switzerland
2. เครื่องกลั่นไนโตรเจน ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-324, Switzerland

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 35%
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4%
5. สารผสมซีลีเนียมมิกเซอร์
6. สารเมทิลเรด อินดิเคเตอร์

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาด 1 mm. ชั่งน้ำหนักข้าวประมาณ 2 g. ใส่ลงในกระดาศกรงเบอร์ 1 จดน้ำหนักข้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์ ห่อกระดาศกรงแล้วใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน (แบบที่ใช้กระดาศกรงที่ไม่มีตัวอย่าง)
2. ชั่งสารผสมซีลีเนียมมิกเซอร์หนัก 5 g. ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
3. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 25 ml. ลงในหลอดย่อย
4. ต่อหลอดย่อยโปรตีนเข้าเครื่องย่อยโปรตีน เปิดเครื่องย่อยโปรตีนจนกระทั่งสีของสารละลายตัวอย่างมีสีเขียวอ่อน
5. ยกหลอดย่อยโปรตีนออกจากเครื่องย่อยโปรตีนทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
6. นำหลอดย่อยโปรตีนที่เย็นแล้วและขวดรูปชมพู่ที่เติมสารเมทิลเรด อินดิเคเตอร์ลงไป 2-3 หยดไปต่อเข้าเครื่องกลั่นไนโตรเจน ตั้งสภาวะในการกลั่นดังนี้
 - สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 35% ปริมาตร 80 ml.
 - สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาตร 50 ml.
 - น้ำกลั่น ปริมาตร 50 ml.
 - ระยะเวลาในการกลั่น 5 นาที

7. เมื่อกลับเสร็จแล้วล้างปลายหลอดเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น แล้วนำขวดรูปชมพู่ที่ได้จากการกลั่นไปไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งถึงจุดยุติที่ให้สีม่วง จดปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตไปคำนวณหาปริมาณโปรตีน

การคำนวณปริมาณโปรตีน (dry basis)

$$\text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} = \frac{\text{ปริมาตรกรด HCl ที่ใช้ไตเตรต} \times \text{ความเข้มข้นของ HCl} \times 1.4 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$\text{ร้อยละปริมาณโปรตีน} = \text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} \times 5.95$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณอัมยโลสด้วยวิธี spectrophotometry

ตามวิธีของ Juliano (1982)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่อง magnetic stirrer และ magnetic bar

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
2. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มัล
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล
4. สารละลายไอโอดีน เตรียมจาก I_2 0.2 g. และ KI 2.0 g. ละลายในน้ำกลั่น 100 ml.
5. อัมยโลสบริสุทธิ์

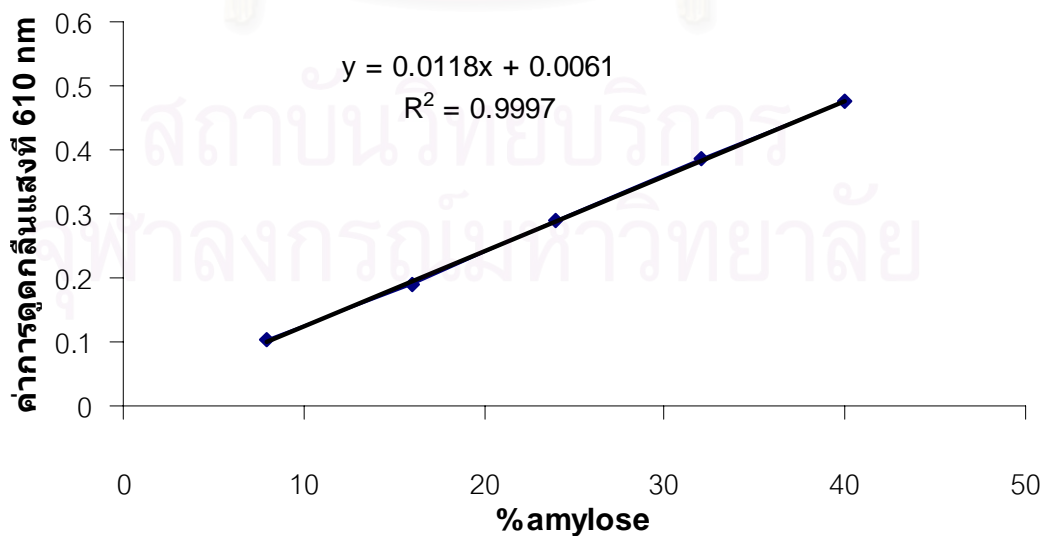
วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ซึ่งน้ำหนักแบ่งข้าวประมาณ 0.1000 g. ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 ml. ที่แห้งสนิท
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 ml. เขย่าเบาๆ เพื่อเกลี่ยแบ่งให้กระจายออก อย่าเขย่าแรง เพราะจะทำให้แบ่งขึ้นไปเกาะตามผนังขวดแก้ว
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 9 ml. โดยในขณะที่เติมสารละลายนี้ให้ล้างแบ่งที่เกาะติดตามคอขวดและตามผนังด้วย
4. ใส่แท่งแม่เหล็กลงในขวดปริมาตร แล้วไปปั่นบนเครื่อง magnetic stirrer นาน 10 นาที จากนั้นนำแท่งแม่เหล็กออกจากขวดปริมาตร โดยก่อนที่แท่งแม่เหล็กจะพ้นปากขวดให้ล้างด้วยน้ำกลั่น เพื่อล้างตัวอย่างที่ติดมากับแท่งแม่เหล็กกลับลงในขวด
5. เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml. ปิดจุก เขย่าขวดปริมาตร
6. เตรียมขวดปริมาตรเปล่าขนาด 100 ml. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 ml. สารละลายกรดอะซิติก ปริมาตร 2 ml. และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 ml.
7. ดูดน้ำแบ่งจากขวดปริมาตรในข้อที่ 5 ปริมาตร 5 ml. ใส่ลงในขวดปริมาตรที่เตรียมไว้ในข้อที่ 6 เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml. ปิดจุกและเขย่าขวด ตั้งทิ้งไว้ นาน 10 นาที (แบบลค์ไม่ต้องใส่น้ำแบ่ง)

8. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นแสง 610 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณค่าปริมาณอัมัยโลสโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

การเขียนกราฟมาตรฐานอัมัยโลส

1. ชั่งอัมัยโลสบริสุทธิ์ 0.0400 g. ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 ml. แล้วดำเนินการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณอัมัยโลสในตัวอย่างในข้อที่ 2-5 ได้เป็นสารละลายมาตรฐาน
2. เตรียมขวดปริมาตรเปล่าขนาด 100 ml. จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละประมาณ 70 ml. เติมสารละลายกรดอะซิติกปริมาตร 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 ml.ตามลำดับและเติมสารละลายไอโอดีนขวดละ 2 ml.
3. ดูดสารละลายมาตรฐาน ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 ml. ใส่ลงในขวดปริมาตรที่เตรียมไว้ในข้อที่ 2 ตามลำดับ
4. เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml. ปิดจุก เขย่าขวด
5. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 610 นาโนเมตร
6. เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าปริมาณอัมัยโลส (แกน y) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน x) โดยค่าปริมาณอัมัยโลสของสารละลายมาตรฐานเป็น 8, 16, 24, 32 และ 40% ตามลำดับ
7. เทียบค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานอัมัยโลส (รูปที่ ก.2) เพื่อหาปริมาณอัมัยโลส



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานอัมัยโลส

ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณ free lipid , bound lipid และองค์ประกอบของกรดไขมัน

ดัดแปลงจากวิธีของ Vasanthan และ Hoover (1992a), A.O.C.S. (1993) และ Zhou และคณะ (2003)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet extractor)
2. ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Memmert รุ่น model 600, Germany
3. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography; GC) ยี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์
2. สารละลายผสม 3:1 (v/v) โพรพานอล:น้ำ
3. สารละลาย 14% BF₃-methanol
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลเข้มข้น 0.5 นอร์มัล
5. สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว
6. เฮปแทน
7. แอนไฮดริส โซเดียมซัลเฟต

วิธีการทดลอง

1. การสกัดและหาปริมาณ free lipid

- 1.1 นำขวดก้นกลมขนาด 250 ml.มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมเปล่าที่แน่นอนเก็บไว้
- 1.2 นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาด 1 mm. ชั่งน้ำหนักข้าวประมาณ 1.5 g.แบ่งใส่ลงในกระดาษกรองเบอร์ 1 จำนวน 2 แผ่น จดน้ำหนักข้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์ ห่อกระดาษกรองแล้วใส่ลงในทิมเบอร์
- 1.3 นำทิมเบอร์ที่ใส่ตัวอย่างและขวดก้นกลมเปล่าที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปประกอบเข้าในเครื่องสกัดไขมัน ที่ใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ปริมาตร 200 ml.เป็นสารละลายสกัด
- 1.4 สกัดไขมันนาน 16 ชั่วโมง
- 1.5 นำขวดก้นกลมที่ได้หลังการสกัดไประเหยสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ออกด้วยเครื่องระเหยจนหมด แล้วนำไปใช้เตรียมเป็น fatty acid methyl ester ต่อไป

- 1.6 นำขวดกักกลมไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักขวดกักกลมหลังการสกัดไขมันที่แน่นอน เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณ free lipid ในตัวอย่าง

การคำนวณปริมาณ free lipid

$$\text{ร้อยละ free lipid} = \frac{(\text{น้ำหนักขวดกักกลมหลังการสกัด} - \text{น้ำหนักขวดกักกลมเปล่า}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

2. การสกัด bound lipid

- 2.1 นำขวดกักกลมขนาด 250 ml. มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 2.2 นำทิมเบอร์ที่ใส่ตัวอย่างข้าวที่สกัด free lipid ออกแล้วมาประกอบเข้ากับเครื่องสกัดไขมันที่ใช้สารละลายผสม 3:1 (v/v) โพรพานอล:น้ำ ปริมาตร 200 ml. เป็นสารละลายสกัด
- 2.3 สกัดไขมันนาน 8 ชั่วโมง
- 2.4 นำขวดกักกลมที่ได้หลังการสกัดไประเหยสารละลายผสม 3:1 (v/v) โพรพานอล:น้ำออกด้วยเครื่องระเหยจนหมด แล้วนำไปใช้เตรียมเป็น fatty acid methyl ester ต่อไป

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันใน free lipid และ bound lipid

- 3.1 นำขวดกักกลมที่ได้หลังการสกัด free lipid และ bound lipid ในข้อ 1.5 และ 2.4 ตามลำดับ มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ปริมาตร 4 ml. และ boiling chip
- 3.2 นำขวดกักกลมไปต่อเข้ากับ water-cooled condenser แล้วให้ความร้อนบนอ่างน้ำร้อน นาน 10 นาที
- 3.3 เติมสารละลาย 14% BF_3 -methanol ปริมาตร 5 ml. ผ่าน water-cooled condenser ให้ความร้อนต่อ นาน 2 นาที
- 3.4 เติมเฮปเทนปริมาตร 5 ml. ผ่าน water-cooled condenser ให้ความร้อนต่อ นาน 1 นาที
- 3.5 แยกขวดกักกลมออกจาก water-cooled condenser แล้วเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ปริมาตร 15 ml. ปิดฝา เขย่า นาน 15 วินาที ขณะที่สารละลายยังอุ่นอยู่
- 3.6 เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวจนถึงชั้นของ fatty acid methyl ester สูงถึงคอขวดกักกลม แล้วดูด fatty acid methyl ester ออกมาใส่หลอดทดลอง
- 3.7 เติมสารแอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟตเล็กน้อย เขย่าหลอดทดลอง

3.8 ดูด fatty acid methyl ester ลงสู่ขวด vial ปิดฝา แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี โดยสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นดังนี้

- คอลัมน์ รุ่น DB-23 ความยาว 60 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.25 mm. ความหนาของฟิล์ม 0.25 μm
- ปริมาตรตัวอย่างที่ฉีด 1 μL
- split ratio 50:1
- อุณหภูมิเครื่อง 230 $^{\circ}\text{C}$
- ความดัน 35 psi
- ใช้ He เป็นแก๊สนำพา (carrier gas) ที่ความเร็วในการไหล 1 ml./นาที่
- ใช้ detector ชนิด flame ionization detector (FID)

การคำนวณปริมาณ bound lipid

นำโครมาโตแกรมของกรดไขมันทั้ง free lipid และ bound lipid มาคำนวณค่าพื้นที่ใต้พีค รวมของกรดไขมันหลักในข้าวได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกแล้วนำค่าพื้นที่ใต้พีค รวมมาคำนวณอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีครวมของ free lipid และ bound lipid และคำนวณหาปริมาณ bound lipid ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{อัตราส่วน พื้นที่ใต้พีค} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีครวมของ free lipid}}{\text{พื้นที่ใต้พีครวมของ bound lipid}}$$

$$\text{ร้อยละ bound lipid} = \text{อัตราส่วนพื้นที่ใต้พีค} \times \text{ร้อยละ free lipid}$$

การคำนวณสัดส่วนของกรดไขมันใน free lipid และ bound lipid

นำโครมาโตแกรมของกรดไขมันทั้ง free lipid และ bound lipid มาคำนวณสัดส่วนของพื้นที่ใต้พีคของกรดไขมันหลักในข้าวได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกต่อพื้นที่ใต้พีคของกรดไขมันทั้ง 3 ชนิดรวมกัน ดังตัวอย่างสูตรต่อไปนี้

$$\text{สัดส่วนพื้นที่ใต้พีคของกรดปาล์มมิติก} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของกรดปาล์มมิติก}}{\text{พื้นที่ใต้พีคของกรดไขมันหลักทั้ง 3 รวมกัน}}$$

ก.7 การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเพื่อใช้วิเคราะห์สมบัติเพสติงด้วยเครื่อง RVA

ดัดแปลงจากวิธีของ Vasanthan และ Hoover (1992b)

สารเคมี

1. สารละลายผสม 2:1 (v/v) คลอโรฟอร์ม:เมทานอล
2. สารละลายผสม 3:1 (v/v) โพรพานอล:น้ำ

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างข้าวมาบดด้วยเครื่องบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh จะได้ตัวอย่างแป้งข้าวควบคุม
2. ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวหนัก 15 g. ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml. เติมสารละลายผสม 2:1 (v/v) คลอโรฟอร์ม:เมทานอล ปริมาตร 150 ml. ปิดฝา เขย่านาน 1 ชั่วโมง ทำซ้ำ 2 ขวด
3. กรองแยกแป้งข้าวด้วยกระดาษกรอง ที่งัดแป้งข้าวให้แห้ง จะได้ตัวอย่างแป้งข้าวที่แยก free lipid ออกแล้ว
4. นำแป้งข้าวที่แยก free lipid แล้วมาใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml. เติมสารละลายผสม 3:1 (v/v) โพรพานอล:น้ำ ปริมาตร 150 ml. ปิดฝา เขย่านาน 1 ชั่วโมง
5. กรองแยกแป้งข้าวด้วยกระดาษกรอง ที่งัดแป้งข้าวให้แห้ง จะได้ตัวอย่างแป้งข้าวที่แยก free lipid และ bound lipid ออกแล้ว
6. นำตัวอย่างแป้งข้าวควบคุม แป้งข้าวที่แยก free lipid ออก และแป้งข้าวที่แยก free lipid และ bound lipid ออกแล้ว มาวิเคราะห์สมบัติเพสติงด้วยเครื่อง RVA
7. สำหรับการศึกษารวมของโปรตีนต่อสมบัติเพสติงของแป้งข้าว จะเติมสารเบต้า-เมอร์แคปโตเอทานอล ปริมาตร 100 μ l. ลงในน้ำแป้งที่จะใช้วิเคราะห์สมบัติเพสติงด้วยเครื่อง RVA

ก.8 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific Pty. Ltd., Australia)
2. ภาชนะบรรจุตัวอย่างและหัววัด

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ให้นาน 30 นาทีเพื่ออุ่นเครื่อง และปรับภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้

Profile : STD 1

อุณหภูมิเริ่มต้น	50 °C			
อุณหภูมิ	50 °C	ระยะเวลา	1	นาที
อุณหภูมิ	50 - 95 °C	ระยะเวลา	3.75	นาที
อุณหภูมิ	95 °C	ระยะเวลา	2.5	นาที
อุณหภูมิ	95 - 50 °C	ระยะเวลา	3.75	นาที
อุณหภูมิ	50 °C	ระยะเวลา	2	นาที
รวมระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด			13	นาที

ความเร็วรอบของการกวน 160 รอบต่อนาที

อัตราการให้ความร้อน 12 °C ต่อนาที

2. ในกรณีที่ตัวอย่างมีความชื้น 14% ให้เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25.0 ± 0.05 ml. ใส่ลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างของเครื่อง RVA ปริมาณของตัวอย่างและน้ำที่ใช้ควรคำนึงถึงค่าความชื้นของตัวอย่างด้วย โดยสามารถคำนวณได้จากสูตรสำหรับความชื้นที่ 14% ดังนี้

$$M_2 = \frac{(100 - 14) \times M_1}{(100 - M_1)}$$

$$W_2 = 25.0 + M_1 - M_2$$

เมื่อ

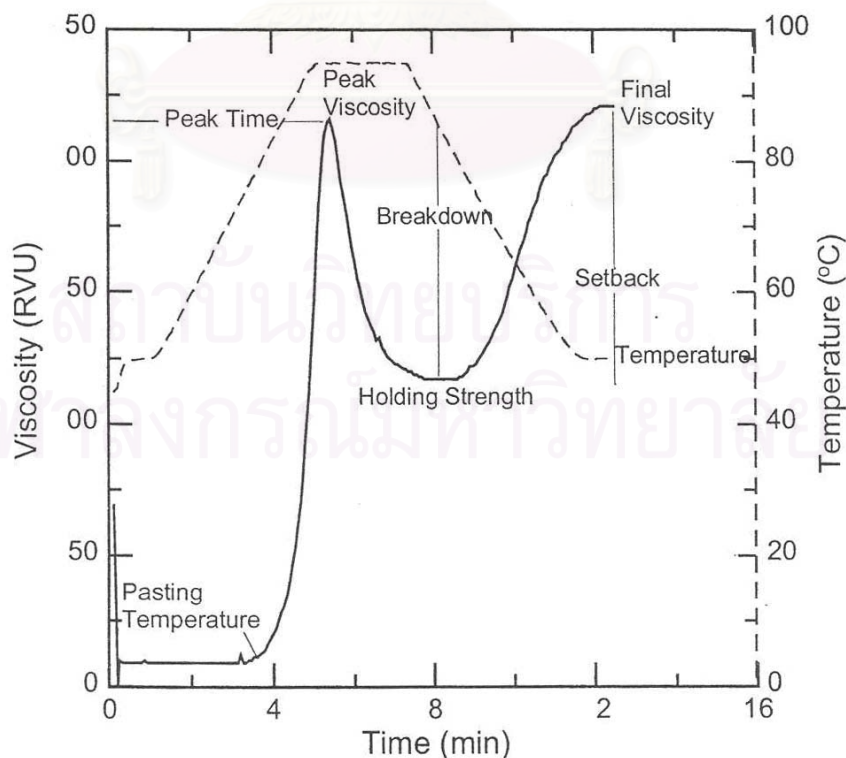
$$M_1 = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับแบ่งแต่ละชนิด}$$

(ในการทดลองนี้ใช้ 3.00 g.)

$$M_2 = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ต้องชั่ง (g.)}$$

$$W_2 = \text{ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ (ml.)}$$

3. ชั่งตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่มีน้ำกัลันอยู่ ใส่หัววัดลงในภาชนะบรรจุตัวอย่าง หมุนหัววัดไปมาแรงๆและดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดอยู่ที่หัววัด
4. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างและหัววัดใส่เข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน จะได้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting curve) ดังแสดงในรูปที่ ก. 3 เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ ดังนี้
 1. ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity; PV) มีหน่วยเป็น RVU
 2. ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVU
 3. ผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด (breakdown; BD) มีหน่วยเป็น RVU
 4. ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity; FV) มีหน่วยเป็น RVU
 5. ผลต่างระหว่างค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดต่ำสุด (setback; SB) มีหน่วยเป็น RVU
 6. ระยะเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด (peak time; Ptime) มีหน่วยเป็นนาที
 7. อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature หรือ gelatinization temperature; Ptemp) มีหน่วยเป็น °C



รูปที่ ก.3 pasting curve ของสตาร์ชที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA

ก.9 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของข้าวด้วยเครื่อง Texture analyzer

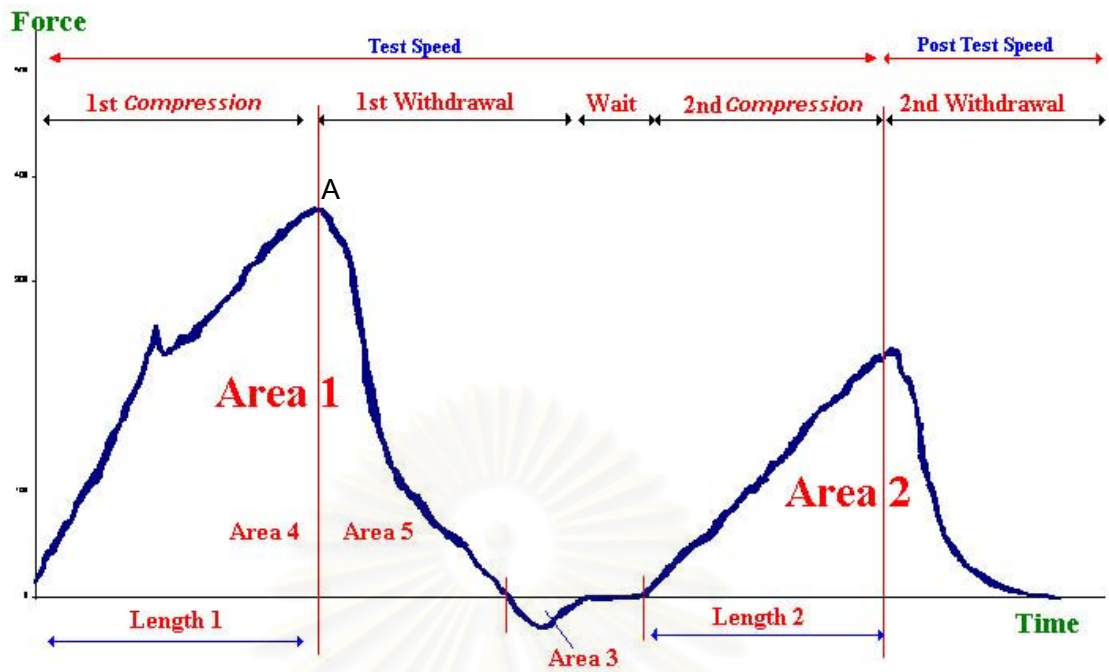
ดัดแปลงจากวิธีของ Gujral และ Kumar (2003)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง texture analyzer รุ่น TA-TX2
2. หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ยี่ห้อ Panasonic

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าว 100 g.ใส่ลงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 150 ml. ทิ้งไว้นาน 10 นาที
2. หุงข้าวจนสุก หลังจากข้าวสุกปล่อยให้หม้อหุงข้าวไฟฟ้าในขณะที่ยังเสียบไฟอยู่ทิ้งไว้นาน 10 นาที
3. ยกหม้อหุงข้าวออกแล้วนำไปแช่น้ำแข็งนาน 10 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง texture analyzer โดยใช้หัววัดชนิดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm. ตั้งค่า strain ไว้ที่ 60% หัววัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.0 mm./วินาที กดตัวอย่างด้วยแรง 49.03 นิวตัน วัดตัวอย่างข้าวครั้งละ 1 เมล็ด วัดซ้ำ 10 ครั้ง จะได้กราฟ TPA ดังแสดงในรูปที่ ก.4 ซึ่งเครื่อง texture analyzer จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ ดังนี้
 1. ค่าความแข็ง (hardness) เป็นค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการกดครั้งที่ 1 (จุด A; Force 2 ในผลการวิเคราะห์ TPA)
 2. ค่า adhesiveness เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการเกาะติดกับองค์ประกอบอื่น เช่น ฟัน ปาก (Area 3)
 3. ค่า springiness เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการคืนกลับของผลิตภัณฑ์ (Length 2/Length 1)
 4. ค่า cohesiveness เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเกาะติดกันเองภายในของผลิตภัณฑ์ (Area 2/Area 1)
 5. ค่าความหนึบ (chewiness) เป็นค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวผลิตภัณฑ์ในปาก (hardness×cohesiveness×springiness)



รูปที่ ก.4 กราฟ TPA ที่ได้จากกาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง texture analyzer

ก.10 วิธีการสกัดโปรตีนจากเมล็ดข้าว

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. โกร่งบดยา
2. เครื่องเหวี่ยงแยก
3. micro tube
4. เครื่อง Drying centrifuge

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าว 5 g. ใส่ลงในโกร่งบดยา เติม liquid N₂ เล็กน้อย แล้วบดตัวอย่างข้าวให้ละเอียด (ในระหว่างการบด เติม liquid N₂ เป็นระยะๆ เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น)
2. นำตัวอย่างข้าวที่บดแล้วมาเติมสารละลาย extraction buffer ปริมาตร 10 ml. ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 4000g อุณหภูมิ 21°C นาน 10 นาที จะได้ส่วนของสารละลาย และตะกอนแยกออกจากกัน
3. ดูดเอาส่วนของสารละลายใส มาใส่ micro tube ปริมาตรหลอดละ 1 ml. แล้วเติม Trichloroacetic acid (TCA) ปริมาตรหลอดละ 0.1 ml. ผสมสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 4000g อุณหภูมิ 21°C นาน 10 นาที จะได้ส่วนของแข็ง และของเหลว
4. ดูดส่วนของเหลวออกจาก micro tube แล้วเติมด้วย acetone ปริมาตร 0.8 ml. ผสมส่วนผสม แล้วนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 4000 g อุณหภูมิ 21°C นาน 10 นาที จะได้ส่วนของแข็ง และของเหลว
5. ดูดส่วนของเหลวออกจาก micro tube แล้วจึงนำ micro tube ที่ได้ไปทำ Drying centrifugation จนส่วนของแข็งที่อยู่ภายใน micro tube แห้งสนิท
6. นำ micro tube ที่แห้งแล้วมาแยกเอาส่วนของตะกอนโปรตีนเข้มข้น (ของแข็งสีน้ำตาล) ออกจากส่วนของแป้ง (ของแข็งสีขาว) แล้วนำส่วนของตะกอนโปรตีนที่ได้มารวมกันเพื่อนำไปใช้ศึกษาารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส (SDS-PAGE)

ก.11 วิธีการศึกษารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบมิติเดียว (SDS-PAGE)

ตามวิธีของ Laemmli (1970)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Hoefer electrophoresis model SE600 (Amersham Pharmacia Biotech, San Francisco, CA)
2. กล้อง Kodak DC120 digital camera (Kodak, Rochester, NY)

วิธีการทดลอง

1. นำส่วนของตะกอนโปรตีนเข้มข้นที่สกัดได้จากเมล็ดข้าว มาเติมสารละลายบัฟเฟอร์ ปริมาตร 10 ไมโคร. และเติม Bromophenol blue
2. นำสารละลายโปรตีนมาไหลบน 12.5 % SDS-PAGE slab gel (18 x 16 cm.) และ 4 % stacking gel ทำการ electrophoresed ที่ 35 มิลลิแอมแปร์ต่อ 1 เจล เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Hoefer electrophoresis model SE600 จนกระทั่งสีของ Bromophenol blue เคลื่อนไปจนเกือบสุดความยาวของเจล
3. แกะเจลออกจากกระจก ใส่เจลลงในกล่องพลาสติกเพื่อย้อมเจลด้วย 0.1% Coomassie blue R-250 ในสารละลายผสม 40% methanol และ 5% acetic acid และล้างเจลด้วย สารละลายผสม 40% methanol และ 5% acetic acid ใช้ SDS-PAGE Standards, broad range (Bio-Rad, Richmond, CA) เป็น molecular weight marker
4. จากนั้นถ่ายภาพรูปเจลด้วย Kodak DC120 digital camera และวิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วย Kodak Digital Science 1D Image Analysis Software (Kodak, Rochester, NY)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากทุ่งกุลาร้องไห้ 42 พื้นที่ (โดยน้ำหนักแห้ง)

รหัสพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้	ปริมาณสารหอม 2-AP(ppm)	% ปริมาณความชื้น	% ปริมาณไขมัน	% ปริมาณอมัยโลส	% ปริมาณโปรตีน
1-1	3.20±0.29 ^{d,e}	21.79±0.33 ^{p,q}	4.54±0.17 ^{j,k,l,m,n}	16.13±0.17 ^c	10.26±0.07 ^{m,n,o,p,q}
1-2	1.72±0.10 ^{o,p,q,r,s,t}	25.17±0.82 ^{h,i}	4.62±0.13 ^{ij,k,l,m}	15.78±0.08 ^d	10.19±0.71 ^{ln,o,p,q}
1-3	1.68±0.29 ^{p,q,r,s,t}	27.37±0.41 ^{e,f}	5.30±0.27 ^{c,d,e,f}	14.65±0.05 ^j	9.65±0.15 ^{r,s,t}
2-1	3.65±0.22 ^{c,d}	28.82±0.14 ^{c,d}	4.86±0.08 ^{g,h,i}	15.38±0.20 ^e	11.51±0.25 ^d
2-2	1.99±0.25 ^{l,m,n,o,p,q,r}	20.90±0.60 ^{q,r}	5.24±0.17 ^{d,e,f}	13.69±0.06 ^{o,p}	11.26±0.20 ^{d,e,f}
2-3	2.49±0.39 ^{f,g,h,i,j,k,l}	24.81±0.31 ^{ij}	5.09±0.12 ^{f,g}	14.33±0.05 ^k	10.80±0.20 ^{f,g,h,i,j,k,l}
3-1	2.24±0.49 ^{h,i,j,k,l,m,n,o}	29.25±0.30 ^{b,c,d}	4.47±0.24 ^{l,m,n,o}	13.60±0.10 ^p	11.11±0.12 ^{d,e,f,g,h}
3-2	4.50±0.40 ^b	17.50±0.22 ^{u,v}	4.84±0.26 ^{g,h,i,j}	15.71±0.02 ^d	9.00±0.33 ^{v,w}
3-3	2.07±0.43 ^{k,l,m,n,o,p,q}	27.19±1.11 ^f	5.22±0.05 ^{d,e,f}	12.91±0.06 ^r	10.34±0.61 ^{l,m,n,o,p}
4-1	2.53±0.23 ^{f,g,h,i,j,k,l}	22.61±0.12 ^{n,o,p}	4.60±0.09 ^{ij,k,l,m}	13.97±0.04 ^{m,n}	11.30±0.12 ^{d,e}
4-2	2.86±0.15 ^{e,f,g}	30.88±0.71 ^a	3.97±0.34 ^{q,r,s}	14.82±0.12 ^{h,i,j}	15.90±0.14 ^a
4-3	5.17±0.11 ^a	30.00±1.70 ^{a,b}	3.52±0.10 ^t	16.19±0.16 ^c	11.10±0.16 ^{d,e,f,g,h,i}
LSD (0.05)	0.55	1.04	0.31	0.19	0.49

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

ตารางที่ ข.1 ปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จากทุ่งกุลาร้องไห้ 42 พื้นที่ (โดยน้ำหนักแห้ง) (ต่อ)

รหัสพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้	ปริมาณสารหอม 2-AP(ppm)	% ปริมาณความชื้น	% ปริมาณไขมัน	% ปริมาณอมัยโลส	% ปริมาณโปรตีน
5-1	3.58±0.47 ^{c,d}	18.53±0.25 ^{t,u}	4.64±0.17 ^{ij,k,l,m}	13.84±0.13 ^{n,o}	10.36±0.22 ^{l,m,n,o}
5-2	2.79±0.24 ^{e,f,g,h}	24.12±0.82 ^{i,k}	5.57±0.21 ^{b,c}	13.72±0.21 ^{o,p}	10.60±0.11 ^{j,k,l,m,n,o}
5-3	2.65±0.13 ^{e,f,g,h,i,j}	23.68±0.93 ^{k,l,m}	5.24±0.33 ^{d,e,f}	15.31±0.11 ^e	10.78±0.12 ^{g,h,i,j,k,l}
6-1	1.35±0.12 ^{s,t}	20.79±0.31 ^{q,r}	4.40±0.12 ^{m,n,o,p}	14.99±0.08 ^{f,g,h}	9.85±0.01 ^{p,q,r,s}
6-2	1.65±0.06 ^{q,r,s,t}	23.44±0.24 ^{k,l,m,n}	3.97±0.08 ^{q,r,s}	15.02±0.23 ^{f,g}	9.58±0.12 ^{s,t,u}
6-3	2.24±0.38 ^{h,i,j,k,l,m,n,o}	18.83±0.49 ^t	3.81±0.18 ^{r,s,t}	14.80±0.17 ^{ij}	8.59±0.13 ^w
7-1	3.00±0.20 ^{e,f}	17.26±0.65 ^v	4.69±0.12 ^{ij,k,l,m}	12.23±0.09 ^u	12.98±0.2 ^b
7-2	1.39±0.29 ^{s,t}	24.02±1.29 ^{j,k}	4.53±0.32 ^{k,l,m,n}	14.22±0.18 ^{k,l}	9.13±0.13 ^{u,v}
7-3	1.87±0.23 ^{m,n,o,p,q,r,s}	23.99±0.71 ^{j,k}	3.79±0.21 ^{s,t}	13.99±0.10 ^{m,n}	11.45±0.22 ^d
8-1	2.28±0.09 ^{h,i,j,k,l,m,n}	22.86±0.33 ^{l,m,n,o}	4.82±0.37 ^{g,h,i,j,k}	16.81±0.11 ^a	11.20±0.39 ^{d,e,f,g}
8-2	2.42±0.30 ^{g,h,i,j,k,l,m}	23.88±0.27 ^{j,k,l}	4.51±0.25 ^{l,m,n}	16.81±0.08 ^a	10.54±0.15 ^{j,k,l,m,n,o}
8-3	2.24±0.22 ^{h,i,j,k,l,m,n,o}	26.73±0.48 ^{f,g}	5.09±0.14 ^{f,g}	12.44±0.04 ^t	12.12±0.26 ^c
LSD (0.05)	0.55	1.04	0.31	0.19	0.49

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

ตารางที่ ข.1 ปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากทุ่งกุลาร้องไห้ 42 พื้นที่ (โดยน้ำหนักแห้ง) (ต่อ)

รหัสพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้	ปริมาณสารหอม 2-AP(ppm)	% ปริมาณความชื้น	% ปริมาณไขมัน	% ปริมาณอมัยโลส	% ปริมาณโปรตีน
9-1	1.61±0.65 ^{q,r,s,t}	22.24±1.13 ^{o,p}	5.59±0.38 ^{b,c}	13.77±0.23 ^{o,p}	11.32±0.11 ^{d,e}
9-2	2.24±0.57 ^{h,i,j,k,l,m,n,o}	20.38±0.52 ^{r,s}	5.12±0.14 ^{e,f,g}	14.92±0.08 ^{f,g,h,i}	10.66±0.12 ^{h,i,j,k,l,m,n}
9-3	1.66±0.29 ^{q,r,s,t}	24.10±0.78 ^{j,k}	5.90±0.14 ^a	12.84±0.12 ^{r,s}	10.11±0.75 ^{o,p,q,r}
10-1	1.74±0.27 ^{n,o,p,q,r,s,t}	26.68±0.39 ^{f,g}	5.71±0.09 ^{a,b}	14.20±0.11 ^{k,l}	10.41±0.15 ^{k,l,m,n,o}
10-2	1.45±0.44 ^{r,s,t}	22.84±0.25 ^{m,n,o}	4.10±0.07 ^{p,q,r}	14.84±0.08 ^{g,h,i,j}	11.27±0.25 ^{d,e,f}
10-3	2.23±0.39 ^{ij,k,l,m,n,o,p}	19.17±0.14 ^t	3.94±0.18 ^{q,r,s}	15.87±0.19 ^d	9.30±0.22 ^{t,u,v}
11-1	1.99±0.35 ^{l,m,n,o,p,q,r}	28.28±0.66 ^{d,e}	5.04±0.10 ^{f,g,h}	14.10±0.08 ^{l,m}	9.83±0.01 ^{q,r,s}
11-2	3.99±0.58 ^{b,c}	17.18±1.18 ^v	4.24±0.09 ^{n,o,p,q}	15.77±0.04 ^d	8.84±0.22 ^{v,w}
11-3	1.22±0.04 ^t	27.55±0.45 ^{e,f}	5.41±0.16 ^{b,c,d,e}	12.71±0.02 ^s	10.94±0.12 ^{e,f,g,h,i,j}
12-1	2.60±0.76 ^{f,g,h,i,j,k}	22.64±0.13 ^{m,n,o,p}	5.22±0.12 ^{d,e,f}	13.58±0.07 ^{p,q}	9.05±0.12 ^{v,w}
12-2	1.61±0.41 ^{q,r,s,t}	29.47±0.76 ^{b,c}	4.17±0.06 ^{o,p,q}	13.41±0.12 ^q	10.27±0.25 ^{m,n,o,p,q}
12-3	2.12±0.44 ^{i,j,k,l,m,n,o,p,q}	26.04±0.12 ^{g,h}	5.44±0.10 ^{b,c,d}	14.16±0.06 ^{k,l,m}	10.63±0.80 ⁱ
LSD (0.05)	0.55	1.04	0.31	0.19	0.49

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

ตารางที่ ข.1 ปริมาณสารหอม 2-AP และองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากทุ่งกุลาร้องไห้ 42 พื้นที่ (โดยน้ำหนักแห้ง) (ต่อ)

รหัสพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้	ปริมาณสารหอม 2-AP(ppm)	% ปริมาณความชื้น	% ปริมาณไขมัน	% ปริมาณอมัยโลส	% ปริมาณโปรตีน
13-1	1.74±0.34 ^{n,o,p,q,r,s,t}	21.11±0.10 ^{q,r}	4.82±0.26 ^{g,h,i,j,k}	15.29±0.05 ^e	9.87±0.01 ^{p,q,r,s}
13-2	2.77±0.05 ^{e,f,g,h,i}	23.39±0.68 ^{k,l,m,n}	5.34±0.24 ^{c,d,e,f}	14.24±0.07 ^{k,l}	10.89±0.20 ^{e,f,g,h,i,j,k}
13-3	1.98±0.30 ^{l,m,n,o,p,q,r}	24.02±0.40 ^{j,k}	4.74±0.16 ^{h,i,j,k,l}	15.69±0.07 ^d	10.45±0.43 ^{j,k,l,m,n,o}
14-1	2.26±0.16 ^{h,i,j,k,l,m,n,o}	19.54±0.01 ^{s,t}	4.10±0.08 ^{p,q,r,s}	16.43±0.14 ^b	10.68±0.31 ^{h,i,j,k,l,m}
14-2	2.41±0.18 ^{g,h,i,j,k,l,m}	27.40±0.62 ^{e,f}	5.70±0.15 ^{a,b}	13.98±0.03 ^{m,n}	10.60±0.22 ^{j,k,l,m,n,o}
14-3	2.87±0.11 ^{e,f,g}	17.61±0.03 ^{u,v}	4.40±0.08 ^{m,n,o,p}	15.03±0.16 ^f	11.10±0.45 ^{d,e,f,g,h,i}
LSD (0.05)	0.55	1.04	0.31	0.19	0.49

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

ตารางที่ ข.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน (โดยน้ำหนักแห้ง)

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณสารหอม 2-AP (ppm)	%ปริมาณความชื้น	%ปริมาณโปรตีน	% ปริมาณอมัยโลส	%ปริมาณ free lipid	% ปริมาณ bound lipid
0	0.41±0.07 ^a	13.80±0.06 ^b	8.04±0.04 ^c	13.07±0.20 ^d	3.73±0.05	0.61±0.22
1	0.22±0.02 ^b	13.81±0.28 ^b	8.02±0.10 ^c	13.19±0.08 ^{c,d}	3.75±0.04	0.63±0.16
2	0.10±0.01 ^c	14.16±0.09 ^a	8.10±0.08 ^c	13.40±0.17 ^c	4.03±0.15	0.57±0.04
3	0.07±0.01 ^{c,d}	13.90±0.10 ^b	8.27±0.07 ^b	14.01±0.19 ^b	3.75±0.19	0.60±0.08
4	0.04±0.00 ^{d,e}	13.90±0.08 ^b	8.41±0.14 ^b	14.15±0.12 ^{a,b}	3.92±0.16	0.58±0.04
5	0.04±0.00 ^{d,e}	13.35±0.08 ^c	8.60±0.05 ^a	14.11±0.11 ^{a,b}	3.92±0.17	0.56±0.04
6	0.03±0.00 ^{d,e}	13.34±0.14 ^c	8.58±0.02 ^a	14.13±0.07 ^{a,b}	3.94±0.15	0.56±0.02
7	0.03±0.00 ^{d,e}	13.25±0.15 ^c	8.58±0.12 ^a	14.25±0.08 ^a	3.74±0.19	0.55±0.01
8	0.03±0.00 ^e	13.26±0.09 ^c	8.56±0.05 ^a	14.30±0.10 ^a	3.70±0.15	0.55±0.01
LSD (0.05)	0.04	0.23	0.14	0.22	NS	NS

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

NS คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ข.3 ปริมาณของกรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกทั้งที่ได้จาก free lipid และ bound lipid ของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)	free lipid			bound lipid		
	%C16:0	%C18:1	%C18:2	%C16:0	%C18:1	%C18:2
0	22.20±0.25	45.96±0.29	31.84±0.49	39.83±1.17	21.81±0.92 ^{a,b,c}	38.36±0.27
1	22.09±0.47	46.79±0.46	31.12±0.93	38.87±0.93	21.31±1.25 ^{c,d}	39.82±2.17
2	23.16±2.28	48.04±2.58	28.80±4.86	37.77±0.94	21.26±0.44 ^{c,d}	40.97±0.52
3	21.88±0.22	46.37±0.28	31.75±0.48	41.20±2.84	21.47±0.76 ^{b,c,d}	37.32±2.43
4	21.95±0.11	45.71±0.71	32.34±0.67	40.68±2.07	20.40±0.88 ^d	38.92±1.23
5	22.04±0.11	46.30±0.28	31.66±0.30	38.96±0.74	22.24±0.30 ^{a,b,c}	38.80±0.53
6	21.28±0.15	46.71±0.09	32.01±0.18	38.59±0.38	22.67±0.50 ^{a,b}	38.74±0.80
7	21.81±0.32	46.46±0.58	31.73±0.56	38.48±0.61	22.83±0.30 ^a	38.69±0.40
8	22.18±0.18	45.96±0.70	31.86±0.76	39.85±0.74	21.94±0.38 ^{a,b,c}	38.21±0.47
LSD (0.05)	NS	NS	NS	NS	1.22	NS

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

NS คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ข.4 สมบัติเฟสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน

ตัวอย่าง		Gelatinization Temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Peak time (min)	Trough (RVU)	Final viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)
ตัวอย่างควบคุม (Control)	0 เดือน	71.07±0.80	296.58±6.88 ^b	5.71±0.14 ^{c,d,e,f,g}	131.72±6.30 ^j	226.14±6.53 ^{h,i}	164.86±12.44 ^a	94.42±1.64 ^m
	2 เดือน	73.45±0.87	267.19±6.52 ^{c,d,e}	5.71±0.03 ^{c,d,e,f,g}	130.25±3.85 ^j	261.22±2.99 ^e	136.94±4.71 ^d	130.97±3.55 ^e
	4 เดือน	74.03±0.93	264.28±4.50 ^{d,e,f}	5.75±0.04 ^{b,c,d,e}	151.61±9.04 ^{f,g}	309.81±10.18 ^b	112.67±4.72 ^f	158.20±1.18 ^d
	6 เดือน	73.02±3.23	253.45±8.59 ^{f,g,h}	5.51±0.03 ^{h,i,j,k,l}	143.94±6.38 ^{g,h}	323.17±8.09 ^a	109.50±9.10 ^{f,g}	179.22±1.93 ^a
	7 เดือน	73.68±1.32	248.81±1.47 ^{g,h,i}	5.60±0.01 ^{e,f,g,h,i,j}	164.91±5.58 ^{d,e}	329.53±5.93 ^a	83.89±4.80 ^j	164.61±0.42 ^c
	8 เดือน	73.43±0.88	245.45±0.71 ^{h,i,j}	5.62±0.04 ^{d,e,f,g,h,i}	161.50±3.36 ^{d,e}	331.86±1.92 ^a	83.94±4.06 ^j	170.36±4.72 ^b
ตัวอย่างที่เติม Mercaptoethanol	0 เดือน	68.52±0.78	252.28±2.64 ^{g,h}	5.55±0.17 ^{g,h,i,j,k}	85.94±4.84 ^m	150.39±6.48 ⁿ	166.33±4.48 ^a	64.45±1.73 ^s
	2 เดือน	70.52±0.46	227.36±1.71 ^k	5.71±0.03 ^{c,d,e,f,g}	85.14±1.21 ^m	174.64±1.09 ^m	142.22±1.36 ^{c,d}	89.50±0.43 ⁿ
	4 เดือน	70.70±0.26	235.53±4.54 ^{i,k}	5.67±0.07 ^{d,e,f,g,h}	93.50±0.50 ^{l,m}	197.81±1.81 ^l	142.03±4.06 ^{c,d}	104.31±1.32 ^k
	6 เดือน	70.22±0.80	246.50±16.0 ^{h,i,j}	5.38±0.04 ^l	94.94±1.69 ^l	212.58±6.42 ^k	151.55±14.59 ^{b,c}	117.64±4.77 ^{f,g}
	7 เดือน	72.68±0.83	251.89±7.12 ^{g,h,i}	5.44±0.08 ^{j,k,l}	113.97±2.14 ^k	224.28±3.09 ^{ij}	137.92±5.07 ^d	110.31±1.17 ^{ij}
	8 เดือน	73.22±1.22	259.44±3.56 ^{e,f,g}	5.42±0.04 ^{k,l}	114.53±1.92 ^k	222.45±1.85 ^{ij}	144.92±2.77 ^{c,d}	107.92±0.17 ^{jk}
LSD (0.05)		NS	11.05	0.17	8.96	9.17	11.10	3.70

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

NS คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ข.4 สมบัติเฟสติงของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน (ต่อ)

ตัวอย่าง		Gelatinization Temperature (° C)	Peak viscosity (RVU)	Peak time (min)	Trough (RVU)	Final viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)
ตัวอย่างที่แยก	0 เดือน	69.78±0.38	297.64±7.96 ^b	5.64±0.14 ^{d,e,f,g,h,i}	140.78±11.93 ^{h,i}	224.06±11.91 ^{ij}	156.86±4.10 ^{a,b}	83.28±0.05 ^o
ไขมันอิสระ (Free lipid) ออก	2 เดือน	71.58±0.46	318.95±3.89 ^a	5.58±0.04 ^{f,g,h,i,j,k}	159.28±4.00 ^{e,f}	259.22±3.62 ^e	159.67±2.68 ^{a,b}	99.94±1.03 ^l
	4 เดือน	72.07±0.46	307.00±7.30 ^b	5.78±0.10 ^{b,c,d}	181.86±4.62 ^{a,b}	295.55±6.86 ^c	125.14±10.71 ^e	113.69±2.88 ^{h,i}
	6 เดือน	71.70±0.18	270.39±12.90 ^{c,d,e}	5.49±0.16 ^{ij,k,l}	161.83±2.40 ^{d,e}	282.92±4.39 ^d	108.55±11.83 ^{f,g}	121.08±2.47 ^f
	7 เดือน	74.28±0.83	277.14±0.57 ^c	5.60±0.12 ^{e,f,g,h,i,j}	181.56±3.10 ^{a,b}	297.58±2.42 ^c	95.58±3.66 ^{h,i}	116.03±0.86 ^{g,h}
	8 เดือน	75.90±0.85	268.83±10.91 ^{c,d,e}	5.67±0.18 ^{d,e,f,g,h}	183.89±8.56 ^a	298.08±7.89 ^c	84.94±9.06 ^{ij}	114.20±1.93 ^{g,h}
ตัวอย่างที่แยก	0 เดือน	66.60±4.19	241.11±3.27 ^{ij}	6.14±0.12 ^a	174.89±4.42 ^{b,c}	242.53±3.55 ^{f,g}	66.22±2.13 ^k	67.64±1.45 ^{r,s}
ไขมันอิสระ และ bound lipid ออก	2 เดือน	69.67±0.46	300.03±2.04 ^b	5.44±0.14 ^{jk,l}	163.58±2.80 ^{d,e}	234.61±3.62 ^{g,h}	136.45±4.48 ^d	71.03±1.06 ^{q,r}
	4 เดือน	70.17±0.85	274.69±8.14 ^{c,d}	5.58±0.04 ^{f,g,h,i,j,k}	174.06±4.08 ^{b,c}	255.30±2.74 ^e	100.64±4.48 ^{g,h}	81.25±1.34 ^o
	6 เดือน	68.87±3.78	182.47±4.32 ^l	5.73±0.07 ^{b,c,d,e,f}	134.31±1.54 ^{ij}	216.89±1.09 ^{jk}	48.17±4.15 ^m	82.58±0.60 ^o
	7 เดือน	71.52±0.98	224.53±3.45 ^k	5.89±0.10 ^b	170.36±6.02 ^{c,d}	243.86±2.19 ^f	54.17±3.68 ^{l,m}	73.50±4.19 ^q
	8 เดือน	71.80±0.85	244.31±4.48 ^{h,i,j}	5.87±0.18 ^{b,c}	179.78±10.46 ^{a,b}	257.30±7.76 ^e	64.53±6.19 ^{kl}	77.53±2.70 ^p
LSD (0.05)	NS	11.05	0.17	8.96	9.17	11.10	3.70	

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

NS คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ข.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)	hardness (N)	adhesiveness (N*s)	springiness	cohesiveness	chewiness (N)
0	2.407±0.275 ^g	0.243±0.091 ^{b,c}	0.817±0.074	0.386±0.039 ^{b,c}	0.770±0.190 ^c
1	2.649±0.167 ^g	0.274±0.084 ^b	0.809±0.095	0.412±0.035 ^{a,b}	0.876±0.102 ^c
2	3.041±0.417 ^f	0.252±0.074 ^{b,c}	0.811±0.052	0.380±0.038 ^c	0.942±0.190 ^c
3	3.606±0.483 ^e	0.357±0.115 ^a	0.835±0.087	0.412±0.034 ^{a,b}	1.255±0.313 ^b
4	4.005±0.199 ^d	0.420±0.102 ^a	0.857±0.076	0.431±0.022 ^a	1.484±0.215 ^a
5	4.186±0.432 ^{c,d}	0.256±0.087 ^b	0.861±0.048	0.435±0.028 ^a	1.577±0.267 ^a
6	4.461±0.350 ^{b,c}	0.170±0.105 ^{c,d}	0.781±0.096	0.417±0.026 ^a	1.470±0.328 ^{a,b}
7	4.768±0.543 ^{a,b}	0.100±0.066 ^d	0.839±0.076	0.416±0.031 ^a	1.675±0.332 ^a
8	4.987±0.420 ^a	0.103±0.099 ^d	0.804±0.059	0.415±0.030 ^{a,b}	1.669±0.276 ^a
LSD (0.05)	0.342	0.082	NS	0.028	0.228

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

NS คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายบัณฑิต ลีพรัตน์รักษ์ เกิดวันที่ 1 กรกฎาคม 2524 ที่จังหวัดนครปฐม สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย