

ผลของการเสริมไอโอดีนต่อคุณภาพการสืบพันธุ์และสมบัติทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าว



นาย ธรรมพ เหล่ากุลดิolk

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4647-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF IODINE FORTIFICATION ON MILLING QUALITY AND PHYSICOCHEMICAL  
PROPERTIES OF RICE GRAIN



Mr. Thunnop Laokuldilok

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 974-17-4647-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการเสริมไอโอดีนต่อคุณภาพการสีข้าวและสมบัติทางเคมี  
กายภาพของเมล็ดข้าว

โดย

นาย ธรรมพ เหล่ากุลติก

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณมา ตุลยธัญ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

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

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

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข)

วรรณพ เหล่ากุลดิลก : ผลของการเสริมไอโอดีนต่อคุณภาพการสีข้าวและสมบัติทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าว (EFFECTS OF IODINE FORTIFICATION ON MILLING QUALITY AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF RICE GRAIN) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรรณมา ตุลยธัญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 137 หน้า. ISBN 974-17-4647-4

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของไอโอดีนในข้าวที่ได้จากการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก และผลของไอโอดีนในข้าวที่ได้จากการเสริมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการที่มีต่อคุณภาพการสีข้าวและสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว ในส่วนแรกพบว่าการจัดการธาตุไอโอดีนมีอิทธิพลต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และในรำ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อข้าว (พันธุ์ชัยนาท1 และขาวดอกมะลิ105) ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนข้าวจะมีปริมาณไอโอดีนในเมล็ดสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณไอโอดีนในรำกลับลดลง โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ปริมาณไอโอดีนในรำจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด แตกต่างจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ลดลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดการธาตุไอโอดีนมีอิทธิพลต่อความแข็งของเมล็ดข้าวโดยจะทำให้ข้าวมีความแข็งของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากการตรวจสอบภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวพบว่าข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนจะมีแนวโน้มมีความหนาของชั้นแอสลิวโลนมากขึ้นในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ แต่การจัดการธาตุไอโอดีนไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติเพสติงที่วัดโดย RVA นอกจากนี้รูปแบบโปรตีนที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SDS-PAGE ในใบข้าวหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 7 วัน แตกต่างจากใบข้าวที่เป็นตัวอย่างควบคุม และใบข้าวหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 14 วัน

ในส่วนที่ 2 สำหรับการศึกษากาเวการผลิตข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีนนั้นพบว่าการแช่ข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ระยะเวลา 10 นาที ให้ข้าวที่มีปริมาณไอโอดีน 54.28 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ใกล้เคียงกับปริมาณใน 3 ของปริมาณแนะนำต่อวัน (50 ไมโครกรัม) เมื่อนำภาวะการผลิตนี้มาแปรชนิดของสารประกอบไอโอดีนคือ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) โพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) และสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกัน พบว่าข้าวที่เสริมโดยการแช่ในสารละลาย KI จะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารสูงกว่า ข้าวที่แช่ในสารละลาย  $KIO_3$  อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่เมื่อแช่ในสารละลายที่ใช้สารประกอบทั้ง 2 ร่วมกัน ข้าวจะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารอยู่ระหว่างการแช่ในสารละลายแต่ละชนิด ในการวัดสมบัติเพสติงของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่พบว่าข้าวที่ผ่านการแช่มีสมบัติเพสติงแตกต่างกับข้าวสารปกติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ไอโอดีนไม่มีผลต่อสมบัติเพสติงของข้าว ( $p > 0.05$ ) สำหรับการสีข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนพบว่า ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนที่ใช้สารประกอบไอโอดีนต่างกันจะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และในรำใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 96-97 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และ 86-87 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ การเสริมไอโอดีนในข้าวหนึ่งไม่ส่งผลต่อสมบัติเพสติงของข้าวแต่ข้าวที่ผ่านการผลิตข้าวหนึ่งจะมีสมบัติเพสติงแตกต่างจากข้าวสารปกติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากการทำไดแอลลิส พบว่า ข้าวสารปกติ และข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนมีปริมาณไอโอดีนไม่เปลี่ยนแปลงหลังการทำไดแอลลิส ( $p > 0.05$ ) ส่วนข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการแช่ และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนจะมีปริมาณไอโอดีนคงเหลือร้อยละ 70.07-76.36 และ 80.50-84.87 ตามลำดับ

ภาควิชา...เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อนิสิต.....*สมิณ นพดิเลอจิก*  
 สาขาวิชา...เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*อลิม*  
 ปีการศึกษา...2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*อลิม*



## 4572319723 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: IODINE / RICE / FORTIFICATION / PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

THUNNOP LAOKULDILOK : EFFECTS OF IODINE FORTIFICATION ON MILLING QUALITY AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF RICE GRAIN. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VANNA TULYATHAN, Ph. D. THESIS COADVISOR : ASST. PROF. SAKDA JONGKAEWWATTANA, Ph. D. 137 pp. ISBN 974-17-4647-4.

The objectives of this study were to investigate the effects of iodine fortification on milling quality and physicochemical properties of rice grains. In the first part it was found that iodine management in rice paddy increased iodine content in milled rice (9.62 microgram/100gram rice). while decreased iodine content in the bran. Iodine content in the bran of Khaw Dauk Mali105 significantly decreased ( $p \leq 0.05$ ) as compared with Chainart1. Management of iodine in rice paddy significantly increased ( $p \leq 0.05$ ) hardness of rice grains. Scanning electron micrograph of both rice varieties indicated that thickness of aleurone layer increased. Pasting properties, measured by RVA of both rice varieties did not change. The protein patterns, determined by SDS-PAGE technique, in rice leaf 7 days after iodine management differed from the control group and from the rice leaf after the management for 14 days. After dialysis rice flours retained all the iodine in the samples.

In the second part, rice grains were fortified with iodine by diffusion technique. Soaking rice at 1,000 microgram/100gram rice (rice: water= 1: 1.5w/v) for 10 minutes can increase iodine content about 54 microgram/100gram rice which is about 1/3 of RDA. Soaking in potassium iodide (KI) solution resulted in higher iodine content than potassium iodate ( $KIO_3$ ) ( $p \leq 0.05$ ). while rice soaked in mixture of KI and  $KIO_3$ , the iodine contents of the fortified rice were between those from  $KIO_3$  and from KI solution. Pasting properties of the fortified rice were not change but they were different ( $p \leq 0.05$ ) from the unsoaked (normal rice). Parboiling rice in iodine solutions increased iodine content in rice (96-97 microgram/100gram rice). The parboiling condition (soaking at  $70 \pm 5^\circ C$  for 90 minutes and steaming for 10 minutes) did not alter pasting properties of the fortified rice but they differ significantly from the normal rice (unparboiled rice). Dialysis of the fortified rices from soaking and parboiling techniques showed that all the samples retained 70.07-76.36 and 80.50-84.87 % of iodine respectively.

Department...Food Technology.....Student's signature.....*Thunnop Laokuldilok*

Field of study...Food Technology.....Advisor's signature.....*V. Tulyathan*

Academic year.....2005.....Co-advisor's signature.....*Sakda Jongkaewattana*

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และอาจารย์ อำนวย คอวนิช ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วรณา ตุลาธิญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา เป็นอย่างสูงที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และแนะนำการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความเอาใจใส่ ดูแล และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคส์ตฤศาสน์ อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช และอาจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลามาตรวจสอบ กลั่นกรอง และแก้ไขให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณ อานันท์ ผลวัฒนะ และสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้าว และกล้า

ขอขอบพระคุณดร. ศักดา พริ้งลำภู อาจารย์บุญเหลือ พริ้งลำภู และพี่ๆ นักวิจัยของสถาบันวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวก ติดต่อกับให้ใช้สถานที่และเครื่องมือในการวิเคราะห์ไอโอดีน และให้แนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ไอโอดีนอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านซึ่งอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบใจพี่ เพื่อน และน้องๆปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน ซึ่งเป็นการกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านเป็นอย่างดี และสำหรับผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือซึ่งผู้วิจัยมีได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งขอขอบใจพี่และน้องของผู้วิจัยซึ่งให้การสนับสนุนช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	3
3. การดำเนินงานวิจัย.....	23
4. ผลและวิจารณ์การทดลอง.....	34
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	88
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	101
ภาคผนวก ก รายละเอียดของสารประกอบไอโอดีนที่ใช้ในการเสริมในข้าว.....	102
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์.....	103
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	120
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม.....	129
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	140

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณไอโอดีนที่ควรได้รับในแต่ละวันสำหรับคนไทย.....	13
2.2 ความสามารถในการละลายน้ำของไอโอดีนและสารประกอบไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ.....	15
2.3 สมบัติทางเคมีของสารประกอบไอโอดีน.....	16
4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส ไอโอดีน และเถ้าของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	34
4.2 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณความชื้นของข้าว.....	35
4.3 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณโปรตีนของข้าว.....	36
4.4 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณอมัยโลสของข้าว.....	36
4.5 ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร.....	37
4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแข็งของเมล็ด และปริมาณข้าวต้น ของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	39
4.7 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่าความแข็งของเมล็ด.....	40
4.8 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณข้าวต้น.....	40
4.9 ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อค่าความแข็งของเมล็ด.....	41
4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติเฟสติงของข้าว ที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลาวัวร์จากข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	45
4.11 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า peak viscosity.....	46
4.12 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า breakdown.....	46
4.13 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า setback.....	46
4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	49
4.15 ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำของแบ่งฟลาวัวร์จากข้าว 2 พันธุ์.....	50
4.16 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำของแบ่งฟลาวัวร์จากข้าว 2 พันธุ์.....	50
4.17 น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่แยกได้โดยเทคนิค SDS-PAGE ในตัวอย่างใบข้าว.....	53
4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า hardness, cohesiveness, adhesiveness และ springiness ของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	54
4.19 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า hardness ที่ได้จาก TPA.....	55



ตารางที่	หน้า
4.20 ผลของพันธู์ข้าวที่มีต่อค่า adhesiveness ที่ได้จาก TPA.....	56
4.21 ปริมาณไอโอดีนของข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายที่มีปริมาณไอโอดีน และระยะเวลาแตกต่างกัน.....	57
4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไอโอดีนในข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายที่มีปริมาณไอโอดีน และระยะเวลาแตกต่างกัน.....	57
4.23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส ไอโอดีน และเถ้าของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่.....	60
4.24 ร้อยละของความชื้น และโปรตีน ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่ เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	61
4.25 ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และปริมาณไอโอดีนในรำของข้าวเสริมไอโอดีน โดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	63
4.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลัวร์จากข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่.....	64
4.27 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลัวร์ จากข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบ โพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	64
4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำและน้ำมัน ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่.....	66
4.29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส ไอโอดีน และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน.....	67
4.30 ร้อยละของความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยการแช่ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	67
4.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วย เครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลัวร์จากข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน.....	70
4.32 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลัวร์จากข้าวหนึ่งเสริม ไอโอดีนโดยการแช่สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	71
4.33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำ และน้ำมัน ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่.....	72

ตารางที่	หน้า
4.34 ค่าการดูดซับน้ำของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	73
4.35 ปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไดแอลลีซิส และร้อยละของ ปริมาณไอโอดีนที่ลดลงหลังการทำไดแอลลีซิส.....	77
ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้า ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	120
ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนในข้าวสารและในรำ ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	120
ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความแข็งของเมล็ด และปริมาณข้าวตัน ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	121
ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pasting temperature และ peak viscosity ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	121
ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า breakdown และ setbackที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	122
ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการดูดซับน้ำและน้ำมัน ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	122
ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า hardness และ cohesivenessที่ได้จากเครื่อง texture analyzer ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	123
ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า adhesiveness และ springiness ที่ได้จากเครื่อง texture analyzer ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	123
ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนของข้าวที่แช่ใน สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น และระยะเวลาแตกต่างกัน.....	124
ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจาก สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	124
ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และ ในรำของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจาก สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	125

ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pasting temperature และ peak viscosity  
 ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย  
 ที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....125

ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า breakdown และ  
 setback ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่  
 เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....126

ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการดูดซับน้ำ และน้ำมันของข้าวเสริม  
 ไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต  
 และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....126

ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริม  
 ไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตและ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....127

ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร  
 และในรำของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยการใส่สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต  
 และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....127

ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pasting temperature และ peak viscosity  
 ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบ  
 โพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....127

ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า breakdown  
 และ setback ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วย  
 สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....128

ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการดูดซับน้ำ และน้ำมันของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วย  
 สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....128

ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนในข้าวเสริมไอโอดีนก่อน  
 และหลังการทำ ไคแอลิซิส.....128

ง.1 ร้อยละของความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของตัวอย่างข้าวที่ได้รับ  
 และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....129

ง.2 ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และปริมาณไอโอดีนในรำของตัวอย่างข้าวที่ได้รับ  
 และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....130

ตารางที่	หน้า
ง.3 ความแข็งของเมล็ด และปริมาณข้าวต้นของตัวอย่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	130
ง.4 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลวาร์ได้จาก ข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	131
ง.5 ค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันในตัวอย่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	132
ง.6 ค่า hardness, cohesiveness, adhesiveness และ springiness ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก.....	133
ง.7 ร้อยละของความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย ที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	134
ง.8 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลวาร์ จากข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบ โพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	134
ง.9 การดูดซับน้ำและน้ำมันของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียม จากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	134
ง.10 ร้อยละของความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดย การใช้สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	135
ง.11 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลวาร์จากข้าวหนึ่งเสริม ไอโอดีนโดยการใช้สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	135
ง.12 การดูดซับน้ำและน้ำมันของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้สารประกอบ โพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์.....	136
ง.13 ปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไดแอสทิสของข้าวเสริมไอโอดีน.....	137
ง.14 ปริมาณไอโอดีน ปริมาณความชื้น ดัชนีความขาว และค่าการดูดซับน้ำ ของตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบ โพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน.....	138
ง.15 ค่า pasting temperature, peak viscosity, breakdown และ setback ของตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบ โพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน.....	139

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	3
2.2 ลักษณะโครงสร้างของอัมัยโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึก (1) และส่วนอสัณฐาน (2).....	5
2.3 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของอัมัยโลเพคติน.....	6
2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสีข้าว.....	7
2.5 กระบวนการสร้าง Iodotyrosines, Thyroxine และ Triiodothyronine ในต่อมธัยรอยด์ .....	11
2.6 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยเครื่อง viscoamylograph.....	19
2.7 ระยะเวลาในการเกิดเจลาตีไนเซชันของเม็ดสตาร์ช.....	20
3.1 ขั้นตอนการผลิตข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีน.....	27
3.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนจากข้าวกล้อง.....	31
4.1 อิทธิพลร่วมระหว่างการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกับ พันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณไอโอดีนในรำ.....	38
4.2 ภาพตัดขวางของข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท1.....	43
4.3 ภาพตัดขวางของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ105.....	44
4.4 อิทธิพลร่วมระหว่างการได้รับหรือไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน ในแปลงเพาะปลูกกับพันธุ์ข้าว ที่มีต่อ pasting temperature.....	47
4.5 เจลที่ได้จากการทำ SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis ในเมล็ดข้าวกล้อง.....	51
4.6 เจลที่ได้จากการทำ SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis ในใบข้าว.....	52
4.7 ผลของปริมาณไอโอดีนในสารละลายที่ใช้แช่ข้าวต่อปริมาณไอโอดีนในข้าว.....	58
4.8 ผลของระยะเวลาที่ใช้แช่ข้าวต่อปริมาณไอโอดีนในข้าว.....	59
4.9 ภาพตัดขวางของข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท1 ที่ผ่านการแช่ในสารละลายไอโอดีน ระยะเวลาแตกต่างกันที่กำลังขยาย 50 เท่า.....	59
4.10 ภาพตัดขวางของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน.....	75
4.11 แบบจำลองของการยึดเกาะกันของสตาร์ชกับไอโอดีนในเมล็ดข้าว (a) สตาร์ชกับไอโอดีน (b) สตาร์ชกับไอโอดีน.....	79
4.12 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอดีน นาน 5 เดือน.....	81
4.13 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอดีน นาน 5 เดือน.....	82



รูปที่	หน้า
4.14 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีความขาวในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน.....	83
4.15 การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับน้ำในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน.....	84
4.16 การเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน.....	86
4.17 การเปลี่ยนแปลงของค่า pasting temperature ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน.....	87
ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน.....	109
ข.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอมัยโลส.....	112
ข.3 ตัวอย่างของกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของสตาร์ชด้วย RVA.....	114
ข.4 Texture Profile ของการวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวหุงสุก.....	116

# บทที่ 1

## บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยไทยสามารถส่งออกข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 มีสัดส่วนการตลาดร้อยละ 27 ในปี พ.ศ. 2546 การส่งออกมีมูลค่าถึง 76,677 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547) ข้าวยังเป็นอาหารหลักของคนไทยและในหลายๆ ประเทศ ประชากรส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวสาร ดังนั้นการขาดข้าวจึงมีความสำคัญ เพราะเป็นสาเหตุให้ข้าวสูญเสียคุณค่าทางอาหารจากการขาดสารออกไป และยังทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ดข้าวจากแรงขัดสีอีกด้วย

คุณภาพการสี คือปริมาณข้าวสารเมล็ดเต็ม หรือที่เรียกว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน (head rice) เนื่องจากข้าวสารเมล็ดเต็มมีมูลค่าทางการตลาดสูงกว่าข้าวหักหลายเท่า ดังนั้นคุณภาพการสีจึงมีความสำคัญ และใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดราคาข้าวเปลือก มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการสีของข้าว เช่น พันธุ์ การให้ปุ๋ยไนโตรเจน และการจัดการหลังเก็บเกี่ยว เป็นต้น ขณะที่มียางานว่าการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกสามารถเพิ่มคุณภาพการสีข้าวได้ในข้าวหลายพันธุ์ และยังทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งเพิ่มขึ้นอีกด้วย (ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 2544)

ธาตุไอโอดีนมีความจำเป็นต่อร่างกายในการสร้างฮอร์โมนธัยรอกซิน ( $T_4$ ) และไตรไอโอไธโรนิน ( $T_3$ ) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในร่างกายเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน รวมทั้งช่วยในการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง และประสาทอัตโนมัติ (กรมอนามัย, 2532) การขาดธาตุไอโอดีนจะทำให้ระดับของฮอร์โมนธัยรอกซินในกระแสเลือดลดลง ต่อมาพิทูอิตารีจะสร้างฮอร์โมนไปกระตุ้นต่อมธัยรอกซินให้ผลิตฮอร์โมนธัยรอกซินมากขึ้น ต่อมธัยรอกซินจึงทำงานหนัก และทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า โรคคอพอก (goiter) ยิ่งไปกว่านั้นถ้าหญิงมีครรภ์ขาดธาตุไอโอดีนอาจทำให้เกิดการแท้งบุตร หรือทารกที่เกิดขึ้นมาจะมีอาการผิดปกติ เช่น ปัญญาอ่อน เตี้ย แคระ เรียกว่า เครตินิซึม (cretinism) สำหรับในประเทศไทยเคยมีรายงานการระบาดของโรคขาดสารไอโอดีนในพื้นที่ภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2496 (กรมอนามัย, 2539) สำหรับในปัจจุบันพบว่าคนไทยร้อยละ 90 ได้รับไอโอดีนเฉลี่ย 90 ไมโครกรัมต่อวัน ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการในแต่ละวัน (150 ไมโครกรัมต่อวัน) (พิชิต สุวรรณประกร, 2542) ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นการเสริมไอโอดีนลงในข้าวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ดังนั้นการแก้ไขปัญหาคขาดสารไอโอดีน โดยการเสริมสารอาหารลงในข้าวจึงน่าเป็นหนทางที่ดี และมีประสิทธิภาพสูง ในการป้องกันปัญหาคขาดสารไอโอดีนในประชากรส่วนใหญ่

ความสำคัญของไอโอดีนที่มีต่อขั้วนั้นจึงอาจแบ่งได้ 2 ส่วน คือ 1. การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกซึ่งสามารถเพิ่มคุณภาพการสีของข้าวจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าว 2. การเสริมไอโอดีนในข้าวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารเพื่อป้องกันปัญหาการขาดสารไอโอดีน

อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาอย่างแน่ชัดในรายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวที่เสริมไอโอดีนว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร ขณะที่ยังไม่มีความเข้าใจแน่ชัดเกี่ยวกับกลไกการทำงานของสารประกอบไอโอดีนที่มีต่อแป้งข้าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกเปรียบเทียบกับข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยใช้สารละลาย เพื่อเป็นการยืนยันถึงผลของสารประกอบไอโอดีน และให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น รวมทั้งอาจช่วยให้มีความเข้าใจถึงกลไกที่เกิดขึ้นมากยิ่งขึ้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

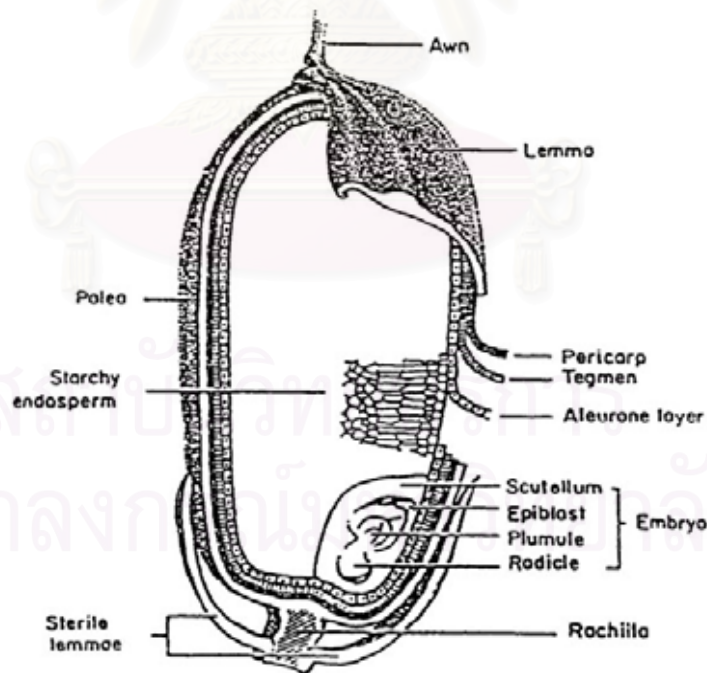
## บทที่ 2

### 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. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปแอฟริกา และ *Oryza sativa* L. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปเอเชีย และเป็นข้าวที่เป็นที่รู้จักและยอมรับอย่างกว้างขวาง และทำการผลิตและจำหน่ายกันเกือบทั้งหมดในท้องตลาด รวมทั้งที่ปลูกในประเทศไทย (Juliano, 1993)

โครงสร้างของเมล็ดข้าว (รูปที่ 2.1) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1972)

2.1.1. เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือ แกลป (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก 2 ชนิด (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดไว้ภายใน มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 25 ลิกนินร้อยละ 30 เพนโตเซนร้อยละ 15 และปริมาณเถ้าร้อยละ 21 ซึ่งในส่วนของเถ้าจะเป็นซิลิกาสูงถึงร้อยละ 90 (Hoseney, 1994)

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

2.1.3. เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

ก) เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บางรูปร่างยาวรี อาจมีหลายแถว เซลล์ในชั้นนี้มีสารให้สี (pigment) ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ เปลือกหุ้มเมล็ดมีปริมาณไขมันสูงสามารถป้องกันไม่ให้น้ำเข้าสู่เนื้อเมล็ด ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 5 ถึง 8 ไมโครเมตร (Hoseney, 1994)

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

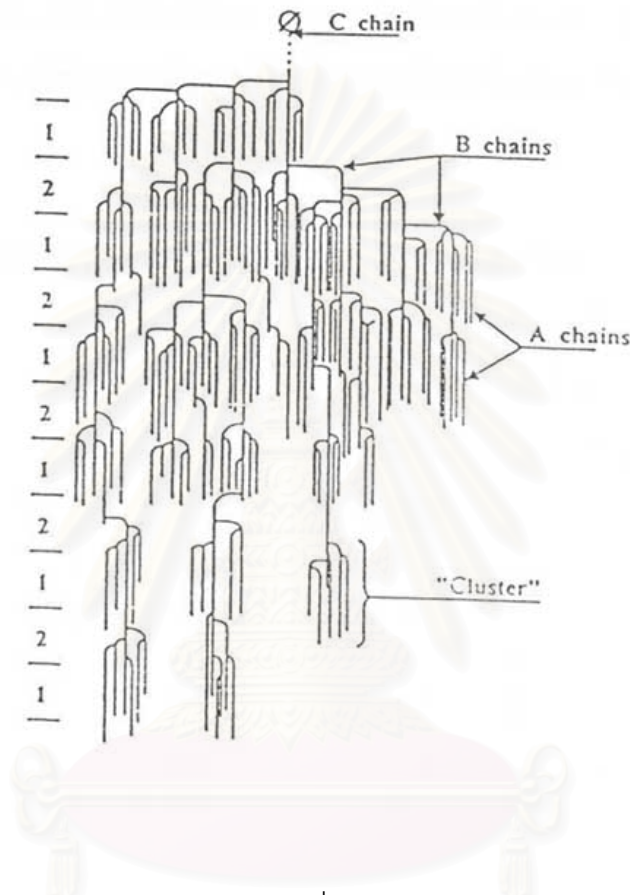
ง) คัพภะ (germ หรือ embryo) คือส่วนที่เรียกว่าจุกข้าวซึ่งจะเจริญไปเป็นต้นอ่อนของเมล็ด หรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด คัพภะประกอบด้วยส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (plumule) ส่วนที่จะงอกเป็นรากแรกกำเนิด (radicle) ทั้ง 2 ส่วนนี้ยึดติดกันด้วยปล้องที่สั้นมากเรียกว่า มีโซคอตทิล (mesocotyl) 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 ในเนื้อเมล็ดประกอบด้วยสตาร์ชและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ สตาร์ชที่เกิดในผนังเซลล์ของเนื้อเมล็ด จะอยู่รวมกันในเม็ดสตาร์ช (starch granule) ซึ่งเม็ดสตาร์ชของข้าวมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยม ส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม แต่ักพบรวมกันเม็ดเดี่ยวเช่นกัน โปรตีนที่พบอยู่ในเมล็ดจะอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ช โดยเกาะรวมกันเป็น



รูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ชั้นติดกับชั้นแฉลิวโรนเป็นส่วนใหญ่

สตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส 2 ชนิด คือ อมัยโลส (amylose) และ อมัยโลเพคติน (amylopectin) โดยพอลิเมอร์ทั้งสองส่วนนี้จะอยู่ร่วมกัน โดยมีอมัยเพคตินจัดเรียงตัวใน ลักษณะโครงสร้างกึ่งผลึก (semi-crystalline structure) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของอมัยโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึก (1) และส่วนอสัณฐาน (2) (Robin *et al.*, 1974)

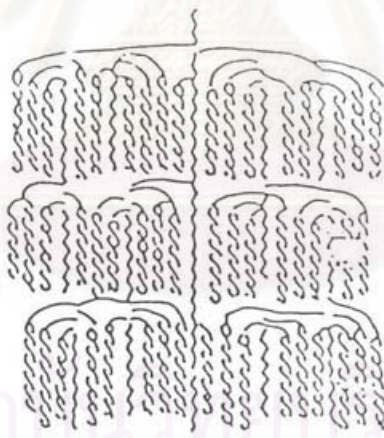
### อมัยโลส

อมัยโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 glucosidic แต่ปัจจุบันพบว่ามียิงกันหรือพันธะ  $\alpha$ -1,6 glucosidic อยู่ด้วยแต่ปริมาณน้อย อมัยโลสจากข้าวอินดิแกมี beta-amylolysis limit อยู่ร้อยละ 73 และข้าวจาปอนิกามี beta-amylolysis limit อยู่ร้อยละ 81 (Hizukuri, 1988) จึงกล่าวได้ว่าอมัยโลสจากข้าวอินดิแกมีส่วนยิงกันมากกว่าข้าวจาปอนิก้า ในขณะที่อมัยโลสเพคตินของข้าวมี beta-amylolysis limit อยู่เพียงร้อยละ 55 ถึง 60 แสดงให้เห็นว่าอมัยโลสเพคตินมีความเป็นยิงกันมากกว่าอมัยโลส เมื่ออ้อมส้อมัยโลสด้วยน้ำยาไอโอดีนจะให้สี

น้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือด และทำให้เย็นจะทำให้เกิดการคืนรูปแข็งตัว (retrogradation) ขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น สตาร์ชในข้าวเจ้าประกอบด้วยอมัยโลสร้อยละ 15-31 ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ส่วนที่เหลือจะเป็นอมัยโลเพคติน

#### อมัยโลเพคติน

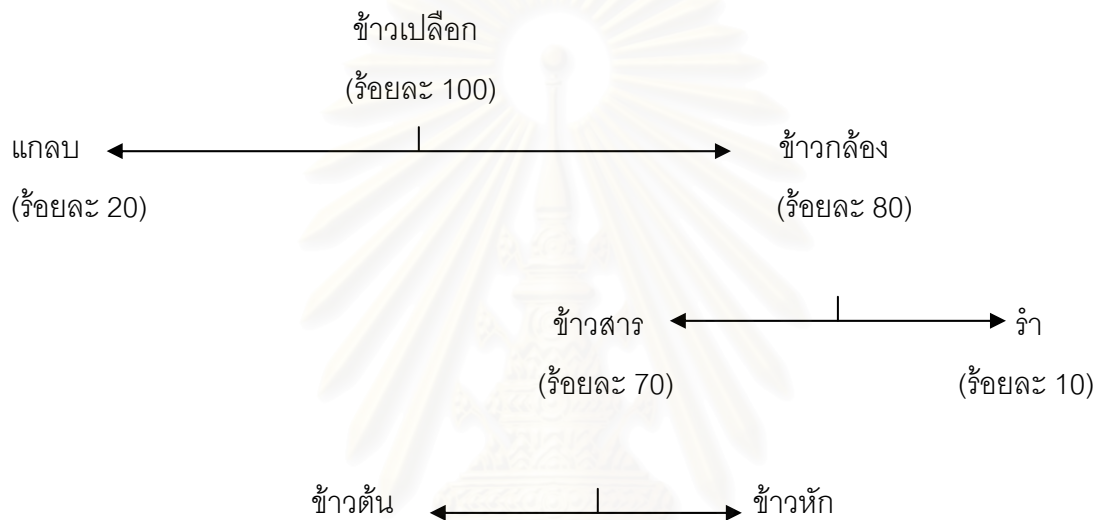
อมัยโลเพคตินเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีทั้งส่วนที่เป็นสายตรง และกิ่งก้านมาก Champagne (1996) พบว่ามีอมัยโลเพคตินมีพันธะ alpha-1,4 glucosidic โดยเฉลี่ยแล้วร้อยละ 96 ในขณะที่มีพันธะ alpha-1,6 glucosidic โดยเฉลี่ยร้อยละ 4 เมื่อย่อยมสึด้วยน้ำยาไอโอดีนจะให้สีน้ำตาลแดง เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน และเป็นส่วนทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน Hizukuri (1986) ยังรายงานไว้ว่าในส่วนที่เป็นสายตรงของอมัยโลเพคตินซึ่งอยู่บริเวณส่วนผลึก ยังเกิดการจับกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) ดังรูปที่ 2.3 การเกิดเกลียวคู่ของอมัยโลเพคตินต้องใช้พันธะไฮโดรเจน และแรงวันเตอร์วาลในการเชื่อมต่อกันทำให้บริเวณที่เป็นเกลียวคู่มีความแข็งแรงมาก ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยาด้วยกรดและเอนไซม์



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของอมัยโลเพคติน (Hozukuri, 1988)

## 2.2 กระบวนการสีข้าว

กระบวนการสีข้าว เป็นขั้นตอนสำคัญมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดเปลือกและรำข้าวให้ได้ข้าวสาร และยังกำจัดสิ่งแปลกปลอมออก การขัดสีที่ดีควรมีปริมาณข้าวหักน้อยที่สุด โดยปกติแล้วข้าวจะมีส่วนที่เป็นเปลือกประมาณร้อยละ 20 รำข้าวร้อยละ 10 และเอนโดสเปิร์มร้อยละ 70 เมื่อทำการขัดสีแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์คือ ข้าวต้น (head rice), ข้าวหัก (broken rice) และผลพลอยได้คือแกลบ (hull), จมูกข้าว (germ), รำข้าว (bran) และปลายข้าว (fine broken) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสีข้าว (Khush et al., 1974)

### 2.2.1 คำจำกัดความ

ข้าวเปลือก (Paddy rice, Rough rice) คือ ข้าวที่ได้จากการเก็บเกี่ยว เมล็ดข้าวจะยังมีเปลือกที่บริเวณโคนไม่ได้ห่อหุ้มอยู่

ข้าวกล้อง (Brown rice, Husked rice) คือ ข้าวที่ได้กำจัดเอาเปลือกออกแล้ว แต่ยังมีชั้นของรำทำให้ข้าวมีสีเข้มและมีกลิ่นเฉพาะข้าวกล้องสามารถบริโภคได้ แต่จะมีเนื้อสัมผัสต่างจากข้าวสารและใช้เวลาในการหุงนานกว่า

ข้าวสาร (White rice, Milled rice) คือ ข้าวที่ได้รับหลังจากการขัดสี ซึ่งได้กำจัดรำข้าวและจมูกข้าวออกแล้ว

ข้าวต้น (Head rice) คือ ข้าวขาวเต็มเมล็ด รวมถึงข้าวที่มีความยาว 3 ส่วน 4 ของความยาวเมล็ด ปกติจะคิดในรูปเปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก (head rice yield)

### 2.3 คุณภาพการสีและผลของธาตุอาหารต่อคุณภาพการสี

คุณภาพการสี หมายถึงปริมาณข้าวต้น (head rice) หรือข้าวสารเต็มเมล็ดที่ได้จากกระบวนการสี โดยแสดงผลในรูปของร้อยละเทียบกับข้าวเปลือก (Khush *et al.*, 1974) ในการกำหนดราคาข้าวเปลือกจะใช้คุณภาพการสีซึ่งแสดงด้วยเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ได้หลังจากการขัดสีเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณา ปกติปริมาณข้าวต้นจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 25-26 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม (Spadaro *et al.*, 1980) แต่เนื่องจากข้าวแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นสภาพแวดล้อมในการปลูก และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการสี

สำหรับธาตุอาหารที่ข้าวได้รับระหว่างการเพาะปลูกส่งผลต่อคุณภาพการสีเช่นกัน การที่ต้นข้าวจะเจริญเติบโตได้ดี จำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารมากกว่า 10 ชนิด แต่ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญของส่วนต่างๆ ของต้นข้าว คือ ธาตุไนโตรเจน (อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) หน้าที่หลักของไนโตรเจนคือจะช่วยเร่งให้ต้นข้าวตั้งตัวได้เร็วในระหว่างการเจริญเติบโต นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีผลต่อคุณภาพการสีของเมล็ดข้าวอีกด้วย ซึ่ง Jongkaewwattana และ Geng (1991) พบว่า ธาตุไนโตรเจนมีผลต่อคุณภาพสีกล่าวคือ การเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจนแก่ต้นข้าวจะทำให้คุณภาพการสีของเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนั้น ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา (2544) ศึกษาการเพิ่มคุณภาพการสีโดยการเพิ่มธาตุอาหารประเภทจุลธาตุ พบว่าการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงทดลองที่ไม่ได้รับการจัดการดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวจะมีความแข็ง (hardness) มากขึ้นอีกด้วย และการศึกษารูปแบบสารประกอบไอโอดีนที่ใช้ในการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก พบว่าสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ โพแทสเซียมไอโอเดต และโซเดียมไอโอไดด์ ทำให้ข้าวมีความแข็งมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ไอโอดีนจะมีความสัมพันธ์กับความแข็ง และคุณภาพการสีของข้าว

เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานข้าวสารมากกว่าข้าวกล้อง การขัดสีข้าวทำให้สูญเสียอาหารที่อยู่ในส่วนของจมูกข้าวและสารที่เคลือบอยู่บนผิวนอกของข้าว ซึ่งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่สูงกว่าในส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง (อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) โดยเฉพาะพวกวิตามินบี ที่มีอยู่ในข้าวกล้องจะลดลงมากเมื่อผ่านการสีเป็นข้าวสาร (Juliano, 1993) ซึ่งการสูญเสียไทอะมิน คิดเป็นร้อยละ 82 ไบโอฟลาเวโนลร้อยละ 57 และไนอะซินร้อยละ 55 จึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและในหลายๆ ประเทศ ดังนั้นการแก้ไขปัญหาคาดสารอาหาร โดยการเสริมสารอาหารลงในข้าวจึงน่าเป็นหนทางที่ดี และมีประสิทธิภาพสูง ในการป้องกันปัญหาคาดสารอาหารในประชากรส่วนใหญ่

## 2.4 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

Bramall (1986) เสนอว่า วิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสาร อาจทำได้ 3 วิธี คือ การขัดสีข้าวให้ชั้นรำข้าวออกไปน้อยลง การทำเป็นข้าวหนึ่ง การเติมวิตามินและเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในข้าว

การขัดสีข้าวให้รำข้าวออกไปน้อยลง (undermilling) เป็นการรักษาคคุณค่าทางโภชนาการที่มีอยู่ในชั้นรำข้าว เช่น วิตามินบีพวกไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินให้เหลืออยู่ได้มากกว่าข้าวที่มีการขัดสีชั้นรำข้าวออกไปมาก (Bramall, 1986) แต่ข้าวที่มีการขัดสีชั้นรำข้าวออกไปน้อยจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากมีไขมันเหลืออยู่มากในชั้นรำข้าวที่ขัดสีออกไปต่ำเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ข้าวมีกลิ่นหืน และมีสีขาวน้อยกว่าข้าวสารปกติทำให้ไม่น่ารับประทาน (Grist, 1975; Juliano, 1993)

ข้าวหนึ่ง (parboiled rice) คือข้าวที่ได้จากการนำข้าวเปลือกไปนึ่ง หรือ อบไอน้ำก่อน แล้วนำมาทำให้แห้งจากนั้นจึงนำมาสีเป็นข้าวสารเพื่อการบริโภคต่อไป (อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ วรรณอง, 2533) การทำข้าวหนึ่งสามารถทำได้โดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำเป็นเวลา 1-3 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและอุณหภูมิของน้ำที่แช่ข้าว (อุณหภูมิในช่วง 60-80 องศาเซลเซียส) แล้วนำมาตากแดดหรืออบให้แห้ง จากนั้นนำมาขัดสีเอาเปลือกออก ข้าวหนึ่งจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวสารธรรมดา เพราะการนึ่งทำให้สสารภายในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน ทำให้สสารอาหารต่างๆ กระจายเข้าไปในเมล็ดและคงอยู่ในข้าวสารเมื่อผ่านการขัดสี (Grist, 1975) แต่ข้าวหนึ่งมีข้อเสีย คือ ความร้อนที่ใช้ในการนึ่งข้าวจะทำลายสารกันหืน (antioxidant) ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกตามธรรมชาติ ทำให้ข้าวหนึ่งมีกลิ่นหืน และข้าวมักมีสีเหลือง ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Bramall, 1986)

การเติมวิตามินและเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในข้าวสาร สามารถทำได้หลายวิธีเช่น การสร้างเมล็ดข้าวเทียมโดยเทคโนโลยีอัดขึ้นรูป (extrusion) การเคลือบสารอาหารลงบนเมล็ดข้าว (ชุดิมา อัครเสถียร, 2543; ทิติกาน เมฆจรสกุล, 2545; ธนานันต์ โรจนศิริธรา, 2545) และการแพร่สารอาหารเข้าไปในเมล็ดแล้วทำการตัดแปรด้วยการทำโครสลิงค์สตาร์ช (Misaki and Yasumatsu, 1985; Hoffpauer, 1992) Bramall (1986) อธิบายถึง ข้าวพรีมิกซ์ ว่าเป็นเมล็ดข้าวสารที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูงที่ได้จากการเสริมสารอาหารด้วยวิธีการต่างๆ แล้วนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วนที่เหมาะสม และได้ข้าวที่มีปริมาณสารอาหารที่ต้องการใกล้เคียงกับข้าวกล้อง จุดประสงค์ของการเพิ่มหรือเสริมสารอาหารลงในข้าว ก็เพื่อให้ข้าวสารมีปริมาณวิตามินบี และเกลือแร่ เท่ากับที่สูญเสียไปในระหว่างการขัดสี (Juliano, 1993)

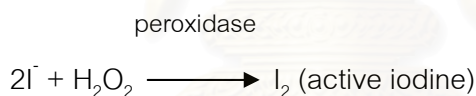


## 2.5 ไอโอดีน

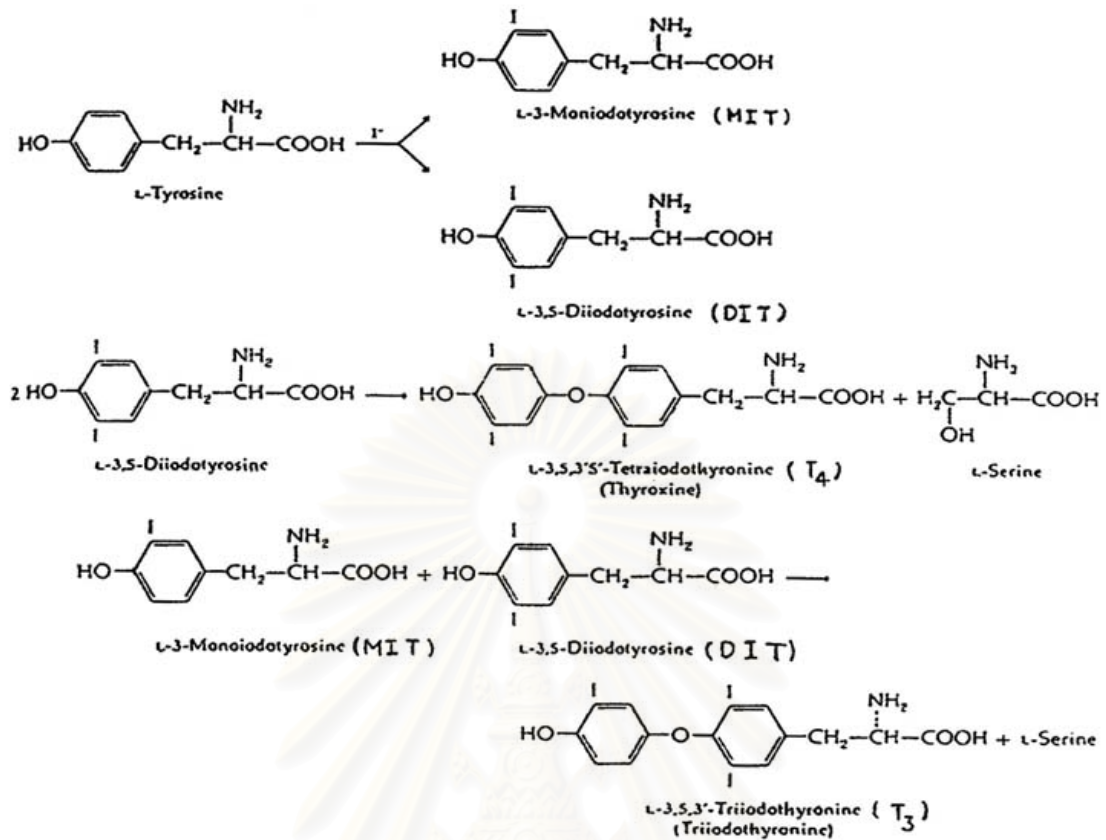
### 2.5.1 ความสำคัญของธาตุไอโอดีน

ไอโอดีนเป็นธาตุอโลหะ มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ที่ดี ไม่พบอยู่ในรูปอิสระตามธรรมชาติ แต่พบอยู่ในรูปสารประกอบของไอโอไดต์ (I<sup>-</sup>) และไอโอเดต (IO<sub>3</sub><sup>-</sup>) อยู่ในเปลือกโลกและในน้ำทะเล และไอโอดีนเป็นธาตุแรกๆ ที่ถือว่าจำเป็นต่อมนุษย์และสัตว์ (Ensminger *et al.*, 1994)

คนจะมีไอโอดีนในร่างกายประมาณ 20-50 มิลลิกรัม ไอโอดีนประมาณร้อยละ 70-80 อยู่ในต่อมธัยรอยด์ ซึ่งต่อมธัยรอยด์ในคนหนักประมาณ 30 กรัม หรือขนาด 10-25 มิลลิลิตร ต่อมธัยรอยด์มีความสามารถในการใช้ธาตุไอโอดีนและปริมาณไอโอดีนในต่อมธัยรอยด์จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณไอโอดีนในอาหารที่บริโภค ไอโอดีนจากอาหารจะถูกดูดซึมจากลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดในรูปของไอโอไดต์ (I<sup>-</sup>) โดยร้อยละ 30 จะส่งไปยังต่อมธัยรอยด์ซึ่งจะจับไอโอไดต์ไว้เพื่อผลิตธัยรอยด์ฮอร์โมนภายในต่อมธัยรอยด์ ไอโอไดต์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ thyroid peroxidase และ hydrogen peroxide เป็นไอโอดีนดังสมการ



ไอโอดีนที่ได้ร่างกายจะนำไปสร้างฮอร์โมน thyroxine (T<sub>4</sub>) และ triiodothyronine (T<sub>3</sub>) (รูปที่ 2.5) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน tyrosine กลไกการสร้างฮอร์โมน thyroxine (T<sub>4</sub>) และ triiodothyronine (T<sub>3</sub>) เริ่มจากไอโอดีนจะจับกับ tyrosine residue ที่รวมอยู่กับ thyroglobulin (ซึ่งเป็น glycoprotein เฉพาะของต่อมธัยรอยด์) กลายเป็น mono- และ diiodotyrosine (MIT และ DIT) โดย MIT และ DIT จะรวมกันได้เป็น triiodotyrosine และ DIT จะรวมกันเองได้ tetraiodotyrosine ซึ่งเป็น active form ของธัยรอยด์ฮอร์โมน thyroxine และ triiodothyronine (White *et al.*, 1973)



รูปที่ 2.5 กระบวนการสร้าง Iodotyrosines, Thyroxine และ Triiodothyronine ในต่อมธัยรอยด์ (White *et al.*, 1973)

ฮอร์โมน thyroxine และ triiodothyronine มีหน้าที่ควบคุมการเผาผลาญอาหารเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกาย เป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะโครงร่างของร่างกาย ระบบประสาท และสมอง เมื่อขาดสารไอโอดีน ทำให้อวัยวะลดการผลิตฮอร์โมนลง การลดระดับ thyroxine จะไปกระตุ้นต่อม pituitary ที่ควบคุมการผลิตฮอร์โมนให้เพิ่มปริมาณการผลิต เป็นผลให้ต่อมธัยรอยด์ทำงานหนักมากขึ้น และมีลักษณะโตขึ้นซึ่งเรียกว่า คอพอก (goiter) การขาดสารไอโอดีนเกิดได้ทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะในหญิงมีครรภ์จะทำให้เกิดการแท้งได้ อัตราการตายของทารกและมารดาจากการคลอดสูง และทารกอาจมีความพิการมาแต่กำเนิด (congenital anomalous) เช่น หูหนวก เป็นใบ้ เมื่อเด็กเจริญเติบโตขึ้นจะมีรูปร่างเตี้ยแคระ ปัญญาอ่อน ฟันยื่น หลังแอ่น หน้าผากแคบ และจมูกบาน ซึ่งเรียกว่า ภาวะเครติน (cretinism) (ประณีต ผ่องแผ้ว, 2539)

## 2.5.2 แหล่งของธาตุไอโอดีนในอาหารและความต้องการของร่างกายมนุษย์

ความต้องการสารไอโอดีนของร่างกายขึ้นอยู่กับช่วงอายุ และสภาพร่างกาย ตามข้อกำหนดเรื่องสารอาหารที่ควรได้รับประจำวัน และแนวทางการบริโภคอาหารสำหรับคนไทย กรมอนามัย (2532) กำหนดปริมาณไอโอดีนที่คนไทยควรได้รับในแต่ละวันแสดงในตารางที่ 2.1 ถ้าได้รับปริมาณ 50-75 ไมโครกรัมต่อวันจะเพียงพอสำหรับป้องกันการเกิดคอพอกในผู้ใหญ่ (Ranganathan *et al.*, 1996) แต่เพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายในกรณีที่ได้รับสารกอยโตรเจนส์ (Goitrogens) ซึ่งสามารถยับยั้งการดูดซึมไอโอดีนได้ วัยรุ่นและผู้ใหญ่ทั้งสองเพศควรได้รับไอโอดีนประมาณ 150 ไมโครกรัมต่อวัน (กรมอนามัย, 2532)

ไอโอดีนมีมากบนผิวน้ำดินในรูปของไอโอดีน และดูดซึมโดยพืช ปริมาณไอโอดีนที่มนุษย์ต้องการในแต่ละวัน ประมาณร้อยละ 90 ได้จากอาหาร และร้อยละ 10 ได้จากน้ำ โดยปริมาณไอโอดีนในเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับอาหารที่เลี้ยงสัตว์ และปริมาณไอโอดีนในพืชขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ใช้เพาะปลูก (สิริพันธุ์ จุลรังคะ, 2542) ไอโอดีนมีในอาหารทะเล เนื้อ นม ผัก และผลไม้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไอโอดีนที่ควรได้รับในแต่ละวันสำหรับคนไทย

สถานภาพ	อายุ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	ปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัม)
เด็กแรกเกิด	ต่ำกว่า 3 เดือน	4	55	ตามที่ได้รับจากนมแม่
	3-5	6	59	40
	6-8	7	67	50
	9-11	8	70	50
เด็กอายุ (ปี)	1-3	12	84	70
	4-6	16	106	90
	7-9	22	121	120
เด็กผู้ชาย (ปี)	10-12	29	135	150
	13-15	42	154	150
	16-19	54	166	150
เด็กผู้หญิง (ปี)	10-12	31	138	150
	13-15	44	152	150
	16-19	48	155	150
ผู้ใหญ่ชาย (ปี)	20-29	58	166	150
	30-39	58	166	150
	40-49	58	166	150
	50-59	58	166	150
	60 <sup>+</sup>	58	166	150
ผู้ใหญ่หญิง (ปี)	20-29	50	155	150
	30-39	50	155	150
	40-49	50	155	150
	50-59	50	155	150
	60 <sup>+</sup>	50	155	150
หญิงมีครรภ์				+25
หญิงให้นมบุตร 0-5 เดือน				+50
	6 <sup>+</sup> เดือน			+50

ที่มา: กรมอนามัย (2532)

## 2.6 รูปแบบของไอโอดีนที่ใช้ในอาหาร

โดยปกติไอโอดีนมีสมบัติระเหยเป็นไอได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับแสงแดดและความร้อน (McDowell, 1992) ดังนั้นการนำไอโอดีนมาใช้ประโยชน์ในอาหารคนจึงใช้ในรูปแบบของสารประกอบไอโอดีนซึ่งมี 2 รูปแบบที่สำคัญ คือ อัลคาไลด์ไอโอดด์ และอัลคาไลด์ไอโอดเดต แต่ในประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนชื้น ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบของไอโอดีนที่จะนำมาใช้จึงมีความสำคัญทั้งในด้านของปริมาณการใช้และความคงตัวต่อสภาพอากาศที่ร้อนชื้นดังกล่าวเพื่อลดการสูญเสียไอโอดีน (ฉัตรชัย เจนการวณิช, 2542) อัลคาไลด์ไอโอดเดตมีความคงตัวต่อภาวะที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า อัลคาไลด์ไอโอดด์โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้น โดยอัลคาไลด์ไอโอดเดตมักอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนและมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่าอัลคาไลด์ไอโอดด์ และเกลือไอโอดเดตไม่ระเหยง่ายเหมือนกับเกลือไอโอดด์ จึงสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งของไอโอดีนในอาหารได้โดยไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม (กุลยา จันทอรุณ 2533; George and Gessner, 1966; McDowell, 1992) ขณะที่เกลือไอโอดด์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าจึงมีการนำมาใช้ในการฉีดพ่นในแปลงเพาะปลูกเพื่อศึกษาการเพิ่มคุณภาพการสีข้าว และมีการใช้ในอาหารด้วยเช่นกัน

ไอโอดีนในรูปแบบต่างกันมีสมบัติ เช่น เปอร์เซ็นต์ของไอโอดีนและความสามารถในการละลายในของเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ กันดังตารางที่ 2.2 และสารประกอบไอโอดีนมีสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 2.3



ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายน้ำของไอโอดีนและสารประกอบไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ

แหล่งของไอโอดีน	มวลโมเลกุล	เปอร์เซ็นต์ไอโอดีน	ความสามารถในการละลายน้ำ* (กรัมต่อลิตร)				
			0°C	20°C	30°C	40°C	60°C
ไอโอดีน	254	100	-	2.29	0.40	0.56	-
แคลเซียมไอโอดेट	294	86.5	646	676	690	708	740
แคลเซียมไอโอดेट	390	65.0	1.0	-	4.20	6.10	13.60
โพแทสเซียมไอโอดेट	166	76.5	1280	1440	1520	1600	1760
โพแทสเซียมไอโอดेट	214	59.3	43.7	81.3	117	128	185
โซเดียมไอโอดेट	150	84.7	1590	1790	1900	2050	2570
โซเดียมไอโอดेट	198	64.1	25.0	90.0	-	150	210

\*ที่มา: Demeyer และคณะ(1979) อ้างถึงในรำไพพร มฤคทัต (2536)

\*หมายเหตุ แคลเซียมไอโอดेट ละลายน้ำได้ง่าย

แคลเซียมไอโอดेट 0.1 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตรที่ 0 °C และ

แคลเซียมไอโอดेट 0.95 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตรที่ 100 °C

โพแทสเซียมไอโอดेट 1 กรัม ละลายในน้ำ 0.70 มิลลิลิตรที่ 0.50 มิลลิลิตรในน้ำเดือด

โซเดียมไอโอดेट 1 กรัม ละลายในน้ำ 0.50 มิลลิลิตร

โซเดียมไอโอดेट 1 ส่วน ละลายในน้ำ 11 ส่วน

ข้อมูลจาก Martha (1983)

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีของสารประกอบไอโอดีน

Chemical Properties		Iodine compound		
		NaI	KI	KIO <sub>3</sub>
Reactions	Heat	BP 1304 °C	BP 1330 °C	Decompose >100 °C
	Air	Deliquesces	Deliquesces	NA
	water	alkali pH 8-9	alkali pH 7-9	NA
Solubility	H <sub>2</sub> O(g/100cc.)	184	144	8.5
	Alcohol	Soluble	Soluble	Insoluble
	Ether	NA	Slightly soluble	NA
	Acid	NA	NA	NA
MW (hydrous/anhydrous)		-/149.9	-/166.0	-/214.0
Melting point (°C)		651	686	560
Crystal form		Cubic	Cubic hexagonal	Monoclinic
Color (crystal/powder)		Colored/White	Colored/White	Colored/White
Appearance Commercial Form		Crystalline, Granular	Crystalline, Granular, Powder	Crystalline, Powder
%Element (hydrous/anhydrous)		-/84.7	-/76.5	-/18.3

อักษรย่อ: BP= boiling point; MW= molecular weight; NA= not available

ที่มา: Kutsy (1981)

## 2.7 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเสริมไอโอดีนในข้าว

ได้มีการศึกษาการเสริมธาตุไอโอดีนลงในข้าวโดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน และให้ประสิทธิภาพดี ชูติมา อัครเสถียร (2543) ศึกษาประสิทธิภาพการเสริมไอโอดีนในข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 และ พันธุ์แพร่ 1 พบว่า การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการเสริมธาตุโพแทสเซียมไอโอไดด์ลงในแปลงเพาะปลูกมีผลต่อปริมาณไนโตรเจน โปรตีน และ ไอโอดีน ของข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์ การเสริมโพแทสเซียมไอโอไดด์ในแปลงเพาะปลูกส่งผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในข้าวกล้องสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) การเสริมธาตุไอโอดีนในแปลงทดลองจะทำให้ข้าวกล้องและข้าวสารมีปริมาณไอโอดีนในเมล็ดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงว่ามีการดูดซึม และสะสมธาตุไอโอดีนภายในเมล็ดข้าว แต่ปริมาณไอโอดีนในเมล็ดข้าวยังมีน้อย (6.62-7.23 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม) ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (150 ไมโครกรัมต่อวัน) นอกจากนั้นในการศึกษาการเสริมธาตุไอโอดีนโดยการเคลือบข้าวด้วยเจลแป้งข้าวและสารละลายเจลพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน พบว่าสำหรับข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 การเคลือบด้วยสารละลายเจลพอลิเมอร์ร้อยละ 3 เมื่อนำข้าวไปล้างน้ำจะมีร้อยละ recovery ของปริมาณไอโอดีนสูงสุด (ร้อยละ 94.25) ขณะที่ข้าวพันธุ์แพร่ 1 ที่เคลือบด้วยเจลแป้งข้าวเหนียวจะมีร้อยละ recovery สูงที่สุด (ร้อยละ 99.01)

ชิติกาน เมฆจรัสกุล (2545) ศึกษาการเสริมธาตุเหล็กและธาตุเหล็กร่วมกับไอโอดีนในเมล็ดข้าวและแป้งข้าว พบว่าการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับไอโอดีนโดยวิธีการเคลือบเมล็ดข้าวด้วยเจลแป้งข้าวได้ผลที่ดี โดยข้าวจะมีปริมาณเหล็กและไอโอดีนใกล้เคียงกับปริมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณแนะนำต่อวัน คือ เท่ากับ 3.298 มิลลิกรัม และ 44.80 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนั้นการศึกษาความสามารถในการดูดซึมไอโอดีนของร่างกายในข้าวที่เสริมไอโอดีน พบว่าร่างกายสามารถดูดซึมไอโอดีนที่เสริมในเมล็ดข้าวได้อย่างดี

ธนานันต์ โจนศิริธรา (2545) ศึกษาการเสริมธาตุ ไอโอดีน เหล็ก และสังกะสีในข้าว 2 พันธุ์ โดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ เปรียบเทียบการเคลือบเพียง 1 ครั้งกับการเคลือบหลายชั้น พบว่า การเคลือบเพียงครั้งเดียวจะทำให้ข้าวเกิดรอยร้าวและแตกหักน้อยที่สุด นอกจากนั้นยังพบว่าการเคลือบข้าวด้วยแป้งฟลาวร์เสริมธาตุอาหารของข้าวเจ้าที่ได้จะมีปริมาณไอโอดีนคงเหลือภายหลังการล้างและการหุงค่อนข้างสูง (ร้อยละ 94.16 สำหรับข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 และ ร้อยละ 82.31 สำหรับข้าวพันธุ์แพร่ 1) ข้าวที่ผ่านการเสริมธาตุไอโอดีนโดยการเคลือบจะมีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมโดยมีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 46.73-50.67 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม

จารุภัทร ลือชา (2545) ได้ทำการทดลองเสริมไอโอดีนในข้าวหนึ่ง 2 พันธุ์ โดยใช้สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต พบว่าการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ข้าวกล้องจะทำให้ข้าวหนึ่งมีปริมาณไอโอดีนเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) เนื่องจากเปลือกข้าวจะขัดขวางการซึมผ่าน

ของสารอาหาร นอกจากนั้นยังพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบดังกล่าวมีผลต่อค่าการสลายตัวในต่างของข้าวหนึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มีค่าการสลายตัวในต่างสูงกว่าข้าวที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และข้าวที่ไม่เสริมไอโอดีน ซึ่งแสดงว่าข้าวจะมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำกว่าข้าวที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และข้าวที่ไม่เสริมไอโอดีน ซึ่งแสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพขึ้น

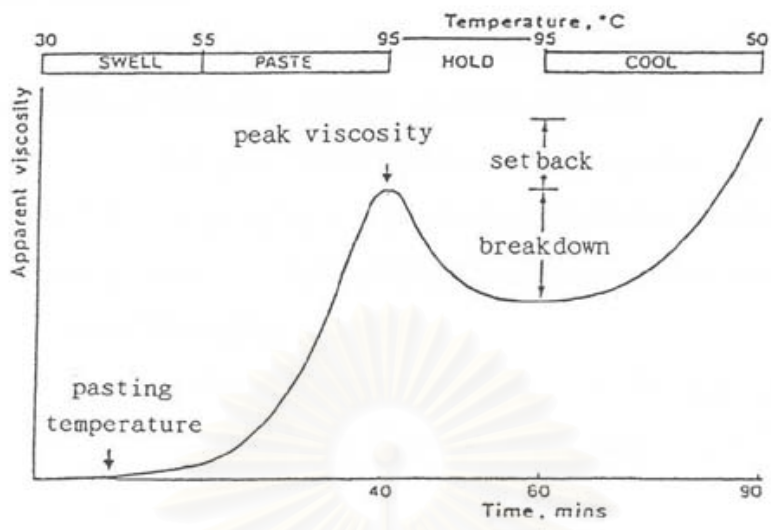
การศึกษาของการเปลี่ยนแปลงของข้าวเสริมไอโอดีนนั้นยังมีน้อยมาก ในงานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาผลของการเสริมไอโอดีนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าว

## 2.8 สมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของข้าว

สมบัติทางเคมีกายภาพนั้นมีความสำคัญต่อการตรวจสอบสมบัติของแป้ง หรือเมล็ดข้าวอยู่มาก โดยเป็นตัวบ่งบอกถึงสมบัติด้านต่างๆของข้าว เช่น คุณภาพการหุง (cooking quality) ซึ่งหมายถึงลักษณะปรากฏของข้าวภายหลังการหุง ซึ่งจะแตกต่างกันไปในข้าวแต่ละพันธุ์ เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพการหุงของข้าวจะแตกต่างกันตามบริโภคนิสัยในการรับประทานข้าวของผู้บริโภคแต่ละท้องถิ่น Bhattacharya และ คณะ (1978) พบว่าปริมาณอมัยโลส และโปรตีนในเมล็ดข้าวส่งผลต่อคุณภาพการหุง การศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวมีมากมาย แต่สำหรับการเสริมธาตุไอโอดีนในข้าวด้วยวิธีต่างๆ ยังไม่มีรายงานใดให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพมากนัก สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวที่สำคัญ ได้แก่

### 2.8.1 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของสตาร์ช จัดเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นเมื่อสตาร์ชซัสเพนชัน (starch suspension) ได้รับความร้อนจนอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแป้งสุก ความร้อนจะทำลายพันธะภายในเม็ดสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำและพองตัว (swell) ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆ เม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชจึงเคลื่อนไหวได้ยาก ความหนืดจึงเกิดขึ้น การตรวจวัดด้วย viscoamylograph ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชซัสเพนชันในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็น การวัดด้วยเครื่องนี้สตาร์ชซัสเพนชันจะได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และคงที่ไว้ระยะเวลาหนึ่งที่อุณหภูมินี้ จากนั้นจึงทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงที่ไว้ระยะเวลาหนึ่ง ติดตามผลและแสดงผลในรูปของ viscoamylogram ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยเครื่อง viscoamylograph

จากรูปที่ 2.6 ในช่วงแรกของการให้ความร้อน กราฟจะยังไม่ปรากฏความหนืดเนื่องจากเม็ดสตาร์ชยังคงพองตัวได้น้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งซึ่งเรียกว่า pasting temperature เส้นกราฟจะเริ่มขยับตัวสูงขึ้น เนื่องจากเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวทำให้น้ำแป้งมีความข้นหนืดเพิ่มมากขึ้นจนเครื่องสามารถบันทึกไว้ได้ หลังจากนั้นเส้นกราฟจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จุดที่ความหนืดสูงสุด คือ peak viscosity จากนั้นความหนืดจะลดลงอันเป็นผลมาจากเม็ดสตาร์ชพองตัวจนกระทั่งแตกเมื่อได้รับแรงเฉือน เมื่อการแตกมากกว่าการพองตัว เส้นกราฟจะแสดงความหนืดลดลงจนถึงสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงการทำให้เย็นจากอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ไปยัง 50 องศาเซลเซียส เส้นกราฟจะสูงขึ้นอีกครั้งเนื่องจากการคืนตัวของสตาร์ชสุกโดยโมเลกุลอิสระที่ละลายออกมาในน้ำแป้งขณะที่เม็ดสตาร์ชแตกโดยเฉพาะอัมัยโลสจะจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนสตาร์ชเพส มีความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง (Mazurs *et al.*, 1957 ;Dengate and Meredith, 1984)

ค่าที่ได้จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งได้แก่

1. Pasting temperature คืออุณหภูมิที่สตาร์ชชั้นเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด แป้งที่มีค่า pasting temperature สูงแสดงว่าจะต้องใช้เวลาในการทำให้แป้งสุกนานกว่าแป้งที่มีค่านี้ต่ำ
2. Peak viscosity คือความหนืดสูงสุดที่ปรากฏในกราฟ ค่า peak viscosity จะบ่งบอกถึงความสามารถในการพองตัวของเม็ดสตาร์ช

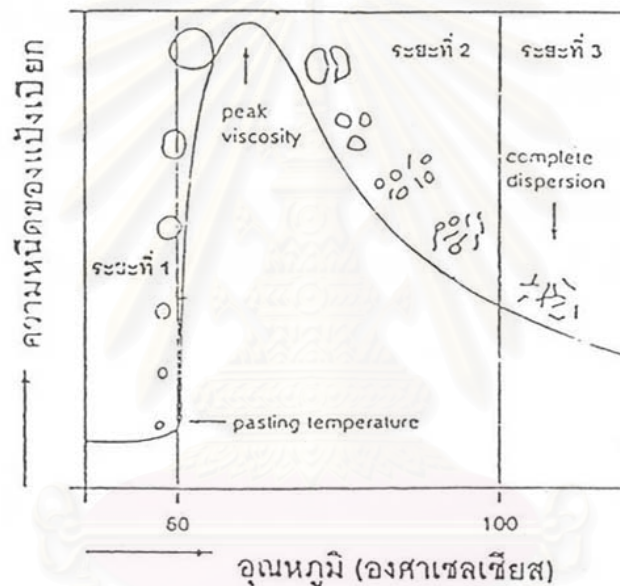


3. Breakdown คือผลต่างระหว่าง peak viscosity กับความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จะแสดงถึงเสถียรภาพของเม็ดสตาร์ชขณะพองตัวถ้าผลต่างมีค่ามากแสดงว่าเสถียรภาพของเม็ดสตาร์ชขณะพองตัวจะต่ำทำให้เม็ดสตาร์ชแตกตัวได้ง่ายขณะให้ความร้อน

4. Setback คือผลต่างระหว่างความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส กับ peak viscosity จะแสดงถึงการคืนตัวของสตาร์ชเพสถ้า setback มีค่ามากแสดงว่าสตาร์ชชนิดนั้นเกิดการคืนตัวสูง

## 2.8.2 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

การเกิดเจลาตินในเซชันอาจแบ่งไปเป็น 3 ระยะ อธิบายได้ตามรูปที่ 2.7 ดังนี้คือ



รูปที่ 2.7 ระยะในการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดสตาร์ช (Sander, 1996)

ระยะที่ 1 เป็นระยะที่สตาร์ชซัสเพนชันไม่ละลายในน้ำเย็น เกิดการดูดซึมน้ำเย็นและการพองตัวอย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยไม่เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เม็ดสตาร์ชคงรักษารูปร่างและโครงสร้าง birefringence ได้ ระยะที่ 2 คือ เมื่อให้ความร้อนกับสตาร์ชซัสเพนชันจนมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้พันธะไฮโดรเจนหรือ water bridge คลายตัวลง ร้างแหวะหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอลง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำพองตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว สตาร์ชซัสเพนชันมีความใสเพิ่มขึ้น สตาร์ชที่ละลายได้โดยเฉพาะอัมัยโลสเริ่มละลายออกมา เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และ สมบัติ birefringence หายไป ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การเกิดเจลาตินในเซชัน” (gelatinization) อุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชเกิดการขยายตัว และมีการเพิ่มขึ้นของความหนืด และสมบัติ birefringence หายไป

เรียกว่า gelatinization temperature นิยมตรวจสอบด้วยเครื่อง Kofler hot-stage microscope ซึ่งจะติดตามนับจำนวนเม็ดสตาร์ชที่สูญเสียสมบัติ birefringence เนื่องจากได้รับความร้อน โดยสังเกตผ่านกล้องจุลทรรศน์ แต่ถ้าตรวจวัดด้วย viscoamylograph จะเรียกอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดว่า pasting temperature และเมื่ออุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชพองตัวได้สูงสุดหรือความหนืดปรากฏสูงสุดว่า peak temperature และเรียกความหนืดสูงสุดที่เกิดขึ้นว่า peak viscosity เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีกโดยมีแรงเฉือนจะทำให้โครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชแตกออก ส่งผลให้ความหนืดลดลง (Sander, 1996)

### 2.8.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึง gelatinization temperature แล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก จุดที่เม็ดสตาร์ชแตกออกนี้เองจะทำให้ความหนืดของสตาร์ชเพสลดลง โมเลกุลของอัมัยโลส และอัมัยโลเพคตินกระจายออกมา เมื่อปล่อยให้สตาร์ชเพสเย็นตัว โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันโดยเฉพาะโมเลกุลของอัมัยโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโครงข่ายสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มี การดูดน้ำเข้ามาอีก ความหนืดจะเพิ่มขึ้นและคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะขุ่นและทึบแสง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “การเกิดรีโทรเกรเดชัน” หรือ “การคืนตัวของสตาร์ช” พบว่าถ้าการคืนตัวของสตาร์ชเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอนของอนุภาคสตาร์ช แต่ถ้าการคืนตัวเกิดอย่างรวดเร็ว จะเกิดเป็นเจลขุ่น เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงข่ายจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเจล ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “การแยกตัวของน้ำ” (syneresis)

ปริมาณ มวลโมเลกุล รวมทั้งโครงข่ายอัมัยโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณอัมัยโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีอัมัยโลเพคตินสูง นอกจากนี้ปริมาณ อัมัยโลส และอัมัยโลเพคตินที่มีในสตาร์ชแล้ว การคืนตัวของสตาร์ชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช พันธุ์ ความเข้มข้นของสตาร์ช กระบวนการให้ความร้อน ความเป็นอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ความเป็นกรด-เบสของสารละลายรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในสตาร์ช เช่น เกลือ น้ำตาล ไขมัน เป็นต้น (Fan and Marks, 1998)

การวัดความหนืดด้วย amyloviscograph นี้ นอกจากจะวิเคราะห์ผลด้านความหนืด ยังสามารถใช้อธิบายการเกิดเจลาติไนเซชัน และการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ สำหรับในงานวิจัยนี้จะตรวจวัดการเกิดเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง Rapid visco amylograph ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาเพื่อให้ใช้ตัวอย่าง และเวลาในการวิเคราะห์น้อยลง เหมาะสมกับงานวิจัยที่มีตัวอย่างปริมาณไม่มาก

## 2.9 ผลของตัวถูกละลาย (Solutes) ที่มีต่อการเกิดเจลลาคีโนเซชัน

สำหรับการศึกษาผลของธาตุไอโอดีนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว ยังมีน้อยมาก การศึกษาส่วนใหญ่มักให้ความสนใจเกี่ยวกับผลของตัวถูกละลายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของการเกิดเจลลาคีโนเซชัน

Ganz (1965) พบว่าเมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายให้มีความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้ peak viscosity ของสตาร์ชจากข้าวสาลีเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าโซเดียมคลอไรด์เป็นสาเหตุให้เม็ดสตาร์ชมีความคงทนมากขึ้น ทำให้สามารถพองตัวได้มากกว่า หรือคงสภาพได้ยาวนานก่อนเกิดการแตกของเม็ดสตาร์ช

D'Appolonia (1972) ศึกษาผลของส่วนผสมที่ใช้ผลิตขนมปังที่มีต่อการเกิดเจลลาคีโนเซชันของสตาร์ชจากข้าวสาลีโดยใช้ Brabender viscosamylograph พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะทำให้ peak viscosity เพิ่มขึ้น ขณะที่สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเมื่อความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 โมลาร์ จะส่งผลเพิ่ม peak viscosity

Evan และ Haisman (1982) ศึกษาผลของตัวถูกละลายที่มีต่อช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันของสตาร์ชจากมันฝรั่งโดยใช้ Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่าที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่ำจะมีผลเพิ่มอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นกลับทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันลดลง ตรงกับการทดลองของ Perez และ Lopez (1995) ที่ศึกษากับสตาร์ชจากข้าวโพดโดย DSC ซึ่งให้ความเห็นไว้ว่าสตาร์ชจะทำหน้าที่คล้ายกรดอ่อนในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยแคทไอออนจะป้องกันและทำให้เม็ดสตาร์ชเสถียร ขณะที่แอนไอออนจะเร่งการเกิดเจลลาคีโนเซชันโดยจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจน จะเห็นได้ว่าความคิดเห็นนี้บางส่วนขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Lii และคณะ (2002) ซึ่งได้ทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสตาร์ชกับ อิเล็กโตรไลต์ของเกลือ พบว่าไอโอไดด์แอนไอออนจะช่วยในการพองตัว (swelling) ของเม็ดสตาร์ช และการเกิดเจลลาคีโนเซชันของสตาร์ช โดยจะเกิดปฏิสัมพันธ์ขึ้นระหว่างสตาร์ชกับไอโอไดด์แอนไอออน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น ทำให้สมบัติทางเคมีกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ขณะที่พบว่าแคทไอออน (cation) จะไม่มีปฏิสัมพันธ์กับสตาร์ชโดยจะไม่สามารถซึมผ่านเข้าสู่เม็ดสตาร์ชได้

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### ขอบเขตงานวิจัย

**ส่วนที่ 1** การศึกษาข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ศึกษาผลของการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกที่มีต่อคุณภาพการสี และสมบัติเคมีกายภาพของเมล็ดข้าว 2 พันธุ์ (ชัยนาท1 และขาวดอกมะลิ105)

**ส่วนที่ 2** การศึกษาการเสริมไอโอดีนในข้าวโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีน

การเสริมธาตุไอโอดีนโดยใช้หลักการแพร่ (diffusion) ของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ในการแช่ข้าวกล้อง โดยเสริมไอโอดีนในระดับความเข้มข้น และเวลาต่างๆ เพื่อให้ได้ปริมาณไอโอดีนที่ต้องการ จากนั้นจึงศึกษาผลของรูปแบบของสารประกอบไอโอดีน (โพแทสเซียมไอโอไดด์ และโพแทสเซียมไอโอเดต) ที่มีต่อสมบัติเคมีกายภาพของข้าวเสริมไอโอดีน

**ส่วนที่ 3** การศึกษาการเสริมไอโอดีนโดยการทำข้าวหนึ่ง

เสริมไอโอดีนด้วยวิธีการทำข้าวหนึ่ง (parboiled rice) ซึ่งใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ โดยใช้สารประกอบไอโอดีนที่แตกต่างกัน จากนั้นศึกษาสมบัติเคมีกายภาพของข้าวหนึ่งที่ผลิตได้

**ส่วนที่ 4** การศึกษาปริมาณไอโอดีนในเมล็ดข้าวที่เสริมไอโอดีนภายหลังการทำไดแอลลิซิส (dialysis)

ข้าวที่เสริมไอโอดีนด้วยวิธีตามส่วนที่ 1 2 และ 3 จะถูกบดให้เป็นแป้งฟลาวัวร์ และนำมาทำไดแอลลิซิสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไดแอลลิซิส

**ส่วนที่ 5** การศึกษาการเก็บรักษาข้าวเสริม และไม่เสริมไอโอดีน

ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีต่อข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) ในช่วงระยะเวลา 5 เดือน

## ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ศึกษาสมบัติเคมีกายภาพของข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ออกแบบการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial in CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้แก่

- การจัดการและไม่จัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก
- พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

การจัดการธาตุไอโอดีนจะเป็นการฉีดพ่นสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ลงในแปลงข้าวเสมือนการให้ปุ๋ยทางใบ โดยจะฉีดพ่นในช่วงระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation) ของต้นข้าว

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการวิจัยนี้ปลูก และได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนจากศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเก็บเกี่ยวในระหว่าง เดือนมกราคม พ.ศ 2546 ข้าวที่เก็บเกี่ยวแล้วจะถูกนำมากระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะเปลือกแบบ Satake เพื่อให้ได้ตัวอย่างในรูปข้าวกล้อง นำบางส่วนมาขัดสีให้เป็นข้าวสารด้วยเครื่องขัดสีแบบ McGill miller no.2 ตัวอย่างข้าวสารบางส่วนจะบดผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อให้ได้แป้งฟลาวร์สำหรับการวิเคราะห์สมบัติเคมีกายภาพของข้าว ดังนั้นรูปแบบของตัวอย่างข้าวที่ใช้การวิเคราะห์และประเมินผลในการทดลองนี้จึงมี 3 รูปแบบประกอบด้วยข้าวกล้อง ข้าวสาร และแป้งฟลาวร์ที่ผลิตจากข้าวสาร ซึ่งจะวิเคราะห์และประเมินผลดังนี้

- 3.1.1 ปริมาณความชื้น โดยวิธีอบแห้งในตู้ลมร้อน ตามวิธีของ AACC 44-15A (1995) แสดงในภาคผนวก ข.1
- 3.1.2 ปริมาณโปรตีนด้วย Kjeldahl method ตามวิธีของ AACC 46-13 (1995) และคำนวณปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Juliano (1972) แสดงในภาคผนวก ข.2
- 3.1.3 ปริมาณเถ้า โดยการเผาที่อุณหภูมิสูง ( $550^{\circ}\text{C}$ ) ตามวิธีของ AACC 08-01 (1995) แสดงในภาคผนวก ข.3
- 3.1.4 ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารและรำ ด้วยวิธี macro scale (ชุตินา อัครเสถียร, 2543) แสดงในภาคผนวก ข.4
- 3.1.5 ปริมาณอมัยโลส โดยใช้เทคนิค simplified amylose assay (Juliano, 1971) แสดงในภาคผนวก ข.5
- 3.1.6 ร้อยละของข้าวต้น (head rice yield) ซึ่งคำนวณจากสมการ (Bal and Ojha, 1975)

$$\text{ร้อยละของข้าวต้น} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสารเต็มเมล็ดที่ได้หลังการขัดสี} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกเริ่มต้น}}$$



- 3.1.7 ความแข็งของเมล็ด (grain hardness) วัดในตัวอย่างข้าวกล้องด้วยเครื่อง grain hardness analyzer
- 3.1.8 สมบัติเพสติงของแป้งฟลาวร์ โดยใช้ Rapid Visco Amylograph (RVA) ตามวิธีของ Norbert และ คณะ (1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.6
- 3.1.9 การดูดซับน้ำและน้ำมัน (water and oil absorption capacity) ของแป้งฟลาวร์ ตามวิธีของ Adebowale และ Lawal (2004) แสดงในภาคผนวก ข.7
- 3.1.10 สมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวสารหุงสุกด้วยเครื่อง texture analyzer (Gujral and Kumar, 2003) แสดงในภาคผนวก ข.8
- 3.1.11 ตรวจสอบพื้นผิวของเมล็ดข้าวกล้องด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM) (Brisibe *et al.*, 1992) แสดงในภาคผนวก ข.9
- 3.1.12 วิเคราะห์รูปแบบโปรตีนของเมล็ดข้าวกล้อง และใบข้าวด้วยเทคนิค SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) (Laemmli, 1970) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.10

เนื่องจากในการทดลองนี้มีการวิเคราะห์และประเมินผลในตัวอย่างข้าวหลายรูปแบบ ดังนั้นจึงสามารถจัดหมวดหมู่ได้ดังนี้ โดยการวิเคราะห์ตามข้อ 3.1.1-3.1.5, 3.1.8 และ 3.1.9 จะวิเคราะห์ในตัวอย่างแป้งฟลาวร์ การวิเคราะห์ตามข้อ 3.1.7, 3.1.11 และ 3.1.12 จะวิเคราะห์ในตัวอย่างข้าวกล้อง และการวิเคราะห์ตามข้อ 3.1.10 จะวิเคราะห์ในตัวอย่างข้าวสาร ขณะที่การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน และรูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิค SDS-PAGE นั้น จะทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมในตัวอย่างรำข้าวและใบข้าวตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ตามข้อ 3.1.1-3.1.10 จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) (Cochran and Cox, 1992) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 3.2 ศึกษาการผลิต และสมบัติเคมีกายภาพของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีน

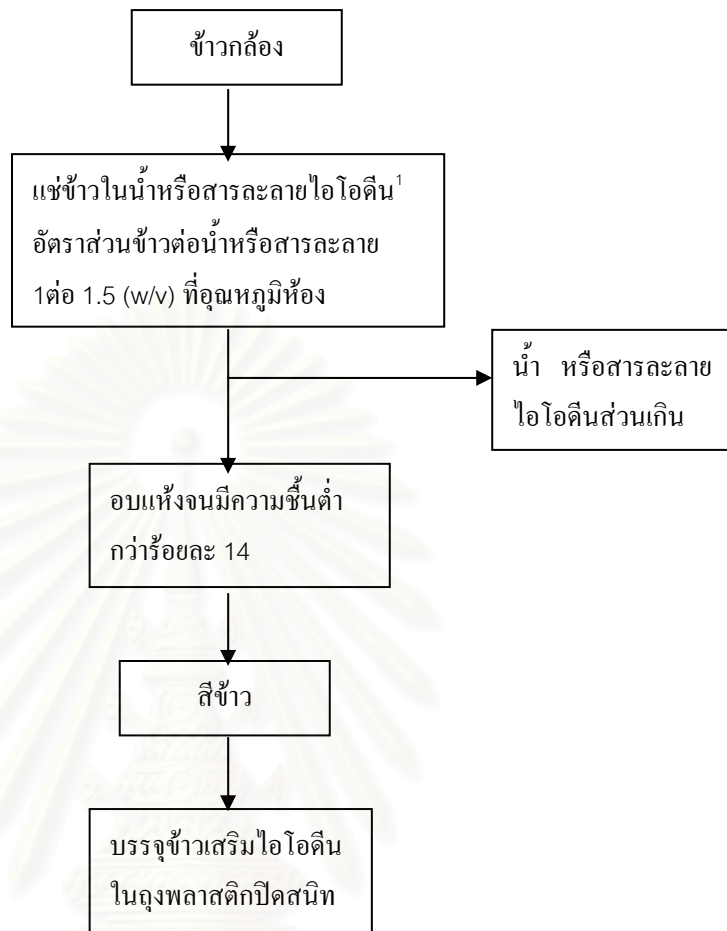
### 3.2.1 ศึกษาภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการผลิตเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย

ออกแบบการทดลอง แบบ  $3^2$  Factorial in CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ปัจจัยที่ต้องการศึกษา ได้แก่

- ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวกล้องในสารละลายไอโอดีน 3 ระดับ ได้แก่ 10 15 และ 20 นาที
- ปริมาณไอโอดีนในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) 3 ระดับ ได้แก่ 1,000 1,300 และ 1,600 ไมโครกรัมต่อข้าว100กรัม (อัตราส่วนข้าวต่อสารละลาย1:1.5 w/v)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมไอโอดีนในข้าวให้ได้ 50 ไมโครกรัมต่อข้าว100กรัม ซึ่งเป็น1ใน3ของปริมาณแนะนำต่อวัน [ปริมาณแนะนำคือ 150 ไมโครกรัมต่อวัน (กรมอนามัย, 2532) และคนบริโภคข้าวสารประมาณวันละ 300กรัม (Florentino and Pedro, 1998)] โดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท1 ในสารละลายไอโอดีน โดยแปรระยะเวลาในการแช่ข้าว และปริมาณไอโอดีนในสารละลายที่ให้ข้าวกล้องที่ได้ภายหลังการทำแห้งเกิดรอยร้าว และแตกหักน้อยที่สุด

ขั้นตอนการเตรียม แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยงานวิจัยที่จะศึกษาต่อไปจะใช้เพียงข้าวพันธุ์ชัยนาท1 เท่านั้น เนื่องจากเป็นข้าวที่มีปริมาณอมัยโลสสูงจึงทนทานต่อการแตกร้าวได้มากกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีปริมาณอมัยโลสต่ำซึ่งจะแตกหักอย่างรุนแรงเมื่อนำไปแช่น้ำ ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากนำข้าวเปลือกมากระเทาะเปลือกเพื่อให้ได้ข้าวกล้อง จากนั้นจะนำข้าวกล้องปริมาณ 500 กรัมมาแช่ในสารละลายไอโอดีนที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณไอโอดีน 1,000 1,300 และ 1,600 ไมโครกรัมต่อข้าว100 กรัม ในอัตราส่วนข้าวต่อสารละลาย 1ต่อ1.5 (w/v) โดยใช้ระยะเวลาในการแช่นาน 10 15 และ 20 นาที จากนั้นรินสารละลายไอโอดีนทิ้งและนำข้าวกล้องที่ผ่านการแช่มากระจายบนถาดอลูมิเนียม และนำไปอบแห้งในเครื่องทำแห้งแบบถาด อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 ข้าวกล้องที่ได้เมื่อถึงขั้นตอนนี้บางส่วนจะนำไปตรวจสอบพื้นผิวของเมล็ดข้าวด้วยเทคนิค SEM (Brisibe *et al.*, 1992) ส่วนที่เหลือจะนำมาขัดสีให้เป็นข้าวสาร



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีน

<sup>(1)</sup>เติมสารประกอบไอโอดีนในขั้นตอนนี้

นำข้าวสารเสริมไอโอดีนมาบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อให้ได้แป้งฟลาวร์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี macro scale (ชุดิมา อัครเสถียร, 2543) และนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีน ด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) (Cochran and Cox, 1992) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเลือกภาวะที่ทำให้ข้าวเสริมไอโอดีนมีรอยแตกร่วนน้อยที่สุด

### 3.2.2 การศึกษาสมบัติเคมีกายภาพของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย

ออกแบบการทดลอง แบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลของสารประกอบไอโอดีนต่างกัน 2 ชนิด คือ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) และโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) รวมทั้งผลของการใช้สารประกอบทั้ง 2 ร่วมกันในการเสริมไอโอดีนในข้าวโดยแช่ในสารละลาย ซึ่งอาศัยหลักการแพร่ (diffusion) ของสารละลายไอโอดีนสู่เมล็ดข้าวโดยไม่ใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว วัตถุประสงค์รองคือศึกษาความแตกต่างระหว่างข้าวที่ผ่านการแช่เปรียบเทียบกับตัวอย่างข้าวสารปกติที่ใช้ในการบริโภคจริงตามท้องตลาดของประเทศไทย โดยการผลิตข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในการทดลองนี้จะใช้ภาวะการผลิตที่เลือกจากผลการทดลองที่ 3.2.1 (รายละเอียดการเตรียมสารละลายไอโอดีนแสดงในภาคผนวก ข.11) และแปรชนิดของข้าวที่ทำการศึกษาดังนี้

- ข้าวสารปกติ คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย และจะผ่านกระบวนการขัดสีที่ระดับร้อยละ 10-11 ซึ่งเป็นระดับที่ใช้กับข้าวที่บริโภคในท้องตลาด ตัวอย่างนี้จะใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างข้าวที่ผ่านการแช่
- ตัวอย่างควบคุม คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างควบคุมของการเสริมไอโอดีนในข้าวเสริมโดยการแช่ ซึ่งจะมีกระบวนการผลิตและขัดสีเช่นเดียวกับข้าวที่แช่ในสารละลายไอโอดีนอื่นๆ ทุกประการ
- ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายไอโอดีนที่เตรียมจาก  $KIO_3$
- ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายไอโอดีนที่เตรียมจาก KI
- ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายไอโอดีนที่เตรียมจาก KI และ  $KIO_3$  ร่วมกัน (อัตราส่วน KI:  $KIO_3$  คือ 1:1 โดยคิดตามปริมาณไอโอดีน)

ตัวอย่างข้าวทั้งหมดจะถูกขัดสีให้เป็นข้าวสารด้วยเครื่องสี แบบ McGill miller no.2 และบดผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าดังนี้

3.2.2.1 ปริมาณความชื้น โดยวิธีอบแห้งในตู้ลมร้อน ตามจากวิธีของ AACC 44-15A (1995)

3.2.2.2 ปริมาณโปรตีนด้วย Kjeldahl method ตามจากวิธีของ AACC 46-13 (1995) และ

คำนวณปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Juliano (1972)

3.2.2.3 ปริมาณเถ้า โดยการเผาที่อุณหภูมิสูง ( $550^{\circ}C$ ) ตามวิธีของ AACC 08-01 (1995)

3.2.2.4 ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และในรำด้วยวิธี macro scale (ซุติมา อัสวเสถียร, 2543)

3.2.2.5 ปริมาณอมัยโลส โดยใช้เทคนิค simplified amylose assay (Juliano, 1971)

3.2.2.6 สมบัติเพสติงของแป้งฟลาวาร์โดยใช้ Rapid Visco Amylograph (RVA) ตามวิธีของ Norbert และ คณะ(1995)

3.2.2.7 การดูดซับน้ำ และน้ำมัน (water and oil absorption capacity) ของแป้งฟลาวาร์ ตามวิธีของ Adebawale และ Lawal (2004)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ตาม ข้อ 3.2.2.1-3.2.2.7 จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) (Cochran and Cox, 1992) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 3.3 การศึกษาสมบัติเคมีกายภาพของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน

ออกแบบการทดลอง แบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์คล้ายคลึงกับการทดลองข้อ 3.2.2 กล่าวคือมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลของสารประกอบไอโอดีนต่างกัน 2 ชนิดคือ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) และโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) รวมทั้งผลของการใช้สารประกอบทั้ง 2 ร่วมกันในการเสริมไอโอดีนในข้าวหนึ่ง โดยอาศัยกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลักคือการแช่ และการนึ่งข้าวด้วยไอน้ำในการเสริมไอโอดีนที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว วัตถุประสงค์รองคือศึกษาความแตกต่างระหว่างตัวอย่างข้าวหนึ่งเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำข้าวหนึ่งและเป็นรูปแบบข้าวปกติที่ใช้ในการบริโภคจริงตามท้องตลาดของประเทศไทย โดยในการทดลองนี้จะแปรชนิดของข้าวที่ทำการศึกษา ดังนี้

- ข้าวสารปกติ คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ไม่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง
- ตัวอย่างควบคุม คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งแต่ไม่เสริมไอโอดีน ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างควบคุมการเสริมไอโอดีนในข้าวหนึ่ง
- ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่เสริมไอโอดีนด้วย  $KIO_3$  ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง
- ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่เสริมไอโอดีนด้วย KI ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง
- ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่เสริมไอโอดีนด้วย KI และ  $KIO_3$  ร่วมกันในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง (อัตราส่วน KI:  $KIO_3$  คือ 1:1 โดยคิดตามปริมาณไอโอดีน)

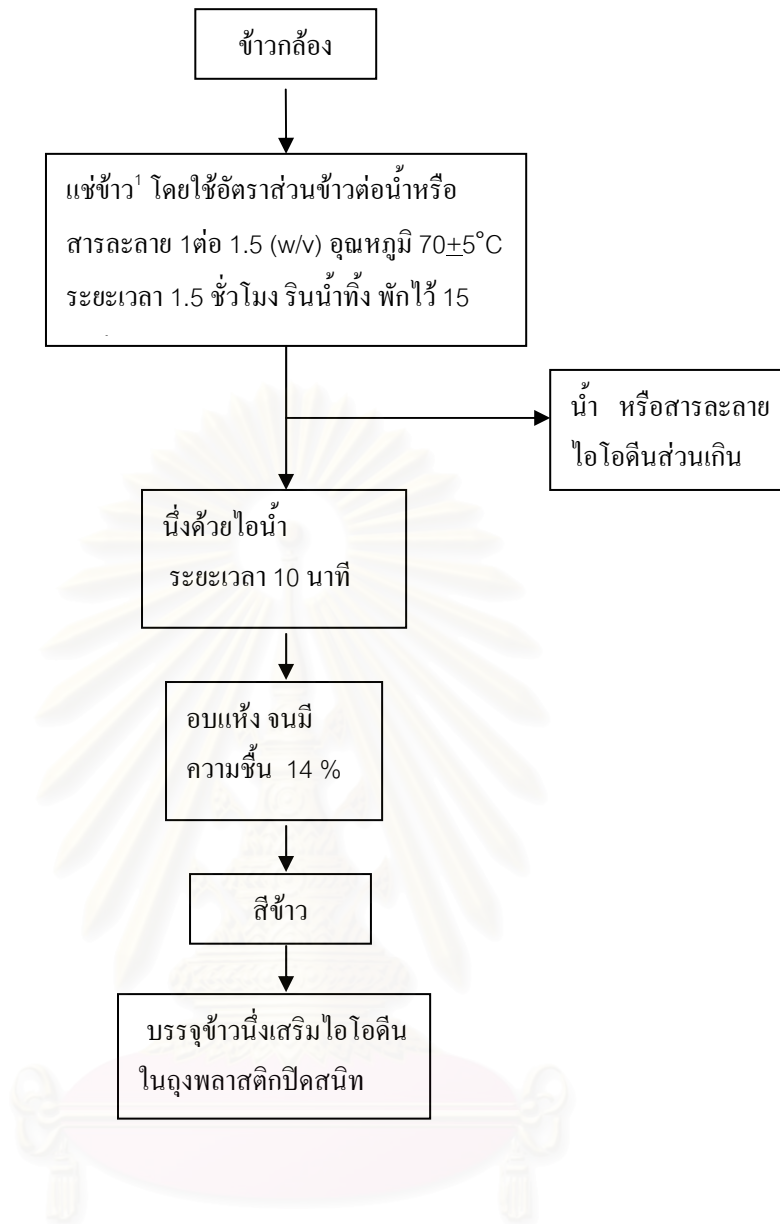
การผลิตข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนจากวัตถุดิบข้าวกล้องจะใช้วิธีอ้างอิงจากการศึกษาของ จารุภัทร ลือชา (2545) (รูปที่ 3.2) โดยเริ่มจากนำข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท1 มากระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะเปลือกแบบ Satake นำข้าวกล้องที่ได้ปริมาณ 500 กรัมมาแช่ในน้ำปราศจากไอออนหรือสารละลายไอโอดีนที่เตรียมจาก KI หรือ  $KIO_3$  หรือสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกัน ที่มีปริมาณไอโอดีน



500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม (รายละเอียดการเตรียมสารละลายไอโอดีนแสดงในภาคผนวก ข.11) อัตราส่วนข้าวต่อสารละลาย 1 ต่อ 1.5 (w/v) โดยควบคุมอุณหภูมิที่  $70 \pm 5$  องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมินาน 1 ชั่วโมงครึ่ง รินสารละลายทิ้งและพักข้าวให้สะเด็ดน้ำนาน 15 นาที จึงนำไปนึ่งด้วยไอน้ำนาน 10 นาที จากนั้นนำข้าวที่ได้มากระจายบนถาดอลูมิเนียม และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 ข้าวกล้องหนึ่งที่ได้บางส่วนจะนำมาตรวจสอบภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวกล้องด้วยเทคนิค SEM (Brisibe *et al.*, 1992) นำส่วนที่เหลือมาขัดสีให้เป็นข้าวสารด้วยเครื่องสีข้าวแบบ McGill miller no.2 จะได้ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน และจะนำมาบดผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ให้ได้แป้งฟลาวร์เพื่อศึกษาสมบัติเคมีกายภาพ ดังนี้

- 3.3.1 ปริมาณความชื้น โดยวิธีอบแห้งในตู้ลมร้อน ตามวิธีของ AACC 44-15A (1995)
- 3.3.2 ปริมาณโปรตีนด้วย Kjeldahl method ตามวิธีของ AACC 46-13 (1995) และคำนวณปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Juliano (1972)
- 3.3.3 ปริมาณเถ้า โดยการเผาที่อุณหภูมิสูง ( $550^{\circ}\text{C}$ ) ตามวิธีของ AACC 08-01 (1995)
- 3.3.4 ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี macro scale (ชุตินา อิศวเสถียร, 2543)
- 3.3.5 ปริมาณอมัยโลส โดยใช้เทคนิค simplified amylose assay (Juliano, 1971)
- 3.3.6 สมบัติเพสติงของแป้งฟลาวร์ โดยใช้ Rapid Visco Amylograph ตามวิธีของ Norbert และคณะ (1995)
- 3.3.7 การดูดซับน้ำ และน้ำมัน (water and oil absorption capacity) ของแป้งฟลาวร์ ตามวิธีของ Adebawale และ Lawal (2004)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ตาม ข้อ 3.3.1-3.3.7 จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) (Cochran and Cox, 1992) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวนี้เสริมไอโอดีนจากข้าวกล้อง

<sup>(1)</sup> เติมสารประกอบไอโอดีนในขั้นตอนนี้

### 3.4 ศึกษาปริมาณไอโอดีนในเมล็ดข้าวเสริมไอโอดีนหลังการทำไดแอลิซิส

ออกแบบการทดลองแบบ Factorial 8x2 in CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่

- ชนิดของข้าว 8 ชนิด คือ ข้าวสารปกติ (ข้าวที่ไม่มีการเสริมไอโอดีนด้วยวิธีใดๆ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม), ข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย KI, เสริมโดยการแช่ในสารละลาย  $KIO_3$ , เสริมโดยการแช่ในสารละลาย KI ร่วมกับ  $KIO_3$ , เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ KI, เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้  $KIO_3$ , เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ KI ร่วมกับ  $KIO_3$  และข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก
- การทำไดแอลิซิส และไม่ทำ (control)

ข้าวขัดสีนำมาบดให้เป็นแป้งฟลาวัวร์ และทำไดแอลิซิสในน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน โดยใช้ถุง Sigma Dialysis tubing ซึ่งทำจากเซลลูโลส มี molecular weight cut off เท่ากับ 3000 ซึ่งไอโอดีนและไอโอดेटไอออนสามารถซึมผ่านถุงได้แต่โมเลกุลของสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านได้ โดยนำตัวอย่างจำนวน 10 กรัม และน้ำกลั่นปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตรใส่ในถุงไดแอลิซิสมัดปากถุงให้แน่น และแช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงทำการเปลี่ยนน้ำทุก 8 ชั่วโมง และ คนอยู่ตลอดเวลา จากนั้นนำตัวอย่างในถุงไดแอลิซิสมาอบแห้งโดยอบที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}C$  จนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 (Hettiarachchy *et al.*, 1996) แล้วจึงวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี macro scale (ชุดิมา อัสวเสถียร, 2543) ทั้งก่อนและหลังการทำไดแอลิซิส นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) (Cochran and Cox, 1992) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 3.5 การศึกษาผลของการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวหนึ่งเสริม และไม่เสริมไอโอดีน

ออกแบบการทดลองแบบ Factorial 3x4 in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่

- ชนิดของข้าว 3 แบบ คือ ตัวอย่างควบคุม (ข้าวพันธุ์ชัยนาท1), ข้าวหนึ่งที่ไม่เสริมไอโอดีน และ ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้  $KIO_3$
- ระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน (เก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง)

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นข้าวปกติที่ไม่ผ่านการทำข้าวหนึ่ง โดยตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิดในรูปของข้าวกล้องจะนำมาบรรจุใน

ถุงพลาสติก (polypropylene) และเก็บรักษาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 5 เดือน โดยสุ่มตัวอย่างจำนวน 4 ครั้ง (เดือนที่ 0, 2, 4 และ 5) ตัวอย่างข้าวที่สุ่มมาวิเคราะห์จะถูกนำมาขัดสีให้เป็นข้าวสารและบดผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อใช้เป็นตัวอย่างแบ่งฟลาวาร์ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลดังนี้

3.5.1 ปริมาณความชื้น โดยวิธีอบแห้งในตู้ลมตามวิธีของ AACC 44-15A (1995)

3.5.2 ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี macro scale (ซูติมา อัสวเสถียร, 2543)

3.5.3 ค่าสีในระบบ CIE L\*a\*b\* ด้วยเครื่องวัดสี Minota-C300 แหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub> แต่ละซ้ำทำการวัดสี 10 จุด (วัดสีของเมล็ดข้าวกล้อง) คำนวณดัชนีความขาว (white index) ตามวิธีของ Chen และคณะ (1999)

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

3.5.4 สมบัติเพสติงของแบ่งฟลาวาร์โดย Rapid Visco Amylograph (RVA) ตามวิธีของ Norbert และคณะ (1995)

3.5.5 การดูดซับน้ำ (water absorption capacity) ของแบ่งฟลาวาร์ ตามวิธีของ Adebowale และ Lawal (2004)

ทำการวิเคราะห์พลวัตของการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของข้าวกล้องปกติ ข้าวนี้ และข้าวนี้เสริมไอโอดีนด้วย KIO<sub>3</sub> ภายใต้การเก็บรักษาระยะเวลา 5 เดือน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์การทดลอง

#### 4.1 สมบัติทางเคมี กายภาพและเคมีกายภาพของข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ได้รับการปลูกในแปลงทดลองซึ่งมีการควบคุมการเพาะปลูกให้มีความสม่ำเสมอ ข้าวที่ปลูกในแปลงทดลองที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนและตัวอย่างควบคุมหรือข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนถูกเก็บเกี่ยวและทำแห้งโดยศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.1 และง.2)

**ตารางที่ 4.1** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส ไอโอดีน และเถ้าของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source of Variance	ความชื้น	โปรตีน	อมัยโลส	ไอโอดีนในข้าวสาร	ไอโอดีนในรำ	เถ้า
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	ns	ns	ns	*	**	ns
พันธุ์ข้าว(B)	**	**	**	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	5.90	3.06	2.86	15.99	11.38	10.26

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

CV คือ Coefficient of Variation



จากตารางที่ 4.1 พบว่าพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้น โปรตีน และอัมยิโลส อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ขณะที่การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกส่งผลต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และมีผลต่อปริมาณไอโอดีนในรำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยพันธุ์ข้าวกับการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อปริมาณไอโอดีนในรำอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ก) ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อสมบัติทางเคมีของข้าว

ข้าวทั้ง 2 พันธุ์จะมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 มีปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 11.96 และ 13.75 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องมาจากการจัดการหลังเก็บเกี่ยวที่ไม่พร้อมกัน และมีความแปรปรวนได้ง่ายจากการทำแห้งโดยการตากแดดที่ควบคุมภาวะได้ยาก จึงเป็นสาเหตุทำให้ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สามารถเก็บรักษาข้าวได้นานคือน้อยกว่า ร้อยละ 14 (งามชื่น คงเสรี, 2542) โดยจะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและทางกายภาพของข้าว

ตารางที่ 4.2 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณความชื้นของข้าว

พันธุ์ข้าว	ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)
ชัยนาท1	11.96 <sup>b</sup>
ชาวดอกมะลิ105	13.75 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	0.83

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท1 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.32 และ 8.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของชนินันท์ วรรณะหทัย (2542) ซึ่งรายงานว่าการข้าวพันธุ์ชัยนาท1 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 โดยมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.55 และ 7.85 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณโปรตีนของข้าว

พันธุ์ข้าว	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ชัยนาท1	9.32 <sup>a</sup>
ขาวดอกมะลิ105	8.02 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	0.34

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

พันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณอัมยิโลสในเมล็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) (ตารางที่ 4.1) โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท1 มีปริมาณอัมยิโลสร้อยละ 30.25 จึงจัดเป็นข้าวประเภทที่มีอัมยิโลสสูง ขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณอัมยิโลสร้อยละ 16.19 (ตารางที่ 4.4) จึงจัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอัมยิโลสต่ำตามวิธีการแบ่งประเภทข้าวโดย Juliano (1972) ปริมาณอัมยิโลสในเมล็ดข้าวนั้นจะแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ข้าว และยังขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่นอุณหภูมิ ฤดูกาล เพาะปลูก และสภาพของดินอีกด้วย (Kongseree and Juliano, 1972; Takeda and Sasaki, 1986)

ตารางที่ 4.4 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณอัมยิโลสของข้าว

พันธุ์ข้าว	ปริมาณอัมยิโลส (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ชัยนาท1	30.25 <sup>a</sup>
ขาวดอกมะลิ105	16.19 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	0.72

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ปริมาณเถ้าของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนั้นข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุโอไดตินในแปลงเพาะปลูกก็มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) เช่นกัน (ตารางที่ 4.1) โดยตัวอย่างข้าวทั้งหมดมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.51-0.55 (ตารางภาคผนวก ง.1)

ข) ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อสมบัติทางเคมีของข้าว

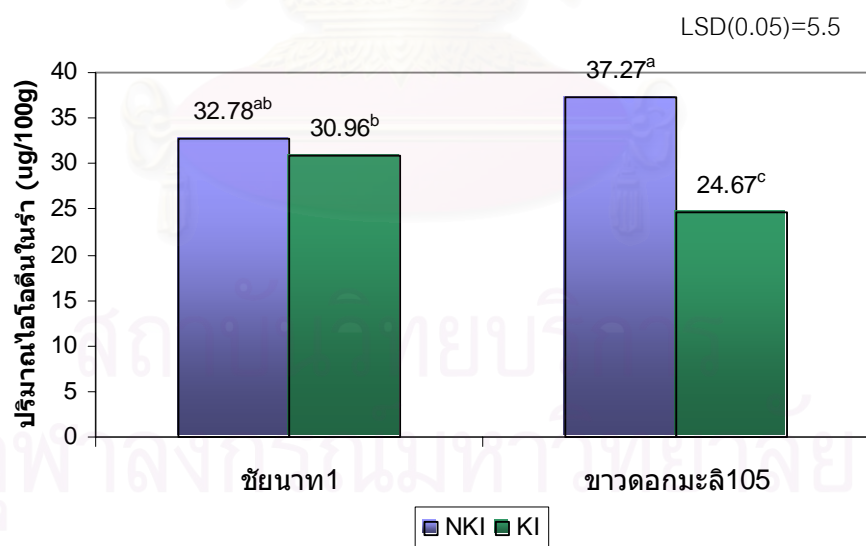
การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมีผลทำให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ในทั้ง 2 พันธุ์ โดย ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 เพิ่มขึ้นจาก 6.90 เป็น 9.03 ไมโครกรัมต่อ100กรัม หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.87 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มขึ้นจาก 8.43 เป็น 10.21 ไมโครกรัมต่อ100กรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 21.12 (ตารางภาคผนวก ง.2) ดังนั้นการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกจึงสามารถช่วยเพิ่มปริมาณไอโอดีนในเมล็ดได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Juliano (1972) ซึ่งรายงานว่าแร่ธาตุในเมล็ดข้าวมาจากองค์ประกอบและแร่ธาตุของดินที่ใช้ปลูก รวมทั้งปุ๋ยที่ได้รับ การจัดการธาตุไอโอดีนนั้นอาศัยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดต์ในการฉีดพ่นเสมือนการให้ปุ๋ยทางใบ ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดต์จะแตกตัวเป็นไอออนโพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) และ ไอโอไดต์ไอออน ( $I^-$ ) โดยธาตุโพแทสเซียมเป็นสารอาหารสำคัญของข้าว มีหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการสร้างอาหารและเคลื่อนย้ายอาหารในต้นข้าว (จำรัส ไปร่งศิริวัฒนา, 2534) Pauwels (1961) รายงานว่าพืชจะดูดซึม  $I^-$  ได้ดีกว่าไอโอดีตไอออน ( $IO_3^-$ ) อย่างไรก็ตามไอโอดีนที่ข้าวดูดซึม และสะสมในเมล็ดนั้นมีปริมาณเล็กน้อย และไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (Mackowiak and Grossl, 1992) เนื่องจากการดูดซึมธาตุไอโอดีนของต้นข้าวมีจำกัด Mynet และWain (1973) ระบุว่าไอโอดีนเป็นพืชต่อพืช โดย  $I^-$  ในเซลล์พืชจะถูกออกซิไดส์เป็นไอโอดีน ( $I_2$ ) ซึ่งจะยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ขณะที่ Herrett และคณะ (1962) รายงานว่าพืชจะขนส่ง  $I^-$  ทาง xylem มากกว่า phloem ดังนั้นไอโอดีนจึงถูกสะสมในเมล็ดเพียงเล็กน้อย ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร

การจัดการธาตุไอโอดีน	ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)
ไม่ได้รับการจัดการ	7.66 <sup>b</sup>
ได้รับการจัดการ	9.62 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	1.51

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ในขณะที่การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกทำให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับตัวอย่างรำแล้วกลับในผลในทางตรงข้าม โดยพบว่าข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกเมื่อชั้ต้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนจะมีปริมาณไอโอดีนต่ำกว่ารำจากข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และพบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อปริมาณไอโอดีนในรำดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 จะมีปริมาณไอโอดีนในรำลดลงเล็กน้อยจาก 32.78 เป็น 30.96 ไมโครกรัมต่อ100กรัม ขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ปริมาณไอโอดีนจะลดลงมากกว่าคือจาก 37.27 เป็น 24.67 ไมโครกรัมต่อ100กรัม แสดงให้เห็นว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีการตอบสนองต่อการจัดการธาตุไอโอดีนแตกต่างกัน การลดลงของปริมาณไอโอดีนในรำสันนิษฐานว่ามีสาเหตุจากเมื่อข้าวได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกต้นข้าวจะได้รับความเครียด ซึ่งจะสังเกตได้จากใบข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองน้ำตาลภายหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 4-7 วัน และใบข้าวจะกลับมาเป็นสีเขียวอีกครั้งเมื่อระยะเวลาผ่านไป 10-14 วัน ทำให้ธาตุไอโอดีนที่พบมากในรำถูกเคลื่อนย้ายไปยังส่วนที่เป็นข้าวสาร (endosperm) มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไอโอดีนในรำลดลงขณะที่ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของชั้นแอลิวโลนซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเก็บแร่ธาตุในเมล็ดเนื่องจากความเครียดดังกล่าว สำหรับกลไกการเคลื่อนย้ายไอโอดีนยังไม่ทราบแน่ชัด และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป



(NKI= ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก, KI= ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก)  
a, b, c กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ )

รูปที่ 4.1 อิทธิพลร่วมระหว่างการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกับพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณไอโอดีนในรำ

ในรำมีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าในเมล็ดมากโดยมีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 24.67-37.27 ไมโครกรัมต่อ100กรัม ขณะที่ข้าวสารมีปริมาณไอโอดีนเพียง 6.90-10.21 ไมโครกรัมต่อ100 กรัม แสดงให้เห็นว่าไอโอดีนจะสะสมมากในบริเวณรำซึ่งสอดคล้องกับงานของ Grist (1975) ที่รายงานว่าข้าวสารมีปริมาณไอโอดีนน้อยกว่าข้าวกล้อง คือ 2.67 และ3.88 ไมโครกรัมต่อ100กรัม ตามลำดับ ดังนั้นการขัดสีข้าวจะทำให้ไอโอดีน และแร่ธาตุถูกกำจัดออกไป

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ ได้แก่ ความแข็งของเมล็ดโดยวัดกับตัวอย่างข้าวกล้อง และปริมาณข้าวตันซึ่งแสดงในรูปของร้อยละของน้ำหนักข้าวตัน (ข้าวสารเต็มเมล็ด) ต่อน้ำหนักข้าวเปลือกเริ่มต้น ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 4.6 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.3)

**ตารางที่ 4.6** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแข็งของเมล็ด และปริมาณข้าวตันของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source of Variance	ความแข็งของเมล็ด	ปริมาณข้าวตัน
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	*	ns
พันธุ์ข้าว(B)	**	*
A*B	ns	ns
CV (%)	6.72	12.54

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

#### ก) ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของข้าว

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อความแข็งของเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) และมีอิทธิพลต่อปริมาณข้าวตันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ชยันนาท1 มีความแข็งของเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ตารางที่ 4.7) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ข้าว 2



พันธุ์มีความแข็งแรงของเมล็ดต่างกันอาจขึ้นกับปัจจัยลักษณะประจำพันธุ์ของข้าว และการเกิดท้องไขซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงลดลง (Singh *et al.*, 2003) นอกจากนั้นข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ยังมีปริมาณข้าวต้นสูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.8) เนื่องจากข้าวชัยนาท1 เป็นข้าวที่มีคุณภาพการสีที่ดีกว่าขาวดอกมะลิ105 โดยความแข็งแรงของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณข้าวต้น โดยข้าวที่มีความแข็งแรงของเมล็ดสูงจะมีปริมาณข้าวต้นสูงกว่าข้าวที่มีความแข็งแรงของเมล็ดต่ำ เนื่องจากเมล็ดข้าวจะสามารถทนทานต่อแรงขัดสีได้มากกว่า (Webb *et al.*, 1986) ดังนั้นข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีความแข็งแรงของเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ทำให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 สามารถทนทานต่อแรงเสียดสีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสีข้าวได้มากกว่า ข้าวจึงแตกหักน้อยกว่าเป็นสาเหตุให้มีปริมาณข้าวต้นสูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

ตารางที่ 4.7 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเมล็ด

พันธุ์ข้าว	ค่าความแข็งแรงของเมล็ด (N/cm <sup>2</sup> )
ชัยนาท1	66.09 <sup>a</sup>
ขาวดอกมะลิ105	52.76 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	4.28

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.8 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อปริมาณข้าวต้น

พันธุ์ข้าว	ปริมาณข้าวต้น (ร้อยละ)
ชัยนาท1	59.24 <sup>a</sup>
ขาวดอกมะลิ105	51.50 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	7.56

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ข) ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของข้าว

การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของเมล็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.6) โดยข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมีความแข็งแรงของเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน (ตารางที่ 4.9) สอดคล้องกับการศึกษาของ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา (2544) ซึ่งรายงานว่าการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกสามารถเพิ่มความแข็งแรงของเมล็ดข้าวได้ในข้าวหลายพันธุ์เช่น พันธุ์ชัยนาท1 แพร่1 และ กข23 เป็นต้น ในขณะที่พันธุ์สุพรรณบุรี90 และสุพรรณบุรี1 กลับมีความแข็งแรงเปลี่ยนแปลงลดลง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการจัดการธาตุไอโอดีนที่แตกต่างกัน สาเหตุที่ข้าวมีความแข็งแรงของเมล็ดสูงขึ้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อาจสามารถอธิบายได้จากการศึกษาด้านอื่นๆ ที่จะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 4.9 ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเมล็ด

การจัดการธาตุไอโอดีน	ค่าความแข็งแรงของเมล็ด (N/cm <sup>2</sup> )
ไม่ได้รับการจัดการ	58.03 <sup>b</sup>
ได้รับการจัดการ	60.82 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	2.56

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

อุปสรรคที่เกิดขึ้นในการวิจัยนี้ และอาจเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณข้าวต้นในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากตัวอย่างข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผู้วิจัยได้รับมามีปริมาณจำกัด ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้ในการสีข้าวในแต่ละครั้ง ทำให้ในระหว่างสีข้าว จะมีส่วนของข้าวที่ยังไม่ถูกสีปะปนอยู่กับข้าวสารอยู่เป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องนำข้าวที่ได้นั้นไปขัดสีอีกครั้งจนได้ข้าวสารทั้งหมด ดังนั้นปริมาณข้าวต้นจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความแปรปรวนสูงโดยจะสามารถสังเกตได้จากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ดังตารางภาคผนวก ง.3 ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่แสดงความแตกต่างในทางสถิติ

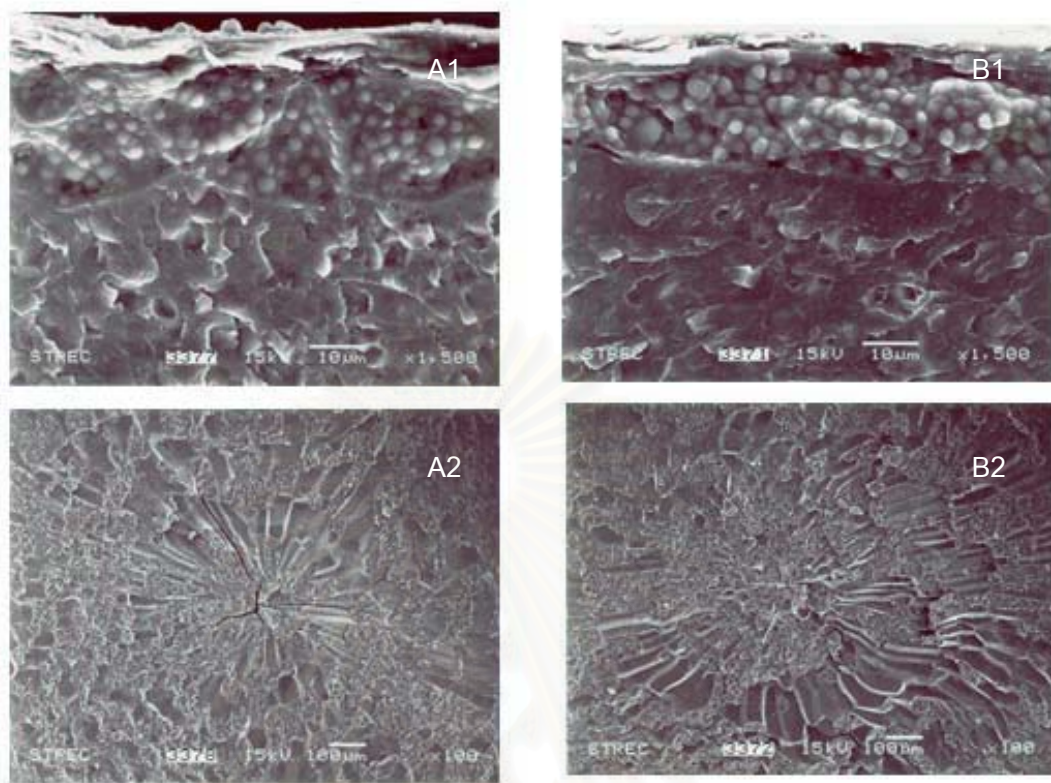
ค) ผลการตรวจสอบภาพตัดขวางเมล็ดข้าวกล้องด้วยเทคนิค SEM (Scanning Electron Microscopy)

การศึกษาภาพตัดขวางเมล็ดข้าวกล้องด้วยเทคนิค SEM เพื่อหาความแตกต่างของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกที่มีต่อลักษณะทางสรีระภายใน

เมล็ดข้าว รวมถึงการศึกษาการจัดเรียงตัวของส่วนประกอบภายในเมล็ดข้าว และรอยร้าวที่เกิดขึ้น จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีการจัดเรียงตัวขององค์ประกอบพวกสตาร์ชหนาแน่นและเห็นได้ชัดเจนกว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความแข็งแรงของเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 4.7) ขณะที่ข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกดูเหมือนจะทำให้เมล็ดข้าวมีชั้นแอลิวโรนที่หนากว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการ ซึ่งชั้นแอลิวโรนนี้เป็นชั้นที่อยู่บริเวณขอบนอกของเมล็ดข้าวกล้อง ภายในจะสังเกตเห็นเป็นเม็ดในแอลิวโรนเซลล์ (aleurone granule) ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน และลิปิด เป็นส่วนใหญ่ โดย Bethke และคณะ (1998) รายงานว่า สำหรับในธัญพืชชั้นแอลิวโรนเซลล์คือแหล่งสะสมโปรตีน (protein storage vacuole) และยังมีสะสมลิปิดมากถึงร้อยละ 25-30 โดยปริมาตร (Fath *et al.*, 2002)

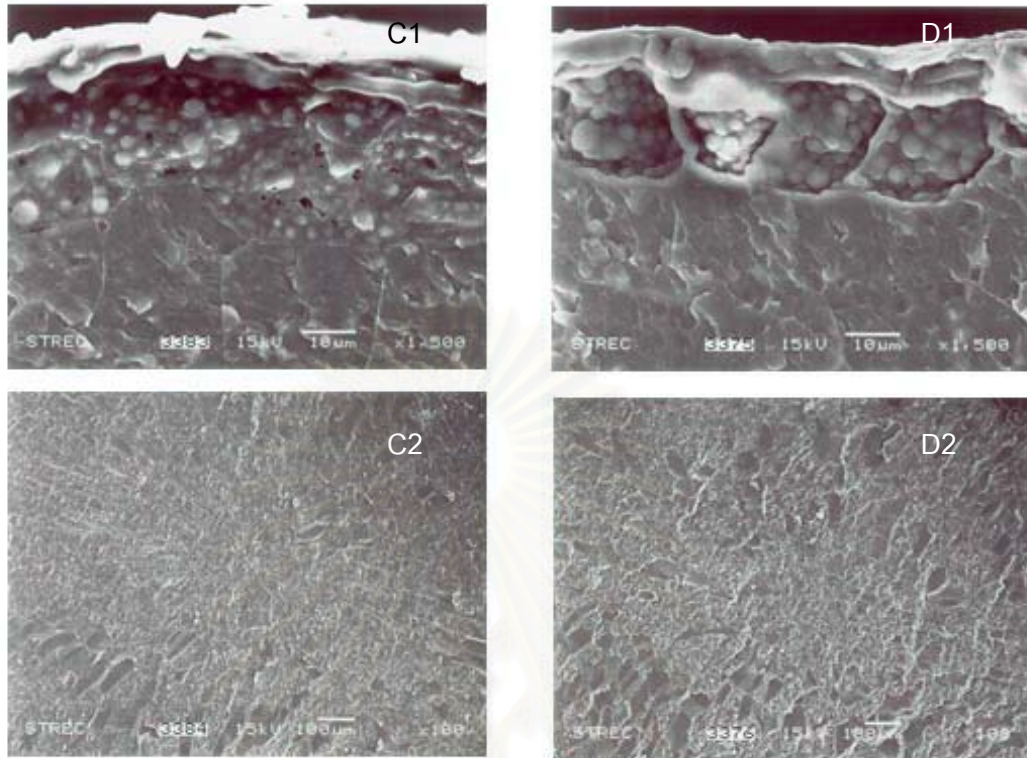
เมล็ดข้าวมีสมบัติการดูดและคายความชื้นได้ดี (hygroscopic) ผลของการดูดและคายความชื้นดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวขึ้น (Srinivas *et al.*, 1978) โดย Nangju และ De Datta (1970) รายงานว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนในเมล็ดสูงจะมีคุณภาพการสีที่ดีเนื่องจากโปรตีนจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมช่องว่างระหว่างเม็ดสตาร์ชจึงทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น สำหรับการศึกษานี้ของ Bechtel และ Pomeranz (1978) พบว่าเมล็ดข้าวที่มีปริมาณโปรตีนที่ขอบนอกของเมล็ดสูงจะมีรอยแตกในเมล็ดน้อยกว่า เนื่องจากโปรตีนจะขัดขวางการดูดและคายความชื้นของเมล็ดข้าว ดังนั้นการที่ข้าวมีความแข็งแรงของเมล็ดมากขึ้นอันเนื่องมาจากการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกซึ่งมีแนวโน้มทำให้ชั้นแอลิวโรนหนาขึ้นนั้น อาจทำให้บริเวณขอบของเมล็ดมีการสะสมโปรตีนมากขึ้นซึ่งสนับสนุนโดยการศึกษาของ ชูติมา อัครเสถียร (2543) ที่รายงานว่า การจัดการธาตุไอโอดีนทำให้ปริมาณไนโตรเจนในข้าวกล้องสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โปรตีนที่มากขึ้นอาจส่งผลให้ข้าวมีรอยแตกร้าวของเมล็ดที่เกิดจากการดูดและคายความชื้นของข้าวลดลง และเป็นสาเหตุให้ข้าวมีความแข็งแรงของเมล็ดมากกว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของเมล็ดนั้นจะเป็นผลให้ข้าวมีคุณภาพการสีดีขึ้น

ชั้นแอลิวโรนเป็นเนื้อเยื่อคัดหลังที่ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนพืช (phytohormone) ได้แก่ gibberellic acid และ abscisic acid มีหน้าที่ในการหลั่ง hydrolytic enzyme ที่จะเปลี่ยน storage compounds ในเนื้อเมล็ด (starchy endosperm) เป็นน้ำตาล และกรดอะมิโนอิสระในระหว่างการเจริญของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นแอลิวโรนยังมีหน้าที่เก็บแร่ธาตุ และฟอสเฟตในเมล็ด (Fath *et al.*, 2002) ดังนั้นการจัดการธาตุไอโอดีนซึ่งเป็นการให้แร่ธาตุแก่พืชจึงน่าจะเกี่ยวข้องกับชั้นแอลิวโรน นอกจากนี้ยังมีการใช้ gibberellic acid ให้แก่ต้นข้าวเพื่อเพิ่มคุณภาพการสี (มุทิตา หย่างถาวร, 2548) จึงใกล้เคียงกับการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีจุดประสงค์ในการเพิ่มคุณภาพการสีเช่นกัน ซึ่งสนับสนุนว่าการจัดการธาตุไอโอดีนส่งผลต่อชั้นแอลิวโรนของเมล็ดข้าว



**รูปที่ 4.2** ภาพตัดขวางของข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท1 โดย A1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย1,500เท่า, A2 คือ ภาพบริเวณใจกลางของเมล็ดที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย100เท่า, B1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย1,500เท่า, B2 คือ ภาพบริเวณใจกลางของเมล็ดที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย100เท่า





**รูปที่ 4.3** ภาพตัดขวางของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 โดย C1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย1,500เท่า, C2 คือ ภาพบริเวณใจกลางของเมล็ดที่ได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย100เท่า, D1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย 1,500เท่า, D2 คือ ภาพบริเวณใจกลางของเมล็ดที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูกกำลังขยาย100เท่า



4.1.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติเคมีกายภาพของข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

นำแป้งฟลาวร์ของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมาวิเคราะห์สมบัติเพสติง โดยใช้เครื่อง RVA (Rapid Visco Amylograph) โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ (thermal parameters) แสดงในตารางที่ 4.10 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.4)

**ตารางที่ 4.10** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแป้งฟลาวร์จากข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source of Variance	pasting temperature	peak viscosity	breakdown	setback
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	ns	ns	ns	ns
พันธุ์ข้าว(B)	**	**	**	**
A*B	*	ns	ns	ns
CV (%)	0.85	4.92	7.86	4.23

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.10 พบว่าข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนระหว่างเพาะปลูก ไม่มีความแตกต่างของพารามิเตอร์ใดๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ขณะที่พันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท1 จะมีค่า peak viscosity และค่า breakdown ต่ำกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ขณะที่พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จะมีค่า setback ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท1 (ตารางที่ 4.11-4.13) และยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกับพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า pasting temperature แสดงดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.11 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า peak viscosity

พันธุ์ข้าว	peak viscosity <sup>1</sup> (cP)
ชัยนาท1	2743 <sup>b</sup>
ขาวดอกมะลิ105	3079 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	156

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>(1)</sup>หน่วยของความหนืด คือ centipoint (cP)

ตารางที่ 4.12 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า breakdown

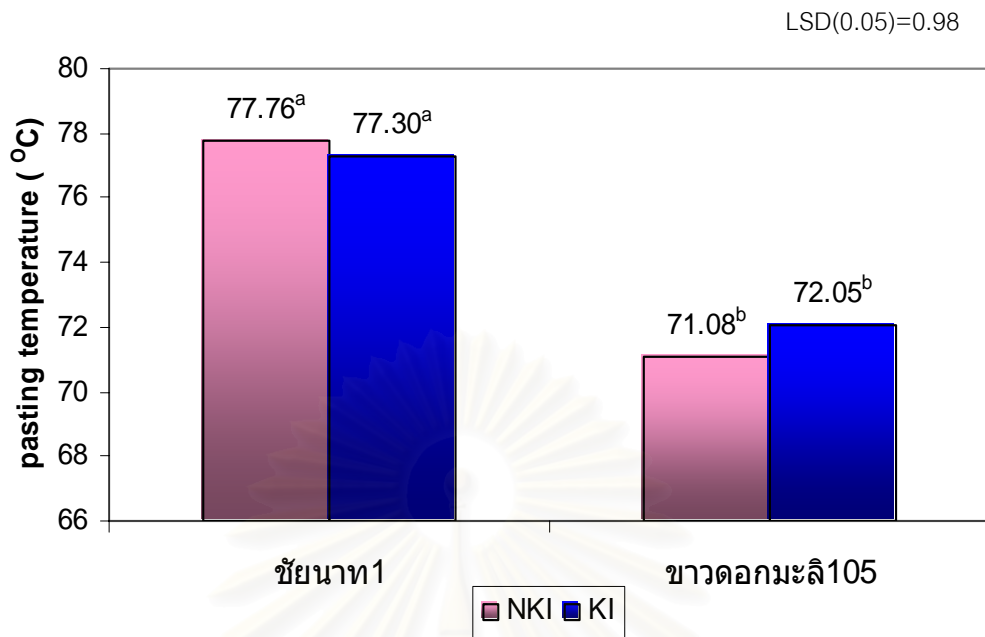
พันธุ์ข้าว	breakdown (cP)
ชัยนาท1	824 <sup>b</sup>
ขาวดอกมะลิ105	1417 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	96

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.13 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า setback

พันธุ์ข้าว	setback (cP)
ชัยนาท1	1676 <sup>a</sup>
ขาวดอกมะลิ105	1146 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	65

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



(NKI= ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก, KI= ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก)  
 a,b กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**รูปที่ 4.4** อิทธิพลร่วมระหว่างการได้รับหรือไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกับพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า pasting temperature

ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 มีปริมาณอมัยโลสและปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.3 และ 4.4) Tester และ Morrison (1990) พบว่าอมัยโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากบริเวณ crystalline region ของเม็ดสตาร์ช อมัยโลสจึงเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ช ไขมันก็สามารถเกิดการรวมตัวกับอมัยโลสได้ amylose-lipid complex ซึ่งจะอยู่บนผิวของเม็ดสตาร์ชสามารถจำกัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชได้ การพองตัวได้น้อยช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการ leaching ของอมัยโลสออกจากเม็ดสตาร์ชขณะเกิดเจลลาคีโนเซชัน (Hibi, 1998) Bechtel และ Pomeranz (1978) พบว่าโปรตีนจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช โดยโปรตีนจะห่อหุ้มอยู่โดยรอบของเม็ดสตาร์ชทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เม็ดสตาร์ชน้อยลง และโปรตีนยังเป็นตัวจำกัดขนาดของเม็ดสตาร์ชที่จะสามารถพองตัวได้ Hamaker และ Griffin (1993) พบว่าโปรตีนที่มีพันธะ disulphide ทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวเกิด breakdown ยากขึ้น ดังนั้นค่า breakdown จึงต่ำ ดังนั้นโปรตีนและอมัยโลสในเมล็ดข้าวจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในข้าวขณะเกิดเจลลาคีโนเซชันได้ยากขึ้น ทำให้ความหนืดของสารละลายสตาร์ชระหว่างเกิดเจลลาคีโนเซชันต่ำลง ดังนั้นข้าวพันธุ์ชัยนาท1 จึงมีค่า peak viscosity และ breakdown ต่ำกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 นอกจากนั้นปริมาณอมัยโลสที่สูงนี้ยัง

ส่งผลทำให้สสารขลุยกากขึ้น ซึ่ง อมัยโลสทำให้ส่วนที่เป็นผลึกของเม็ดสสารแข็งแรงขึ้นดังนั้นจึงต้องใช้ความร้อน และเวลาในการเจลาติไนซ์มากกว่าข้าวที่มีปริมาณอมัยโลสต่ำ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1จึงมีค่า pasting temperature สูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (รูปที่ 4.4)

ในระหว่างที่มีการลดอุณหภูมิ (จาก 95 °C เป็น 50°C) ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA นั้นความหนืดของสสารขลุยกจะสูงขึ้น Juliano และคณะ (1965) พบว่าความหนืดที่สูงขึ้นนี้เกิดจากการจับตัวกันเองของโมเลกุลอมัยโลสด้วยพันธะไฮโดรเจน เรียกปรากฏการณ์ที่อมัยโลสเกิดการรวมตัวกันใหม่นี้ว่า รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ดังนั้นข้าวพันธุ์ชัยนาท1ที่มีปริมาณอมัยโลสสูงกว่าจึงมีค่า setback สูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีปริมาณอมัยโลสต่ำ

อิทธิพลร่วมระหว่างการได้รับหรือไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกกับพันธุ์ข้าว มีผลต่อ pasting temperature อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.10

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท1 เมื่อได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก pasting temperature จะลดลงเล็กน้อย ขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เมื่อได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนกลับมี pasting temperature เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และยากที่จะอธิบายถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงยังไม่สามารถอธิบายผลการทดลองนี้ได้

#### 4.1.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน

ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน (water and oil absorption capacity) ของแป้งฟลาวาร์ ซึ่งแสดงเป็นสัดส่วนของน้ำหนักน้ำหรือน้ำมันที่แป้งฟลาวาร์ดูดซับไว้ต่อน้ำหนักแป้งฟลาวาร์โดยวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 4.14 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.5)

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้  
รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูก

Source of Variance	ค่าการดูดซับน้ำ	ค่าการดูดซับน้ำมัน
การจัดการธาตุไนโตรเจน(A)	*	ns
พันธุ์ข้าว(B)	*	ns
A*B	ns	ns
CV (%)	8.75	8.11

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ก) ผลของการจัดการธาตุไนโตรเจนต่อค่าการดูดซับน้ำและน้ำมัน

การจัดการธาตุไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับน้ำของแบ่งฟลาวรอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับน้ำมัน ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.14) ตัวอย่างข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูกจะมีการดูดซับน้ำสูงกว่าตัวอย่างข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ค่าการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อข้าวได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนนั้นเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนที่เกิดขึ้นกับต้นข้าวภายหลังการได้รับความเครียดจากการได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจน ซึ่งโปรตีนในเมล็ดข้าวเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการดูดซับน้ำโดยเป็นไปได้ว่าโปรตีนในเมล็ดข้าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างเป็นสาเหตุให้มีค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้น

ข) ผลของพันธุ์ข้าวต่อการดูดซับน้ำและน้ำมัน

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับน้ำมัน ( $p > 0.05$ ) โดยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าข้าวพันธุ์ชยันต 1 (ตารางที่ 4.16) โดยข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างของโครงสร้างโปรตีนในเมล็ด นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรต เช่นสตาร์ชที่สามารถจับน้ำที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อการดูดซับน้ำของแบ่งฟลาวร (Adebowale and Lawal, 2004)



ตารางที่ 4.15 ผลของการจัดการธาตุไอโอดีนที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำของแป้งพลาวร์จากข้าว 2 พันธุ์

การจัดการธาตุไอโอดีน	ค่าการดูดซับน้ำ (g/g)
ไม่ได้รับการจัดการ	1.24 <sup>b</sup>
ได้รับการจัดการ	1.37 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	0.15

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

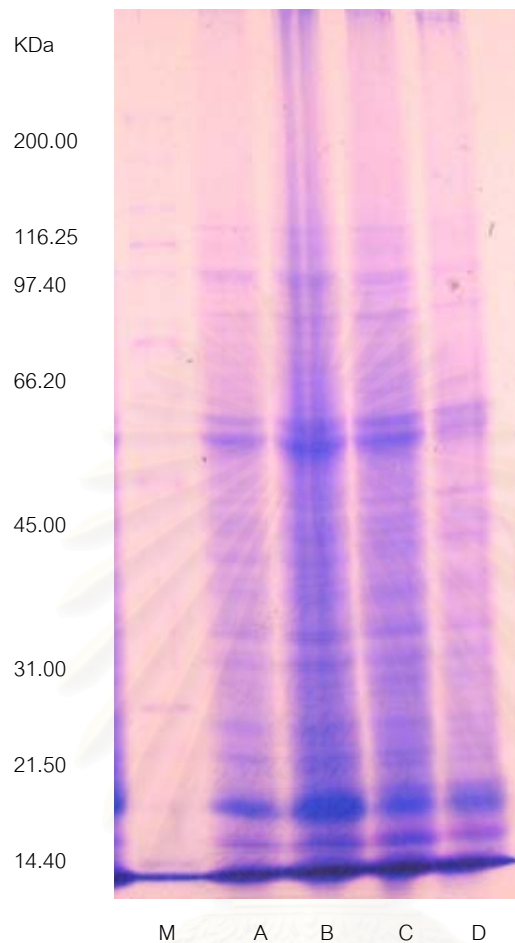
ตารางที่ 4.16 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำของแป้งพลาวร์จากข้าว 2 พันธุ์

พันธุ์ข้าว	ค่าการดูดซับน้ำ (g/g)
ชัยนาท1	1.24 <sup>b</sup>
ขาวดอกมะลิ105	1.37 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	0.15

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

4.1.5 ผลการวิเคราะห์โปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน ด้วยเทคนิค SDS-PAGE

จากรูปที่ 4.5 ไม่พบความแตกต่างของรูปแบบโปรตีนที่เด่นชัดระหว่างข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และระหว่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนระหว่างเพาะปลูก แสดงว่าพันธุ์ข้าวและการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพของโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องอย่างเด่นชัด ซึ่งข้าวพันธุ์ชัยนาท1 นั้นเป็นข้าวที่ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาสายพันธุ์จากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (สมพล อุซชิน, 2535) ดังนั้นสมบัติเชิงชีวเคมีจึงมีความคล้ายคลึงกัน ขณะที่การจัดการธาตุไอโอดีนไม่ได้ส่งผลต่อข้าวในระดับที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวเคมีของข้าวได้เช่นกัน

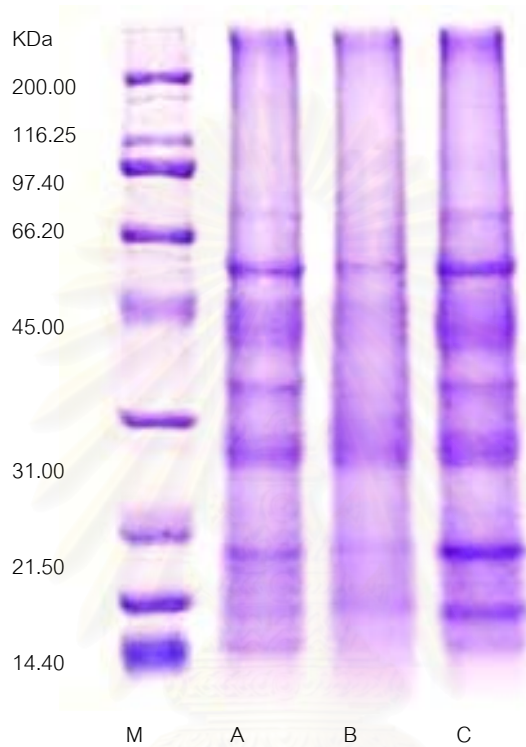


- M คือ Marker
- A คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน
- B คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน
- C คือ ข้าวชัยนาท1 ที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน
- D คือ ข้าวชัยนาท1 ที่ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน

รูปที่ 4.5 เจลที่ได้จากการทำ SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis ในเมล็ดข้าวกล้อง

เนื่องจากไม่พบความแตกต่างของโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องโดยการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE โดยเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโปรตีนนั้นอาจเล็กน้อยจนการวิเคราะห์นี้ไม่สามารถประเมินได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะวิเคราะห์โปรตีนในใบข้าวแทน โดยในระหว่างขั้นตอนการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงระหว่างเพาะปลูกต้นข้าวจะได้รับความเครียดจนทำให้ใบข้าวเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองน้ำตาลภายหลังจากการจัดการธาตุไอโอดีนนาน 4-7 วัน และในวันที่ 10-14 ใบข้าวจะกลับมามีสีเขียวปกติอีกครั้ง ดังนั้นจึงมีการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ซึ่งเป็นข้าวที่ไม่ไวแสงปลูกได้ตลอดปี

โดยปลูกในกระถางและมีการจัดการธาตุไอโอดีนเพื่อเก็บตัวอย่างใบใน 3 ระยะแตกต่างกันคือ ใบข้าวสีเขียวก่อนจัดการธาตุไอโอดีน ใบข้าวสีเหลืองน้ำตาลหลังจัดการธาตุไอโอดีน 7 วัน และใบข้าวที่กลับมาสีเขียวภายหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 14 วัน นำตัวอย่างใบข้าวมาสกัดโปรตีนและวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ผลแสดงดังรูปที่ 4.6



A คือ ใบข้าวสีเขียวก่อนการจัดการธาตุไอโอดีน (ตัวอย่างควบคุม)

B คือ ใบข้าวสีเหลืองน้ำตาลหลังจัดการธาตุไอโอดีน 7 วัน

C คือ ใบข้าวสีเขียวหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 14 วัน

M คือ Marker

**รูปที่ 4.6** เจลที่ได้จากการทำ SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis ในใบข้าว

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าใบข้าวสีเหลืองน้ำตาลหลังจัดการธาตุไอโอดีน 7 วัน มีแถบโปรตีนแตกต่างจากตัวอย่างใบอื่นค่อนข้างชัดเจน และเมื่อนำเจลที่ได้มาวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนต่างๆ ที่แยกได้ในตัวอย่างใบข้าวทั้ง 3 พบว่ามีโปรตีนบางตัวที่แตกต่างกัน โดยผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่แยกได้โดยเทคนิค SDS-PAGE ในตัวอย่างใบข้าว

น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในใบข้าว (KDa)		
ตัวอย่างควบคุม	วันที่ 7	วันที่ 14
243.33	250.32	239.84
-	-	105.57
76.94	62.37	75.60
55.15	55.15	55.15
47.79	46.82	-
42.70	-	43.58
34.44	37.00	34.09
26.93	26.32	26.66
21.50	-	-
18.25	18.63	17.70
12.11	12.95	11.28
7.12	-	6.50

ตัวอย่างควบคุม คือ ใบข้าวสีเขียวก่อนการจัดการธาตุไอโอดีน

วันที่ 7 คือ ใบข้าวสีเหลืองน้ำตาลหลังจัดการธาตุไอโอดีน 7 วัน

วันที่ 14 คือ ใบข้าวสีเขียวหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 14 วัน

จากตารางที่ 4.17 พบว่าตัวอย่างใบข้าวสีเขียวก่อนการจัดการธาตุไอโอดีน (ตัวอย่างควบคุม) มีจำนวนโปรตีนที่แยกได้มากที่สุด โดยใบข้าวที่มีสีเหลืองน้ำตาลหลังจัดการธาตุไอโอดีน 7 วันมีจำนวนโปรตีนน้อยที่สุด โดยแถบโปรตีนที่หายไปเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมคือ โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 42-44, 21-22 และ 6-8 KDa ขณะที่ใบข้าวสีเขียวหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 14 วัน โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 42-44 และ 6-8 KDa จะกลับคืนมา ขณะที่โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 46-48 KDa กลับหายไป และมีโปรตีนใหม่เกิดขึ้นคือโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 105.57 KDa ผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่าเมื่อต้นข้าวได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาถึงรูปแบบของโปรตีนในเชิงลึกจึงไม่ทราบชนิดและหน้าที่ของโปรตีนในใบข้าวเหล่านี้ แต่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับโปรตีนที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงของพืช สำหรับผลการศึกษานี้ น่าจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาในเชิงลึกต่อไป

4.1.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน

ข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกจะนำมาขัดสีเป็นข้าวสารและหุงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ข้าวหุงสุกที่ได้จะนำมาวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกด้วยเครื่อง texture analyzer โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ texture profile analysis ซึ่งค่าที่วัดได้แก่ ค่า hardness, cohesiveness, adhesiveness และ springiness ซึ่งเป็นดัชนีสำคัญที่บ่งชี้ถึงคุณภาพการกินของข้าว โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 4.18 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.6)

**ตารางที่ 4.18** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า hardness, cohesiveness, adhesiveness และ springiness ของข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source of Variance	hardness	cohesiveness	adhesiveness	springiness
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	ns	ns	ns	ns
พันธุ์ข้าว(B)	*	ns	**	ns
A*B	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9.19	5.49	12.51	6.12

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.18 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกคือพันธุ์ข้าว ซึ่งทำให้ค่า hardness แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และค่า adhesiveness แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ขณะที่การจัดการธาตุไอโอดีนไม่ส่งผลต่อสัมผัสของข้าวหุงสุก ( $p > 0.05$ )



เนื่องจากข้าวสารทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณอมัยโลสแตกต่างกันมาก ดังนั้นการหุงข้าวสารทั้ง 2 พันธุ์ให้สุกพอดีโดยการใช้น้ำปริมาณเท่ากันจึงเป็นไปได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จะเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำในการหุงตามอัตราส่วนแนะนำจากกรมวิชาการเกษตร (2545) โดยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ซึ่งมีปริมาณอมัยโลสต่ำจะใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการหุงต่ำกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีปริมาณอมัยโลสสูง คือ อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เป็น 1ต่อ 1.6 และ 1ต่อ 2.4 ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้จะเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสารที่หุงสุกแล้วโดยไม่พิจารณาถึงอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการหุงที่แตกต่างกัน

พบว่าข้าวหุงสุกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีค่า hardness หรือ ค่าความแข็งสูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท1 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.19) เนื่องจากข้าวหุงสุกพันธุ์ชัยนาท1 นั้นมีการลักษณะเมล็ดที่บานออกมากกว่าข้าวหุงสุกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

ตารางที่ 4.19 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า hardness ที่ได้จาก TPA

พันธุ์ข้าว	hardness (g)
ชัยนาท1	322.36 <sup>b</sup>
ขาวดอกมะลิ105	368.94 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	34.61

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ค่า adhesiveness แสดงถึงความสามารถในการยึดเกาะกับพื้นผิวสัมผัสอื่น โดยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จะมีค่า adhesiveness สูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท1 (ตารางที่ 4.20) ซึ่งเป็นผลมาจากข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณอมัยโลสแตกต่างกันมาก Perez และ Juliano (1979) ได้รายงานว่ปริมาณอมัยโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกโดยข้าวที่มีปริมาณอมัยโลสสูงจะมีความเหนียวและเกาะตัวกันต่ำ ดังนั้นข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีปริมาณอมัยโลสสูงจึงร่วนและไม่เกาะตัวกันมากนัก

ตารางที่ 4.20 ผลของพันธุ์ข้าวที่มีต่อค่า adhesiveness ที่ได้จาก TPA

พันธุ์ข้าว	adhesiveness (g.s)
ชัยนาท1	4.59 <sup>b</sup>
ขาวดอกมะลิ105	26.36 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	2.11

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากงานวิจัยนี้พบว่าข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมีสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกไม่แตกต่างกับข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการ ( $p > 0.05$ ) แม้ว่าข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนจะมีความแข็งของเมล็ดมากกว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการ ก็ตาม (ตารางที่ 4.9) โดยการวัดความแข็งของเมล็ดนั้นจะวัดในตัวอย่างที่เป็นข้าวกล้องเนื่องจากใช้เป็นตัวชี้ที่บ่งบอกความสามารถในการทนต่อแรงขัดสีของข้าว ขณะที่การวัดสมบัติเนื้อสัมผัสในข้าวหุงสุกนั้นจะวัดในตัวอย่างข้าวสารหุงสุกเนื่องจากผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวในรูปของข้าวสารหุงสุกมากกว่าข้าวกล้องและข้าวที่มีอมัยโลสสูง เช่นพันธุ์ชัยนาท1 ไม่สามารถบริโภคในรูปข้าวกล้องหุงสุกได้เนื่องจากเนื้อสัมผัสจะแข็งกระด้างมาก ดังนั้นความแข็งของเมล็ด (วัดโดย grain hardness analyzer) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อข้าวได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนนั้นน่าจะมีสาเหตุจากการที่ชั้นแอสลิวโรนมีความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้าวมาผ่านกระบวนการขัดสีองค์ประกอบที่อยู่บริเวณขอบของเมล็ดจะถูกกำจัดรวมทั้งชั้นแอสลิวโรนด้วย ข้าวสารที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนจึงมีสมบัติเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการ ซึ่งน่าจะเป็นผลดีเนื่องจากข้าวที่ได้หลังจากผ่านการจัดการธาตุไอโอดีนจะมีเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกับข้าวที่ได้จากการปลูกด้วยวิธีปกติ

## 4.2 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีน

### 4.2.1 ผลการศึกษาภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการแช่ข้าวในสารละลายไอโอดีน

ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 เป็นข้าวที่มีปริมาณอมัยโลสสูงจึงทนทานต่อการแตกข้าวได้มากกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีอมัยโลสต่ำซึ่งจะแตกหักอย่างรุนแรงเมื่อนำไปแช่น้ำ ดังนั้นงานวิจัยที่จะศึกษาต่อไปจะใช้เพียงข้าวพันธุ์ชัยนาท1 เท่านั้น โดยจะนำข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท1 ไปแช่ในสารละลายที่มีปริมาณไอโอดีนแตกต่างกันและระยะเวลาในการแช่ต่างกัน จากนั้นนำมาลดความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 14 และวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนได้ผลในตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.22

**ตารางที่ 4.21** ปริมาณไอโอดีนของข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายที่มีปริมาณไอโอดีน และระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลาในการแช่ (นาที่)	ปริมาณไอโอดีนในสารละลาย <sup>1</sup> (ไมโครกรัมต่อข้าว100กรัม)		
	1,000	1,300	1,600
10	54.28±2.18	60.36±1.20	60.18±0.34
15	67.12±2.34	68.39±0.77	79.46±2.60
20	69.22±1.34	77.44±1.94	78.62±4.08

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 2 ซ้ำ a, b, c, d ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในตารางเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

**ตารางที่ 4.22** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไอโอดีนในข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายที่มีปริมาณไอโอดีน และระยะเวลาแตกต่างกัน

Source of Variance	ปริมาณไอโอดีน
ปริมาณไอโอดีนในสารละลาย(A)	**
ระยะเวลา(B)	**
A*B	ns
CV (%)	4.43

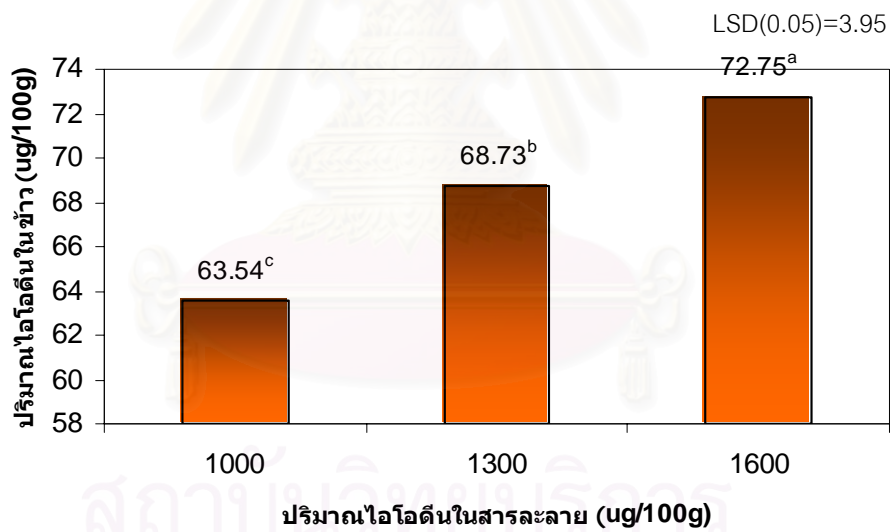
\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (p<0.01)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

ในการทดลองแช่ข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท1 ในสารละลายไอโอดีน พบว่าทั้งปริมาณไอโอดีนในสารละลาย และระยะเวลาในการแช่ มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (p<0.01) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณไอโอดีนในสารละลายสูงขึ้นปริมาณไอโอดีนในข้าวก็จะเพิ่มขึ้น การเพิ่มระยะเวลาในการแช่ให้นานขึ้นจาก 10 เป็น 15 นาทีจะทำให้ข้าวมีปริมาณไอโอดีนมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ข้าวจาก 15 เป็น 20 นาทีปริมาณไอโอดีนกลับไม่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.7 และ4.8) การแช่ข้าวระยะเวลาตั้งแต่ 15 นาทีขึ้นไปไม่ทำให้ปริมาณไอโอดีนเพิ่มขึ้นมากนักอาจเป็นเพราะขีดจำกัดของความสามารถในการดูดซับสารละลายที่ลดลงของเมล็ดข้าว โดยการศึกษานี้ของ Li และ คณะ (1976) พบว่าเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 30 และ 45 °C ความชื้นจะเข้าสู่เมล็ดที่เวลาประมาณ 30 นาที

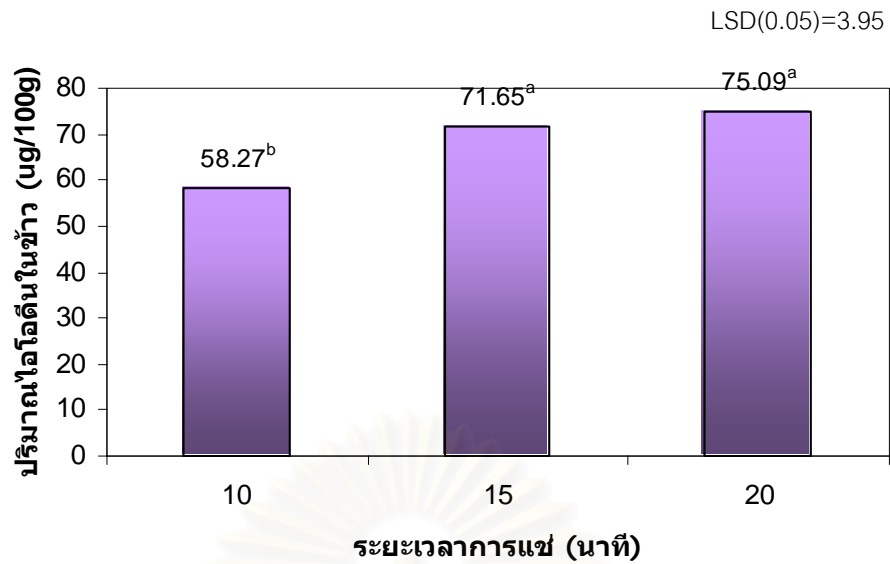
ข้าวมีการดูดซับน้ำที่จำกัดเนื่องจากเมื่อแช่ข้าวในน้ำ น้ำจะเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลในบริเวณส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช แต่การแช่ข้าวที่อุณหภูมิห้องที่ใช้ในการทดลองนั้นต่ำกว่าอุณหภูมิแป้งสุกมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะสามารถซึมผ่านเม็ดสตาร์ชจึงมีอย่างจำกัด ประกอบกับการที่เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักของเมล็ดที่เป็นผลจากจากการปรับลดความเครียด (stress) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรุนแรงจนใกล้จุดสมดุล อัตราการแตกหักของเมล็ดจึงลดลง สารละลายจึงแทรกผ่านตามรอยร้าวได้จำกัด

ปริมาณไอโอดีนที่ต้องการคือ 1 ใน 3 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการในแต่ละวันหรือ 50 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมที่จะให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวที่ต้องการคือ การแช่ในสารละลายไอโอดีนเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที (ตาราง 4.21) ซึ่งคือความเข้มข้นต่ำที่สุด และระยะเวลาสั้นที่สุดในการทดลอง โดยเวลาที่ใช้ในการแช่น้อยเพียง 10 นาทีนี้จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักรุนแรงน้อยที่สุด (รูปที่ 4.9) ดังนั้นงานวิจัยส่วนที่จะดำเนินต่อไปจะเลือกภาวะการแช่ข้าวดังกล่าวเพื่อศึกษาผลของสารประกอบไอโอดีนต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว



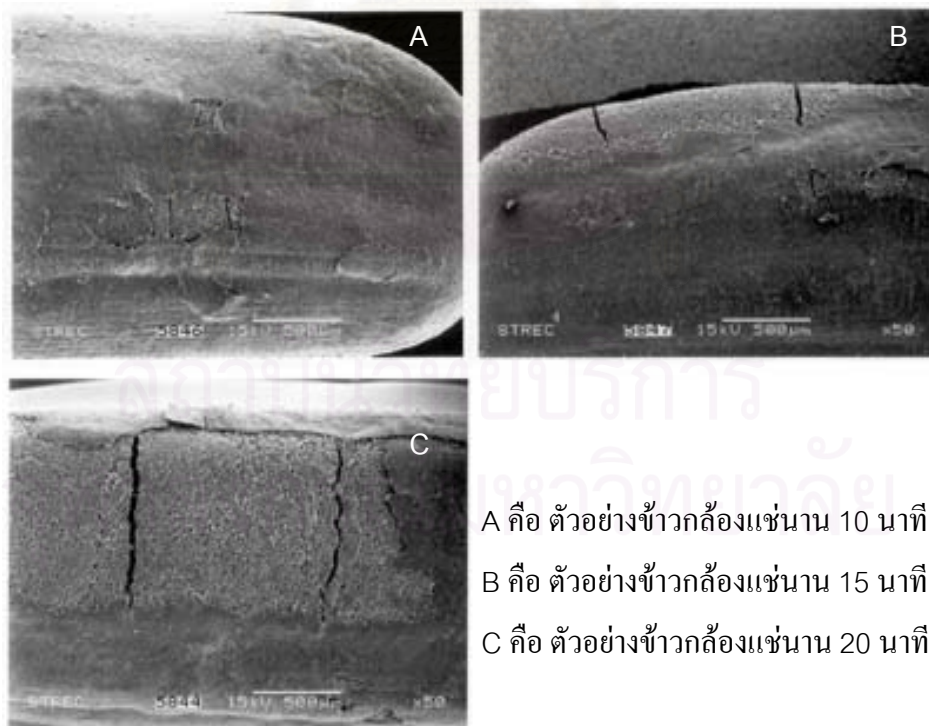
a, b, c กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณไอโอดีนในสารละลายที่ใช้แช่ข้าวต่อปริมาณไอโอดีนในข้าว



a, b กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

รูปที่ 4.8 ผลของระยะเวลาที่ใช้แช่ข้าวต่อปริมาณไอโอดีนในข้าว



รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางของข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท1 ที่ผ่านการแช่ในสารละลายไอโอดีนระยะเวลาแตกต่างกันที่กำลังขยาย 50 เท่า



#### 4.2.2 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย

ก) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย

ข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม และข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีนที่ใช้สารประกอบไอโอดีนในการเสริมแตกต่างกันซึ่งผลิตตามภาวะที่ได้จากการทดลองที่ 4.2.1 (ปริมาณไอโอดีนในสารละลาย 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม และระยะเวลาแช่นาน 10 นาที) จะนำมาบดผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อให้เป็นตัวอย่างแบ่งฟลัวร์ และวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.23 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.7)

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส ไอโอดีน และเถ้าของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่

Source of Variance	ความชื้น	โปรตีน	อมัยโลส	เถ้า	ไอโอดีนในข้าวสาร	ไอโอดีนในรำ
ชนิดของข้าว	*	*	ns	ns	*	*
CV (%)	7.06	0.94	3.90	7.97	14.77	4.53

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.23 พบว่าตัวอย่างข้าวทั้ง 5 ชนิดซึ่งได้แก่ ข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม ข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต และข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไอโอเดตร่วมกัน มีปริมาณความชื้น โปรตีน ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และในรำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยความแตกต่างดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.24 และ 4.25 ขณะที่ปริมาณอมัยโลส และ เถ้าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.24 ร้อยละของความชื้น และโปรตีน ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง <sup>1</sup>	สมบัติทางเคมี	
	%ความชื้น (wet basis)	%โปรตีน (dry basis)
ข้าวสารปกติ	10.76 <sup>a</sup>	9.25 <sup>b</sup>
ตัวอย่างควบคุม	8.29 <sup>b</sup>	9.53 <sup>a</sup>
ข้าวแช่ KIO <sub>3</sub>	8.81 <sup>b</sup>	9.54 <sup>a</sup>
ข้าวแช่ KI	8.78 <sup>b</sup>	9.51 <sup>a</sup>
ข้าวแช่ KI+KIO <sub>3</sub>	8.24 <sup>b</sup>	9.46 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	1.15	0.16

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>(1)</sup>ข้าวสารปกติ คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย, ตัวอย่างควบคุม คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน, ข้าวแช่ KIO<sub>3</sub> คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต, ข้าวแช่ KI คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ และข้าวแช่ KI+KIO<sub>3</sub> คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่แช่ในสารละลายผสมของโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไอโอเดต

จากตารางที่ 4.24 พบว่าข้าวสารปกติมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.76 สูงกว่าตัวอย่างข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ที่ผลิตได้ที่มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.24-8.81 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีสาเหตุจากตัวอย่างข้าวสารปกติไม่ได้ผ่านการแช่น้ำขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ นั้นจะผ่านการแช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออนหรือสารละลายไอโอดีนแล้วทำแห้งอีกครั้ง โดยกระบวนการที่แตกต่างกันทำให้มีปริมาณความชื้นต่างกัน อย่างไรก็ตามตัวอย่างทั้งหมดมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 ซึ่งจะช่วยให้ลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของข้าว (เครือวัลย์ อุตตะวีริยะสุข, 2534)

สำหรับปริมาณโปรตีนในตัวอย่างควบคุม และข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 9.46-9.54 สูงกว่าข้าวสารปกติที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.25 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.24) ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการขัดสีข้าวนั้น ข้าวสารปกติจะถูกขัดสีได้อย่างเต็มที่คือ ระดับการขัดสีร้อยละ 10-11 ซึ่งจะทำให้ได้ข้าวสารที่มีสีขาวสวยงามที่ใช้บริโภคจริง ขณะที่ข้าวที่ผ่านการแช่ในน้ำกลั่นหรือสารละลายนั้นจะเปราะและแตกหักได้ง่ายมาก ดังนั้นการขัดสีจึงจำเป็นต้องลดระดับลงเพียงร้อยละ 4-5 เพื่อลดการแตกหักรุนแรง ระดับการสีที่แตกต่างกันนี้ส่งผล

ต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารที่ได้ โดย Park และคณะ (2001) ศึกษาระดับการสีที่มีต่อองค์ประกอบ และความขาวของข้าว พบว่า เมื่อเพิ่มระดับการสีจะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง ขณะที่ความขาวจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นตัวอย่างข้าวสารปกติที่มีระดับการสีสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ โปรตีนที่พบมากบริเวณขอบของเมล็ดจึงถูกขัดสีออกไปมากกว่า

ปริมาณอมัยโลส และเถ้าที่วิเคราะห์ได้จากข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.23) โดยตัวอย่างข้าวมีปริมาณ อมัยโลส และเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 29.70-31.25 และ0.57-0.62 ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก ง.7)

สำหรับปริมาณไอโอดีนในข้าวสารของตัวอย่างข้าวสารปกติ และตัวอย่างควบคุมที่แช่ในน้ำปราศจากไอออนจะมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) เฉลี่ย 7.56 และ8.80 ไมโครกรัมต่อ100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.25) ข้าวที่แช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์จะให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร 67.35 ไมโครกรัมต่อ100กรัม สูงกว่าข้าวที่แช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร 55.23 ไมโครกรัมต่อ100กรัม อย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) อาจเป็นเพราะเมื่ออยู่ในรูปสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียม ไอโอเดตจะแตกตัวเป็นไอออนขนาดของไอโอไดด์ไอออนที่เล็กกว่าไอโอเดตไอออนเล็กน้อย (น้ำหนักอนุภาค คือ127 และ175 ตามลำดับ) ทำให้สามารถแพร่ และแทรกซึมเข้าสู่ช่องว่างภายในเมล็ดข้าวได้ง่ายกว่า โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อเติมสารประกอบทั้งสองร่วมกันปริมาณไอโอดีนในข้าวสารเฉลี่ย 59.36 ไมโครกรัมต่อ100กรัม (ตารางที่ 4.25) ซึ่งอยู่ระหว่างการแช่ข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ และโพแทสเซียมไอโอเดตเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามตัวอย่างข้าวที่แช่ในสารละลายไอโอดีนทั้ง 3 มีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารใกล้เคียงกับปริมาณที่ต้องการคือ 1ใน3 (50 ไมโครกรัม) ของปริมาณที่ร่างกายต้องการต่อวัน

ปริมาณไอโอดีนในรำของข้าวสารปกติ และตัวอย่างควบคุมที่แช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออนมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) คือ 29.85 และ 25.67 ไมโครกรัมต่อ100กรัม ตามลำดับ ขณะที่รำของข้าวที่แช่ในสารละลายที่มีสารประกอบไอโอดีนจะมีปริมาณไอโอดีน 84.01-84.93 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าข้าวสารปกติและตัวอย่างควบคุมที่แช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน อย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) จะเห็นได้ว่าไอโอดีนจะพบในบริเวณรำมากกว่าในข้าวสาร (ตารางที่ 4.25) เนื่องจากรำข้าวมีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้นสูงกว่าข้าวสาร และการแพร่ของสารละลายไอโอดีนเข้าสู่เมล็ดข้าวกลั่นจะเริ่มจากบริเวณผิวนอกของเมล็ด แล้วจึงแพร่เข้าสู่ภายในเมล็ด ดังนั้นรำจึงมีปริมาณไอโอดีนเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวสารคือเพิ่มขึ้นประมาณ 59 ไมโครกรัมต่อ100กรัม ส่วนปริมาณไอโอดีนในข้าวสารก็ได้เพิ่มขึ้นเช่นกันแต่น้อยกว่ารำคือเพิ่มขึ้นประมาณ 52 ไมโครกรัมต่อ100กรัม โดยไอโอดีนจะแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ผ่านทางรอยร้าวที่เกิดขึ้นขณะแช่ข้าวนั่นเอง (Desikacher and Subrahmanyam, 1961)

ตารางที่ 4.25 ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และปริมาณไอโอดีนในรำของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติทางเคมี <sup>1</sup>	
	ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)	ปริมาณไอโอดีนในรำ (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)
ข้าวสารปกติ	7.56 <sup>c</sup>	29.85 <sup>b</sup>
ตัวอย่างควบคุม	8.80 <sup>c</sup>	25.67 <sup>b</sup>
ข้าวแช่ KIO <sub>3</sub>	55.23 <sup>b</sup>	84.93 <sup>a</sup>
ข้าวแช่ KI	67.35 <sup>a</sup>	84.19 <sup>a</sup>
ข้าวแช่ KI+KIO <sub>3</sub>	59.36 <sup>ab</sup>	84.01 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	10.66	5.09

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ข) ผลการวิเคราะห์สมบัติเคมีกายภาพของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีน

พลาร์จากข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม และข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีนที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์จะนำมาวิเคราะห์สมบัติเพสติงโดยเครื่อง RVA (Rapid Visco Amylograph) โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.26 และความแตกต่างของสมบัติเพสติงของตัวอย่างข้าวที่วัดได้แสดงในตารางที่ 4.27 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.8)

**ตารางที่ 4.26** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลาวร์จากข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่

Source of Variance	pasting temperature	peak viscosity	breakdown	setback
ชนิดของข้าว	*	*	*	*
CV (%)	1.36	2.32	4.78	15.99

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 4.27** สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลาวร์จากข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือโพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติเพสติง			
	pasting temperature (°C)	peak viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback (cP)
ข้าวสารปกติ	79.59 <sup>b</sup>	2748 <sup>a</sup>	826 <sup>a</sup>	1644 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	85.47 <sup>a</sup>	2296 <sup>b</sup>	454 <sup>b</sup>	734 <sup>b</sup>
ข้าวแช่ KIO <sub>3</sub>	84.95 <sup>a</sup>	2331 <sup>b</sup>	457 <sup>b</sup>	665 <sup>b</sup>
ข้าวแช่ KI	84.95 <sup>a</sup>	2334 <sup>b</sup>	476 <sup>b</sup>	804 <sup>b</sup>
ข้าวแช่ KI+ KIO <sub>3</sub>	84.95 <sup>a</sup>	2391 <sup>b</sup>	494 <sup>b</sup>	828 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	2.08	101	47	272

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



การศึกษาสมบัติเพสติงของข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลาย พบว่าตัวอย่างควบคุมที่แช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออนและตัวอย่างข้าวที่แช่ในสารละลายไอโอดีนมีค่าพารามิเตอร์ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสารปกติที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายพบว่า ข้าวที่ผ่านกระบวนการเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออนและแช่ในสารละลายไอโอดีนจะมีค่า peak viscosity, breakdown และ setback ต่ำกว่า ขณะที่ค่า pasting temperature สูงกว่าข้าวสารปกติ (ตารางที่ 4.27) สาเหตุหลักอาจเกิดจากระดับการสืที่แตกต่างกันโดยข้าวสารปกติที่ไม่ผ่านการเสริมโดยการแช่จะมีระดับการขัดสีประมาณร้อยละ 10-11 ขณะที่ข้าวที่ผ่านการเสริมไอโอดีนโดยการแช่จะขัดสีในระดับเพียงร้อยละ 4-5 เนื่องจากข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายจะมีรอยร้าวเกิดขึ้นและแตกหักได้ง่ายเมื่อนำไปขัดสีเพื่อลดการแตกหักที่เกิดขึ้นจึงลดเวลาในการขัดสีลง ระดับการขัดสีที่แตกต่างกันทำให้ข้าวสารมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดย Park และคณะ (2001) ศึกษาข้าวระดับการสืที่มีต่อองค์ประกอบและ สมบัติเพสติงของข้าว พบว่า เมื่อระดับการสืลดลงจะทำให้ปริมาณโปรตีน และไขมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า peak viscosity, consistency, breakdown และ setback ต่ำลง แต่ pasting temperature เพิ่มขึ้น ดังที่กล่าวไว้ข้างแล้วว่าโปรตีนและไขมันสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับสตาร์ชได้ในระหว่างการหุงต้ม เช่นถ้าโปรตีนมีพันธะ disulphide จะทำให้เม็ดสตาร์ชของตัวจำกัดจึงเกิด breakdown ยากขึ้น ดังนั้นค่า breakdown จึงต่ำ (Hamaker and Griffin, 1993) ขณะที่ไขมันสามารถเกิดการรวมตัวกันอมัยโลสได้ amylose-lipid complex ซึ่งจะจำกัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Hibi, 1998) ดังนั้นระดับการขัดสีข้าวที่น้อยลงของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่น้ำจึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลให้มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากข้าวสารปกติ

นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของข้าวที่ผ่านการแช่ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลจากการหลอมรวมกัน (Annealing) ของสตาร์ช โดยการหลอมรวมนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อนำข้าวมาแช่ในน้ำมากเกินไปที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (Collado and Corke, 1999) ปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อแช่ข้าวเป็นเวลานาน แต่ภาวะการแช่ข้าวนาน 10 นาทีที่ใช้ในการทดลองนี้ผลของการหลอมรวมกันของสตาร์ชจึงอาจมีไม่มากนัก แต่ก็มีความเป็นไปได้เนื่องจากข้าวจะได้รับการอบแห้งเป็นเวลานานที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะทำให้การหลอมรวมกันนี้เสร็จสมบูรณ์ (Tester and Debon, 2000) การหลอมรวมกันจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ของอมัยโลเพคตินในเม็ดสตาร์ชเป็นผลให้ส่วนอสัณฐานแข็งแรงขึ้น (มีความเป็น glassy มากขึ้น) และส่วนผลึกมีระเบียบมากขึ้นโดยที่ยังคงโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชไว้ นอกจากนี้แรงยึดเหนี่ยวของส่วนอสัณฐานกับส่วนผลึกยังสูงขึ้นอีกด้วย (Stute and Heilbronn, 1992) การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุส่งผลทำให้ pasting temperature สูงขึ้น และจำกัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชความหนืดจึงต่ำลง นอกจากนี้ยังจำกัดการ leaching ของอมัยโลสค่าการเกิดรีโทรเกรดชันจึงต่ำลง (Gomes et al., 2005)

ค) ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีน

การศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่บางประการของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีนที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) โดยวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน (water and oil absorption capacity) ของแป้งฟลาวร์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.28 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.9)

**ตารางที่ 4.28** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำและน้ำมัน ของข้าวเสริมไอโอดีน โดยการแช่

Source of Variance	การดูดซับน้ำ	การดูดซับน้ำมัน
ชนิดของข้าว	ns	ns
CV (%)	2.58	3.00

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

จากตารางที่ 4.28 พบว่าตัวอย่างข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายไอโอดีนมีค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันไม่แตกต่างกัน และไม่ต่างจากข้าวสารปกติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) โดยตัวอย่างข้าวทั้งหมดมีค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันอยู่ในช่วง 1.22-1.28 และ 0.90-0.93 g/g ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก ง.9)

### 4.3 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน

#### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน

การผลิตข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนใช้วิธีอ้างอิงจากการศึกษาของจารุภัทร ลือชา (2545) ซึ่งใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบในการผลิต จากนั้นจะขัดสีให้เป็นข้าวสารแล้วบดผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.29 และความแตกต่างของสมบัติทางเคมีของตัวอย่างข้าวแสดงในตารางที่ 4.30 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.10)

**ตารางที่ 4.29** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส ไอโอดีน และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน

Source of Variance	ความชื้น	โปรตีน	อมัยโลส	เถ้า	ไอโอดีนในข้าวสาร	ไอโอดีนในรำ
ชนิดของข้าว	*	ns	ns	ns	*	*
CV (%)	7.06	0.94	3.90	7.97	14.77	4.53

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 4.30** ร้อยละของความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยการใส่สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง <sup>1</sup>	สมบัติทางเคมี		
	%ความชื้น (wet basis)	ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)	ปริมาณไอโอดีนในรำ (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)
ข้าวสารปกติ	11.56 <sup>a</sup>	8.88 <sup>c</sup>	31.49 <sup>b</sup>
ตัวอย่างควบคุม	9.82 <sup>b</sup>	12.89 <sup>b</sup>	14.52 <sup>c</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KIO <sub>3</sub>	9.65 <sup>b</sup>	96.01 <sup>a</sup>	85.60 <sup>a</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KI	9.68 <sup>b</sup>	96.57 <sup>a</sup>	85.26 <sup>a</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KI+ KIO <sub>3</sub>	9.99 <sup>b</sup>	96.79 <sup>a</sup>	85.43 <sup>a</sup>
LSD(0.05)	1.22	3.67	1.78

<sup>(1)</sup>ข้าวสารปกติ คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ไม่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง, ตัวอย่างควบคุม คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งแต่ไม่เสริมไอโอดีน, ข้าวหนึ่งเสริม KIO<sub>3</sub> คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง, ข้าวหนึ่งเสริม KI คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง และ ข้าวหนึ่งเสริม KI+KIO<sub>3</sub> คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไอโอเดตร่วมกันในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

จากตารางที่ 4.30 พบว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการหนึ่งที่ไม่เสริมไอโอดีนและข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วงร้อยละ 9.65-9.99 ขณะที่ตัวอย่างข้าวสารปกติซึ่งไม่ผ่านกระบวนการหนึ่งมีปริมาณความชื้นสูงกว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการหนึ่ง ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวสารปกติมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 11.56 ความแตกต่างของปริมาณความชื้นเป็นผลจากการทำแห้งอีกครั้งในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งนั่นเอง

สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่าตัวอย่างข้าวหนึ่งทั้งเสริมและไม่เสริมไอโอดีน และข้าวสารปกติมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) โดยข้าวหนึ่งที่ผลิตได้มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 9.50-9.53 (ตารางภาคผนวก ง.10) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของจากรุภัทร ลือชา (2545) ที่ผลิตข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนพันธุ์ชัยนาท1 มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 9.33

ข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม และข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกัน มีปริมาณอัมัยโลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ปริมาณอัมัยโลสของข้าวหนึ่งที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 28.00-29.78 (ตารางภาคผนวก ง.10) ซึ่งสูงกว่าการศึกษาของจากรุภัทร ลือชา (2545) ที่ผลิตข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนพันธุ์ชัยนาท1 มีปริมาณอัมัยโลสเฉลี่ยร้อยละ 27.60 (ใช้วิธีการวิเคราะห์เดียวกัน) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากสภาพการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน เพราะมีรายงานของ Kongseree และ Juliano (1972) ว่าสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ฤดูกาลเพาะปลูก และสภาพของดินส่งผลต่อปริมาณอัมัยโลสในข้าว

ปริมาณเถ้าของข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกัน ไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) โดยตัวอย่างข้าวทั้งหมดมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.57-0.63(ตารางภาคผนวก ง.10)

สำหรับปริมาณไอโอดีนในข้าวสารและในรำของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนแสดงในตารางที่ 4.30 โดยพบว่าตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกัน จะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารใกล้เคียงกันคือ 96.01, 96.57 และ 96.79 ไมโครกรัมต่อ100กรัม ตามลำดับ สูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ผ่านการทำข้าวหนึ่งแต่ไม่เสริมไอโอดีนที่มีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารเพียง 12.89 ไมโครกรัมต่อ100กรัมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ตัวอย่างควบคุมจะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารสูงกว่าข้าวสารปกติ โดยข้าวสารปกติมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารเพียง 8.88 ไมโครกรัมต่อ100กรัมเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณรำมีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าข้าวสาร (ตารางที่ 4.30) การผลิตข้าวหนึ่งจะทำให้สารอาหารที่บริเวณรำแทรกซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดมากขึ้นในขณะที่ต้มหรือหนึ่งด้วยไอน้ำร้อน (Kik, 1951) ดังนั้นตัวอย่างควบคุมจึงมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณไอโอดีนในรำ

ของข้าวสารปกติ (31.49 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม) ที่สูงกว่าตัวอย่างควบคุม (14.52 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม) เนื่องจากการแทรกซึมดังกล่าวนั่นเอง

ตัวอย่างข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตได้ไม่ว่าจะเสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกันให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารใกล้เคียงกับการศึกษาของจารุภัทร ลือชา (2545) ที่ผลิตข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนพันธุ์ชัยนาท 1 โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร 90.79 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 60 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการต่อ 1 วัน (150 ไมโครกรัมต่อวัน) ดังนั้นการบริโภคข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนเพียง 1 มื้อ (100 กรัม) ก็เกือบเพียงพอต่อความต้องการใน 1 วัน ส่วนที่เหลืออาจได้รับจากเครื่องดื่ม และอาหารอื่นๆ ที่บริโภคในระหว่างวัน

ปริมาณไอโอดีนที่พบในบริเวณรำของเมล็ดข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกันมีค่าใกล้เคียงกันคือ 85.60, 85.26 และ 85.43 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่ามีปริมาณน้อยกว่าในข้าวสารในตัวอย่างข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน (ตารางที่ 4.30) สันนิษฐานว่าไอโอดีนที่เสริมเข้าไปนั้นจะแทรกซึมและจับกับองค์ประกอบของข้าวในส่วนที่เป็นสตาร์ชได้ดีกว่าส่วนที่เป็นลิวซิน, เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลสที่พบมากในรำ จากแบบจำลองของเม็ดสตาร์ชที่เสนอโดย Stark และ Lynn (1992) พบว่าโครงสร้างเม็ดสตาร์ชจะมีรูบริเวณพื้นผิวที่น้ำและโมเลกุลขนาดเล็กๆ สามารถแทรกเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ชได้ ดังนั้นไอโอไดด์ และไอโอเดตไอออนซึ่งมีขนาดเล็กจึงสามารถแทรกสู่ภายในเม็ดสตาร์ชได้ประกอบกับในขั้นตอนการผลิตข้าวหนึ่งนั้นมีการให้ความร้อน (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส) ขณะแช่ในสารละลายไอโอดีนระหว่างการผลิตข้าวหนึ่งทำให้พันธะไฮโดรเจนของอัมัยโลส และอัมัยโลสเพกทินในเม็ดสตาร์ชที่จับกันหนาแน่นคลายตัวโมเลกุลของน้ำ และไอออนต่างๆ สามารถจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชได้มากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Lii และคณะ (2002) รายงานว่าไอโอไดด์ไอออนสามารถแทรกตัวเข้าสู่เม็ดสตาร์ชได้และจะเกิดปฏิสัมพันธ์ขึ้นระหว่างสตาร์ชกับไอโอไดด์ไอออน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น ดังนั้นสตาร์ชจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะจับและยึดเหนี่ยวกับสารประกอบไอโอดีนที่เสริมในข้าวหนึ่ง



#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน

ฟลาวัวร์จากข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบแตกต่างกันจะนำมาวิเคราะห์สมบัติเพสติงด้วยเครื่อง RVA (Rapid Visco Amylograph) โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 4.31 และความแตกต่างของสมบัติเพสติงของตัวอย่างข้าวแสดงในตารางที่ 4.32 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.11)

**ตารางที่ 4.31** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลาวัวร์จากข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน

Source of Variance	pasting temperature	peak viscosity	breakdown	setback
ชนิดของข้าว	*	*	*	*
CV (%)	0.41	2.87	5.43	4.66

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.32 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลัวร์จากข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยการใส่สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติเพสติง			
	pasting temperature (°C)	peak viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback, (cP)
ข้าวสารปกติ	79.05 <sup>b</sup>	2755 <sup>a</sup>	839 <sup>a</sup>	1664 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	94.97 <sup>a</sup>	1273 <sup>bc</sup>	126 <sup>b</sup>	1062 <sup>b</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KIO <sub>3</sub>	95.02 <sup>a</sup>	1286 <sup>bc</sup>	130 <sup>b</sup>	1089 <sup>b</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KI	95.08 <sup>a</sup>	1223 <sup>c</sup>	122 <sup>b</sup>	1030 <sup>b</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KI+KIO <sub>3</sub>	94.55 <sup>a</sup>	1335 <sup>b</sup>	138 <sup>b</sup>	1102 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	0.68	82	27	101

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.31 และ 4.32 พบว่าตัวอย่างข้าวสารปกติมีค่าพารามิเตอร์แตกต่างจากตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งข้าวจะมีค่า pasting temperature สูงขึ้น ซึ่งแสดงว่าข้าวหนึ่งที่ผลิตได้สุกยากขึ้นแต่ค่า peak viscosity, breakdown และ setback ลดลง หมายความว่าเม็ดสตาร์ชของข้าวหนึ่งจะมีการพองตัวต่ำลง เสถียรต่อแรงกวน และมีการคืนตัวต่ำลง

การผลิตข้าวหนึ่งนั้นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ประกอบด้วยการหลอมรวมกันของสตาร์ช (Annealing) และการให้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิสูงแต่มีปริมาณน้ำจำกัด (Heat-moisture treatment) บางส่วนของสตาร์ชอาจถูกเจลาติไนซ์ สูญเสีย birefringence และเสียความเป็นผลึก นอกจากนั้นในระหว่างการทำแห้งข้าวหนึ่งสตาร์ชอาจมีการปรับตัวหรือ เกิดปฏิสัมพันธ์ทั้งภายใน และระหว่างโมเลกุล การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นทั้งในส่วนอสัณฐาน และส่วนผลึกในเม็ดสตาร์ช โดยมีการจับกันระหว่างอมัยโลสกับอมัยโลส (amylose-amylose), อมัยโลสกับ ลิปิด (amylose-lipid) และอมัยโลสกับอมัยโลเพคติน (amylose-amylopectin) สำหรับการจับกัน ของอมัยโลสเพคตินกับอมัยโลเพคติน (amylopectin-amylopectin) ในส่วนผลึกนั้นจะมีอย่างจำกัด (Lai, 2001) ดังนั้นข้าวที่ผ่านการทำข้าวหนึ่งจะมีปริมาณอมัยโลสที่ leaching น้อยกว่า เนื่องจากเกิดการจับกันของอมัยโลสกับส่วนกิ่งก้านของอมัยโลเพคติน (Kawabata *et al.*, 1994) ดังนั้นค่า setback จึงลดลง

ข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นนั้นจะมี pasting temperature สูงขึ้นเนื่องจากต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการทำลายการจับตัวกันขององค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้ นอกจากนี้เมล็ดสตาร์ชจะมีการพองตัวต่ำ และมีความหนืดของสตาร์ชเพสต่ำ (Hoover *et al.*, 1993) ข้าวหนึ่งมีรูปแบบของ amylograph จาก RVA แบบ Type-C คือเมล็ดสตาร์ชจะมีการพองตัวอย่างจำกัด และไม่มี breakdown ซึ่งพบได้ในสตาร์ชจากถั่ว (legume) (Collado *et al.*, 2001) ระดับของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ข้าวในน้ำ และระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำ

เมื่อสังเกตเฉพาะตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์และตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไอโอเดตร่วมกันมีค่า peak viscosity แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่ค่า pasting temperature, breakdown และ setback ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แสดงว่าการเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียม ไอโอไดด์ มีผลต่อการพองตัวของสตาร์ชแต่การเปลี่ยนแปลงยังเห็นไม่ชัดเจน โดยข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตและโพแทสเซียมไอโอไดด์ร่วมกันจะมีค่า peak viscosity สูงกว่าตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ แต่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างข้าวหนึ่งที่ไม่เสริมไอโอดีน และข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต (ตารางที่ 4.29)

#### 4.3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน

การศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่บางประการของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์ โดยวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน (water and oil absorption capacity) ของแป้งฟลาวร์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.33 และความแตกต่างของสมบัติเชิงหน้าที่ของตัวอย่างข้าวแสดงในตารางที่ 4.34 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.12)

ตารางที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำและน้ำมัน ของข้าวเสริมไอโอดีน โดยการแช่

Source of Variance	การดูดซับน้ำ	การดูดซับน้ำมัน
ชนิดของข้าว	*	ns
CV (%)	1.99	2.41

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.34 ค่าการดูดซับน้ำของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	ค่าการดูดซับน้ำ (g/g)
ข้าวสารปกติ	1.25 <sup>c</sup>
ตัวอย่างควบคุม	1.84 <sup>ab</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KIO <sub>3</sub>	1.85 <sup>ab</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KI	1.90 <sup>a</sup>
ข้าวหนึ่งเสริม KI+ KIO <sub>3</sub>	1.79 <sup>b</sup>
LSD(0.05)	0.06

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.33 พบว่าค่าการดูดซับน้ำมันของข้าวสารปกติ ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยตัวอย่างข้าวทั้งหมดมีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วง 0.88-0.93 g/g (ตารางภาคผนวก ง.12) ขณะที่ข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งมีค่าการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวสารปกติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากตัวอย่างข้าวหนึ่งจะมีสสารบางส่วนที่ถูกเจลาติไนซ์ ซึ่งเป็นการทำลายโครงสร้างของเม็ดสสารทำให้ น้ำสามารถแทรกซึมและยึดจับกับโมเลกุลของสสารได้ง่ายค่าการดูดซับน้ำจึงสูงกว่าตัวอย่างข้าวสารปกติ (ตารางที่ 4.34) แต่เมื่อพิจารณาระหว่างตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจะพบความแตกต่างของค่าการดูดซับน้ำระหว่างตัวอย่างข้าวหนึ่ง โดยพบว่าข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์มีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าข้าวหนึ่งที่เสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต

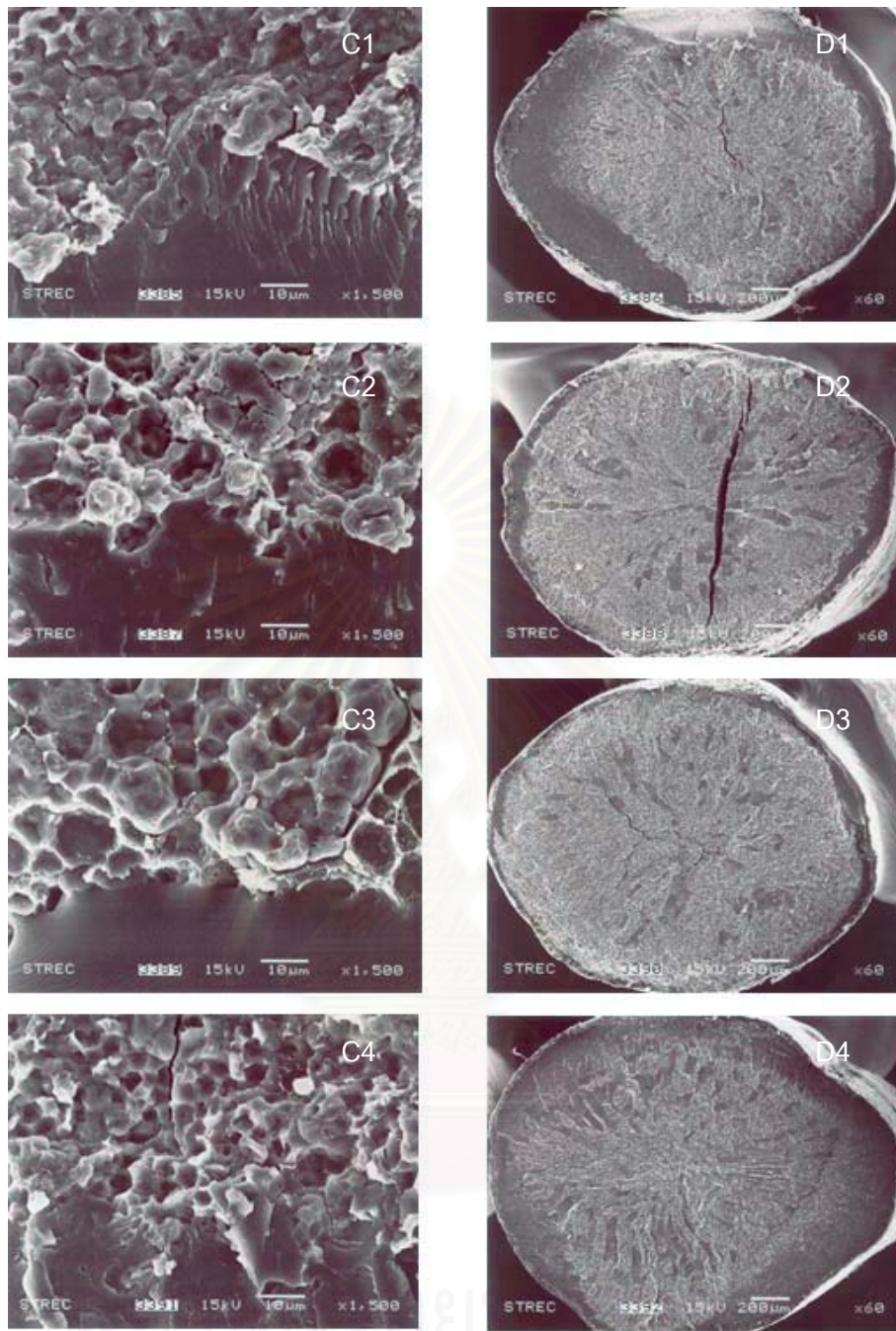
และโพแทสเซียมไอโอไดด์ร่วมกัน แต่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างข้าวหนึ่งไม่เสริมไอโอดีนและข้าวหนึ่งเสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต (ตาราง 4.34) อย่างไรก็ตามค่าการดูดซับน้ำน่าจะสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงระดับการเกิด เจลาติไนเซชันได้ ซึ่งพิสูจน์ว่าตัวอย่างข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตได้มีระดับการเกิดเจลาติไนเซชันแตกต่างกัน

ผลของการเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำยังไม่มีการศึกษามากนัก การเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบทั้ง 2 ร่วมกันทำให้ค่าการดูดซับน้ำลดลงอาจเป็นเพราะสารประกอบทั้ง 2 มีปฏิสัมพันธ์กันที่จะส่งผลต่อค่าการดูดซับน้ำ

#### 4.3.4 ผลการตรวจสอบภาพตัดขวางเมล็ดข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยเทคนิค SEM

เมล็ดข้าวหนึ่งจะมีส่วนที่ถูกเจลาติไนซ์ไปเพียงบางส่วนในบริเวณขอบของเมล็ด เมื่อสังเกตภาพตัดขวางที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า (รูปที่ 4.10) จะเห็นได้ว่าบริเวณที่เกิดการเจลาติไนเซชันนั้นเม็ดสตาร์ชจะหลอมรวมกันเป็นเนื้อเดียว ขณะที่บริเวณที่ยังไม่เจลาติไนซ์เม็ดสตาร์ชเพียงพองตัวขึ้นมากกว่าปกติอันเนื่องมาจากการเจลาติไนซ์ยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นข้าวหนึ่งที่ผลิตได้จึงเรียกได้ว่าเป็น Partial / Surface parboiled rice ที่มีการเกิดเจลาติไนซ์เพียงผิวของเมล็ดจะมีสีขาวนูนบริเวณกลางเมล็ด (Luh and Mickus, 1980) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจารุภัทร ลือชา (2545) ที่พบว่าข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนสามารถพบลักษณะ birefringence และพบผลึก type A ที่เกิดจากการได้รับความร้อนไม่เพียงพอ





**รูปที่ 4.10** ภาพตัดขวางของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน โดย C1และD1 คือข้าวหนึ่งไม่เสริมไอโอดีนที่กำลังขยาย 1,500และ60เท่า ตามลำดับ, C2และD2 คือข้าวหนึ่งเสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียม ไอโอดด์(KI)ที่กำลังขยาย 1,500และ60เท่า ตามลำดับ, C3และD3 คือข้าวหนึ่งเสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต(KIO<sub>3</sub>)ที่กำลังขยาย 1,500และ60เท่า ตามลำดับ และ C4 และD4 คือข้าวหนึ่งเสริมด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอดด์(KI)และโพแทสเซียมไอโอเดต(KIO<sub>3</sub>)ที่กำลังขยาย 1,500และ60เท่า ตามลำดับ

#### 4.4 ปริมาณไอโอดีนในเมล็ดข้าวเสริมไอโอดีนภายหลังการทำไดแอลิซิส

ข้าวสารปกติ และข้าวเสริมไอโอดีน 7 วิธี ได้แก่ ข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์, เสริมโดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต, เสริมโดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ร่วมกับโพแทสเซียมไอโอเดต, เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์, เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้โพแทสเซียมไอโอเดต, เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ร่วมกับโพแทสเซียมไอโอเดต และข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมาขัดสีและบดให้เป็นแป้งฟลาวาร์ นำแป้งฟลาวาร์ไปทำไดแอลิซิสในน้ำที่ปราศจากไอออน โดยใช้ถุงไดแอลิซิสที่มี molecular weight cut off เท่ากับ 3000 เป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยจะทำการเปลี่ยนน้ำทุก 8 ชั่วโมง และ คนอยู่ตลอดเวลา จากนั้นนำตัวอย่างในถุงไดแอลิซิสมาทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 40 °C จนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 แล้วจึงวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนทั้งก่อนและหลังการทำไดแอลิซิส โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.35 และปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไดแอลิซิสและร้อยละของปริมาณไอโอดีนที่ลดลงหลังการทำไดแอลิซิสแสดงในตารางที่ 4.36 (ดูรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.13)

ตารางที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไอโอดีนในข้าวเสริมไอโอดีนก่อน และหลังการทำไดแอลิซิส

Source of Variance	ปริมาณไอโอดีน
ชนิดของข้าว(A)	**
การทำไดแอลิซิส(B)	**
A*B	*
CV (%)	8.85

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.36 ปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไดแอลลิซิส และร้อยละของปริมาณไอโอดีนที่ลดลง หลังการทำไดแอลลิซิส

ปัจจัย		ปริมาณไอโอดีน <sup>1</sup> (µg/100g)	ร้อยละของ ไอโอดีนที่ลดลง
ข้าวสารปกติ	ก่อนไดแอลลิซิส	5.84 <sup>g</sup>	-
	หลังไดแอลลิซิส	5.64 <sup>g</sup>	
เสริมโดยการแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์	ก่อนไดแอลลิซิส	67.16 <sup>c</sup>	29.93
	หลังไดแอลลิซิส	47.06 <sup>ef</sup>	
เสริมโดยการแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลิซิส	56.23 <sup>de</sup>	23.64
	หลังไดแอลลิซิส	42.94 <sup>f</sup>	
เสริมโดยการแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์และ โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลิซิส	58.40 <sup>cd</sup>	27.75
	หลังไดแอลลิซิส	42.19 <sup>f</sup>	
เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ โพแทสเซียมไอโอไดด์	ก่อนไดแอลลิซิส	97.44 <sup>a</sup>	19.50
	หลังไดแอลลิซิส	78.44 <sup>b</sup>	
เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลิซิส	96.64 <sup>a</sup>	15.13
	หลังไดแอลลิซิส	81.84 <sup>b</sup>	
เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ โพแทสเซียมไอโอไดด์ ร่วมกับ โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลิซิส	98.17 <sup>a</sup>	17.31
	หลังไดแอลลิซิส	81.18 <sup>b</sup>	
ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนใน แปลงเพาะปลูก	ก่อนไดแอลลิซิส	10.14 <sup>g</sup>	-
	หลังไดแอลลิซิส	10.24 <sup>g</sup>	

LSD(0.05)=10.31

a, b, c, d, e, f, g ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

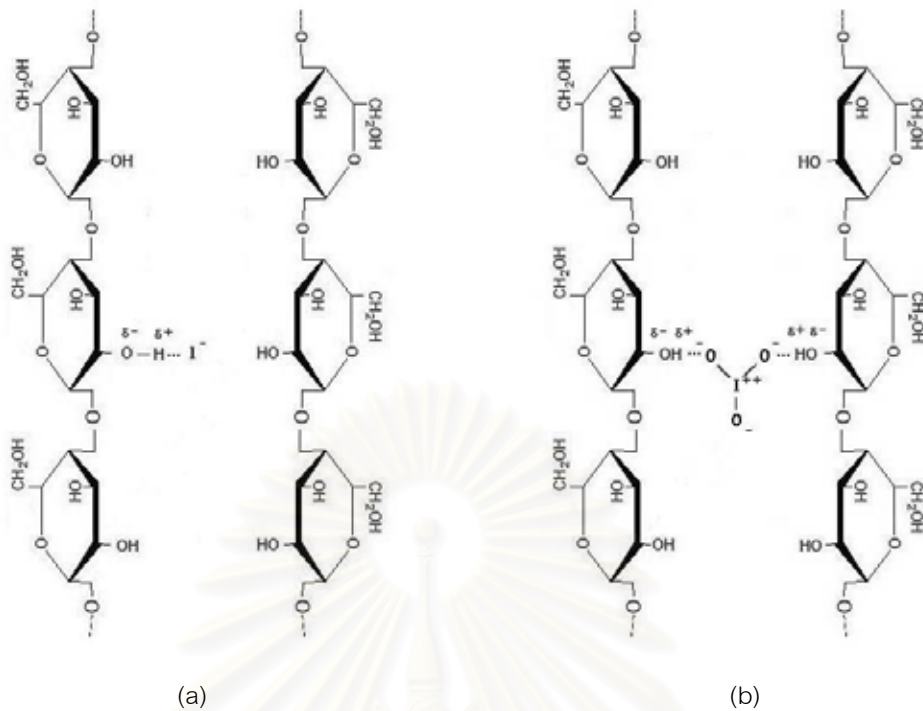
เมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีนในข้าวเสริมไอโอดีนแต่ละชนิดก่อนและหลังการทำไคแอลิซิส พบว่าตัวอย่างข้าวข้าวสารปกติ และข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก มีปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไคแอลิซิสไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่ข้าวที่เสริมไอโอดีน โดยการแช่ในสารละลาย และข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการทำข้าวหนึ่งจะมีปริมาณไอโอดีนลดลงเมื่อ ผ่านการทำไคแอลิซิสอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยจะสังเกตได้ว่าข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการแช่ใน สารละลายมีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้นน้อยกว่า และมีการลดลงของไอโอดีนหลังการทำไคแอลิซิสมากกว่าข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการทำข้าวหนึ่ง คือลดลงร้อยละ 23.64 - 29.93 และ 15.13 - 19.50 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.35) แสดงว่าข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการหนึ่งธาตุไอโอดีนจะเข้าไปได้มากกว่า และสามารถจับกับองค์ประกอบต่างๆ ของเมล็ดข้าวได้ดีกว่าข้าวที่เสริมโดยการแช่ธรมมาดา ทำให้ สูญเสียไอโอดีนไปกับน้ำกลั่นปราศจากไอออนที่ใช้ทำไคแอลิซิสน้อยกว่า ขณะที่ตัวอย่างควบคุม และ ข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก สันนิฐานได้ว่าธาตุไอโอดีนที่พบภายในเมล็ด ข้าว นั้นเป็นไอโอดีนที่จับกับองค์ประกอบของข้าวแทบทั้งสิ้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ ไอโอดีนภายหลังการทำไคแอลิซิส

ไอโอดีนยึดเกาะกับสตาร์ชได้ดีดังงานวิจัยของ ชูติมา อัครเสถียร (2543) ที่ศึกษาการ เสริมไอโอดีนโดยการเคลือบด้วยเจลพอลิเมอร์พบว่าข้าวพันธุ์แพร์ 1 ที่เคลือบด้วยเจลแบ่งข้าวเหนียว จะมีร้อยละ recovery สูงที่สุด (ร้อยละ 99.01) ภายหลังการล้าง ขณะที่ ธนานันต์ โรจนศศิธร (2545) พบว่าการเสริมไอโอดีนด้วยการเคลือบข้าวด้วยแป้งฟลาวัวร์ของข้าวเจ้ามีปริมาณไอโอดีนที่คงเหลือ ภายหลังการล้างและการหุงค่อนข้างสูง (ร้อยละ 94.16 สำหรับข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 และ ร้อยละ 82.31 สำหรับข้าวพันธุ์แพร์ 1)

จากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้พอจะสรุปผลได้ว่าไอโอดีนที่เสริมในข้าวส่วนใหญ่จะ ยึดเกาะกับส่วนประกอบในเมล็ดข้าว โดยส่วนประกอบสำคัญที่ยึดเกาะกับไอโอดีนคือสตาร์ช ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงขอเสนอรูปแบบการยึดเกาะกันระหว่างสตาร์ชกับไอโอดีน ซึ่งเป็นเพียงสมมติฐานเพื่อใช้ เป็นแนวทางในการศึกษาพิสูจน์ต่อไป โดยแสดงดังรูปที่ 4.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





**รูปที่ 4.11** แบบจำลองของการยัดเกาะกันของสตาร์ชกับไอโอดีนในเมล็ดข้าว (a) สตาร์ชกับไอโอดีน (b) สตาร์ชกับไอโอดีน

การยัดเกาะกันระหว่างสตาร์ชกับแอนไอออนมีรายงานการศึกษาไม่มากนัก สำหรับในงานวิจัยนี้จะขอเสนอการยัดจับกันระหว่างไอโอดีนกับสตาร์ชโดยยึดผลของการศึกษาของ Lii และคณะ (2002) ที่รายงานว่าแอนไอออนจะสามารถแทรกตัวเข้าสู่ภายในเม็ดสตาร์ชได้และจะเกิดปฏิสัมพันธ์กับหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ช โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟลูออไรด์แอนไอออน (F<sup>-</sup>) จะสามารถเร่งการเกิด mutarotation ของ alpha-D-glucose ไปเป็น beta-D-glucose ได้ สำหรับแอนไอออนพวก bidentate เช่นซัลเฟตไอออน และไนเตรทไอออนจะมีปฏิสัมพันธ์กับหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ โดยแอนไอออนที่มี resonance จะเสถียรกว่าที่ไม่มี นอกจากนั้นยังได้เสนอรูปแบบการยัดจับกันของอินกับสตาร์ชไว้ดังนี้  $\{[>CH-O- - -H- - -Anion] Cation^+\}$

#### 4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวเหนียวเสริม และไม่เสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บรักษา

ข้าวกล้องปกติ ข้าวเหนียว(ไม่เสริมไอโอดีน) และข้าวเหนียวที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอดेटที่ผลิตและบรรจุในถุงพลาสติก (polypropylene) เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด (เดือนที่ 0, 2, 4 และ 5) ข้าวจะถูกขัดสีให้เป็นข้าวสารและบดให้เป็นแป้ง ฟลาวัวร์ก่อนนำมาประเมินผลในด้านต่างๆ (ยกเว้นดัชนีความขาวของเมล็ดที่วิเคราะห์ในข้าวกล้อง และสามารถดูรายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมได้ในตารางภาคผนวก ง.14 และง.15)

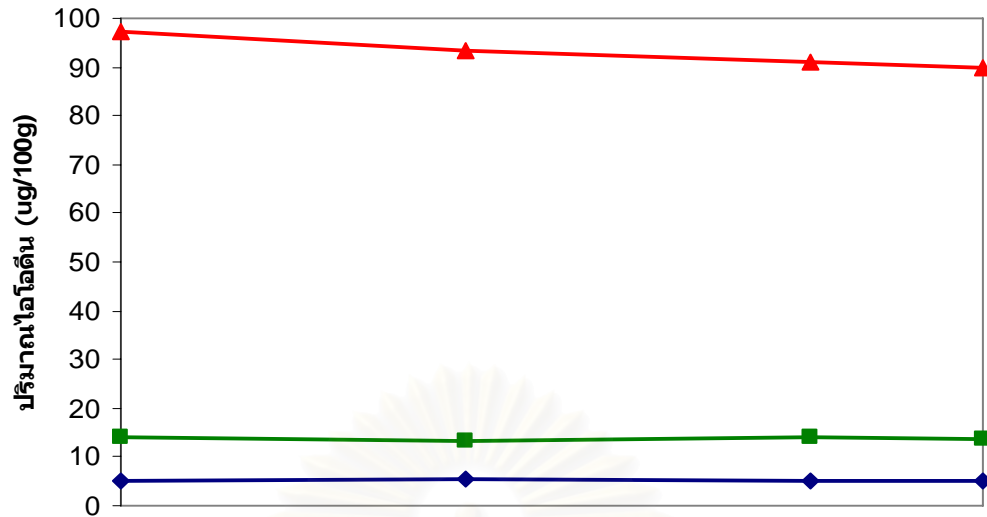


#### 4.5.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอน์ไดน

ตัวอย่างข้าวกล้องปกติ และข้าวหนึ่ง (ไม่เสริมไอน์ไดน) แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอน์ไดนในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน ขณะที่ตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เสริมไอน์ไดนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอน์ไดนปริมาณไอน์ไดนมีแนวโน้มลดลง การลดลงของปริมาณไอน์ไดนมีอัตราคงที่อื่นจะเห็นได้จากกราฟมีลักษณะเกือบจะเป็นเส้นตรง (รูปที่ 4.12) โดยในเดือนที่ 5 ข้าวหนึ่งเสริมไอน์ไดนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอน์ไดนมีปริมาณไอน์ไดนลดลงจากเริ่มต้นเพียงร้อยละ 7.55

เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าปริมาณไอน์ไดนในตัวอย่างที่ไม่มีการเสริมไอน์ไดนนั้น ปริมาณไอน์ไดนในเมล็ดจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการเก็บรักษานาน 5 เดือน ขณะที่ตัวอย่างที่มีการเสริมไอน์ไดนนั้นปริมาณไอน์ไดนจะลดลงระหว่างการเก็บรักษา สันนิษฐานว่าไอน์ไดนที่มีในเมล็ดที่ได้จากการดูดซึมของพืชตามธรรมชาตินั้นมีปริมาณน้อยและแทบทั้งหมดเป็นไอน์ไดนที่จับกับองค์ประกอบของเมล็ดข้าวอย่างแน่นหนาและแทบไม่เปลี่ยนแปลงหลังการเก็บรักษาหรือการทำไอน์ไดน ขณะที่ไอน์ไดนที่เสริมด้วยวิธีการผลิตข้าวหนึ่งนั้น จากการทำไอน์ไดนแสดงให้เห็นแล้วว่าปริมาณไอน์ไดนที่สูงสูญเสียภายหลังการทำไอน์ไดนเกือบร้อยละ 20 ซึ่งคาดว่าเป็นไอน์ไดนอิสระที่ไม่ได้จับกับองค์ประกอบใดๆ ในเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถสูญเสียได้ง่ายกว่าและเป็นไอน์ไดนส่วนสำคัญที่สลายตัวไประหว่างการเก็บรักษานั้นเอง

การสลายตัวของไอน์ไดนในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดขึ้นได้เมื่อสัมผัสกับแสงแดดและความร้อน (McDowell, 1992) ในระหว่างการเก็บรักษานั้นตัวอย่างข้าวจะมีโอกาสได้รับแสงในระหว่างการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ และในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนั้นอาจมีอุณหภูมิสูงได้ถึง 37 องศาเซลเซียส ประกอบกับการบรรจุในถุง polypropylene ซึ่งไม่ได้ป้องกันอากาศและความชื้นโดยสมบูรณ์ (ก๊าซและความชื้นสามารถซึมผ่านถุงได้ในระดับหนึ่ง) จึงสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีขึ้นได้มากมายซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณไอน์ไดนลดลง แต่ถึงอย่างไรการลดลงของไอน์ไดนในระหว่างการเก็บรักษานาน 5 เดือนนั้นมีปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยตัวอย่างข้าวหนึ่งเสริมไอน์ไดนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอน์ไดนจะยังมีปริมาณไอน์ไดนสูงถึง 89.84 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณเกินกึ่งหนึ่งของปริมาณไอน์ไดนที่ร่างกายต้องการต่อวัน (150 ไมโครกรัม)



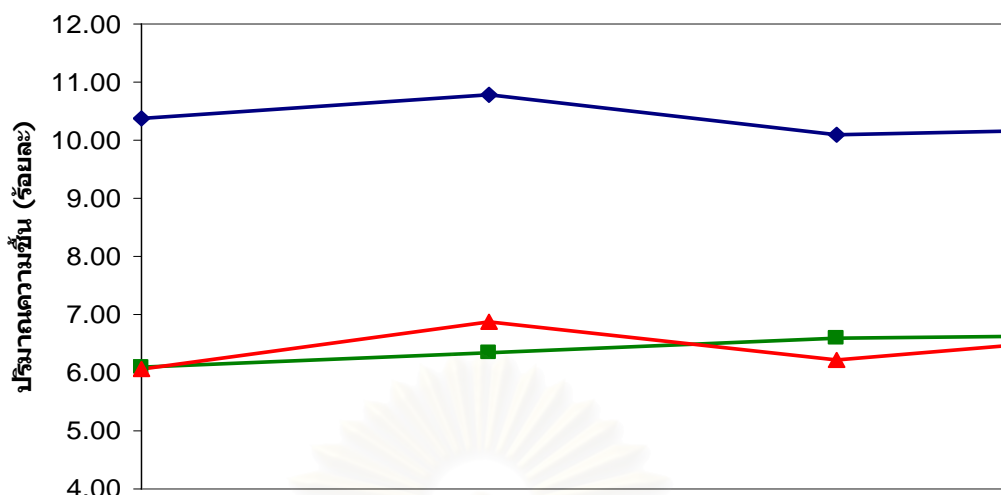
ระยะเวลา (เดือน)	0	2	4	5
ข้าวกล้องปกติ	5.22±0.34	5.32±0.34	5.17±0.15	5.26±0.27
ข้าวหนึ่ง	13.92±0.94	13.30±0.28	13.94±0.66	13.59±0.44
ข้าวหนึ่งเสริมKIO <sub>3</sub>	97.18±0.48	93.46±0.38	91.02±0.24	89.84±0.16

ค่าในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

**รูปที่ 4.12** การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องปกติ ข้าวหนึ่ง และ ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน

#### 4.5.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในระหว่างการเก็บรักษานาน 5 เดือน แสดงในรูปที่ 4.13 โดยพบว่าในตัวอย่างข้าวกล้องปกติปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 และ จะลดลงเล็กน้อยในเดือนที่ 4 โดยข้าวกล้องมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 10.37 และในเดือนที่ 5 มี ปริมาณความชื้นร้อยละ 10.15 หรือลดลงประมาณร้อยละ 2 เมื่อพิจารณาตัวอย่างข้าวหนึ่ง และข้าว หนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำประมาณร้อยละ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในระหว่างเก็บรักษามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 5 เดือน เนื่องจากเก็บรักษาในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทการ เปลี่ยนแปลงความชื้นจึงมีเพียงเล็กน้อย



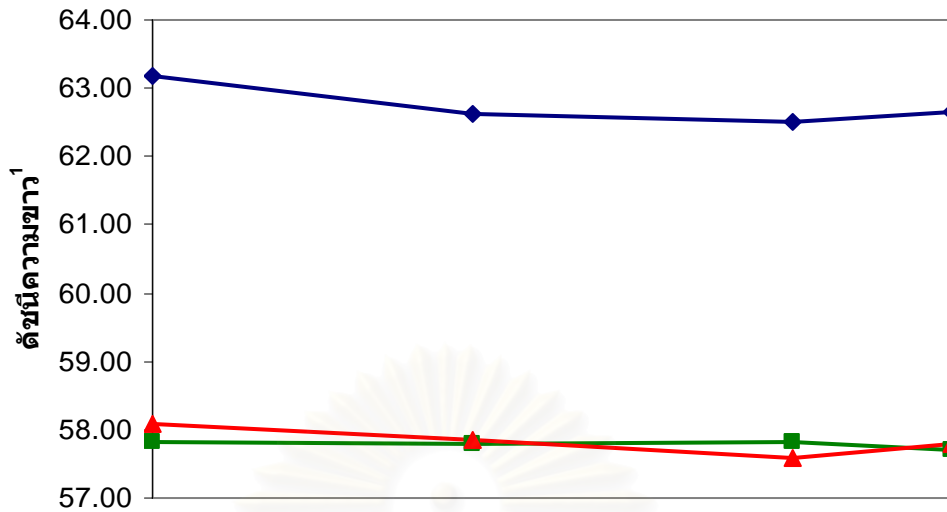
ระยะเวลา (เดือน)	0	2	4	5
ขาวกลิ้งปกติ	10.37±0.02	10.77±0.12	10.10±0.03	10.15±0.10
ขาวนึ่ง	6.10±0.01	6.35±0.09	6.59±0.06	6.22±0.14
ขาวนึ่งเสริมKIO <sub>3</sub>	6.06±0.10	6.89±0.10	6.22±0.06	6.48±0.09

ค่าในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

**รูปที่ 4.13** การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกลิ้งปกติ ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน

#### 4.5.3 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีความขาว (White index) ของเมล็ดข้าวกลิ้ง

ข้าวกลิ้งปกติมีดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต ระหว่างการเก็บรักษานาน 5 เดือน แสดงในรูปที่ 4.14 ค่าดัชนีความขาวของตัวอย่างข้าวกลิ้งปกติมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยใน 4 เดือนแรก และจะเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 5 ของการเก็บรักษา งามชื่น คงเสรี (2532) รายงานการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวหอมที่เก็บนาน 6 เดือนว่าความขาวของเมล็ดข้าวจะลดลงเล็กน้อยใน 4 เดือนแรก หลังจากนั้นความขาวจะเพิ่มขึ้น เพราะผิวเมล็ดมีผนังแข็งเกาะอยู่ ขณะที่ Araullo และคณะ (1976) รายงานว่าข้าวนึ่งมีสีเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเก็บในที่มืด อุณหภูมิ 38°C การลดลงของดัชนีความขาวระหว่างการเก็บรักษานั้นมีสาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเคมีที่เกิดบริเวณผิวชั้นนอกของเมล็ดซึ่งจะทำให้สูญเสียกรดอะมิโนจำเป็น และดัชนีความขาวของเมล็ดลดลง (Zhou *et al.*, 2002)



ระยะเวลา (เดือน)	0	2	4	5
ข้าวกล้องปกติ	63.17±0.32	62.64±0.30	62.51±0.82	62.67±0.00
ข้าวหนึ่ง	57.82±0.03	57.78±0.14	57.83±0.29	57.71±0.93
ข้าวหนึ่งเสริมKIO <sub>3</sub>	58.09±0.78	57.84±0.35	57.60±0.06	57.78±0.04

ค่าในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

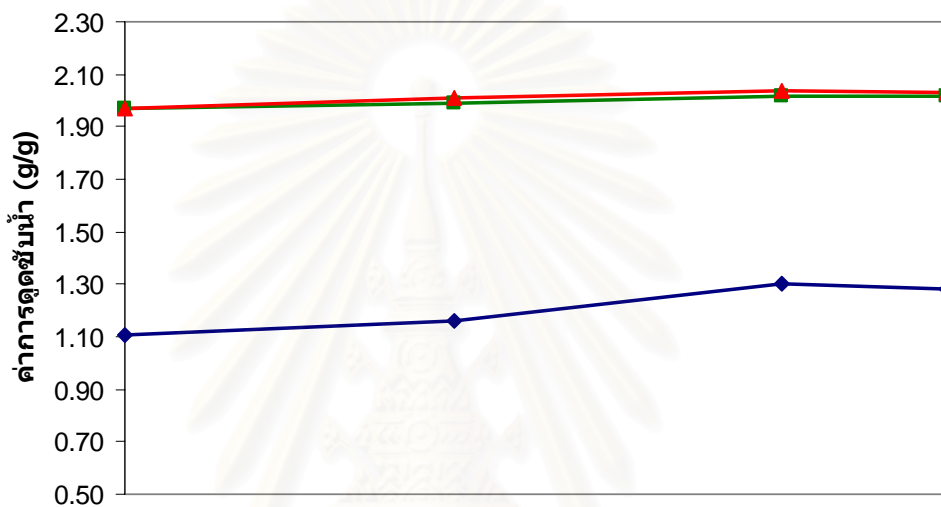
$$^{(1)} \text{ดัชนีความขาว} = 100 - [(100-L)^2 + a^2 + b^2]^{1/2}$$

**รูปที่ 4.14** การเปลี่ยนแปลงของดัชนีความขาวในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องปกติ ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน

#### 4.5.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับน้ำ

ตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเดือนที่ 4 และเริ่มคงที่ในเดือนที่ 5 (รูปที่ 4.15) โดยตัวอย่างข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนมีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันและเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเพียงเล็กน้อย ขณะที่ตัวอย่างข้าวกล้องมีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่า แต่มีการเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าซึ่งจะสามารถสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า โดยงานวิจัยของ Daniels และคณะ (1998) พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวนานขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซับน้ำของข้าวหุงสุกสูงขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับน้ำมีสาเหตุหลักจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในข้าวในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเอนไซม์เป็นสาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงนี้ โดยเอนไซม์ alpha-amylase ที่พบมากในบริเวณรำจะเร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสสลายพันธะไกลโคซิดิกของสตาร์ชทำให้ความยาวของสายโพลีเมอร์ลดลง จึงเป็นสาเหตุให้มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากขึ้นการดูดซับน้ำจึงสูงขึ้น ดังนั้นแอกติวิตีของเอนไซม์จึงมีความสำคัญต่อ ค่าการดูดซับน้ำ โดยตัวอย่างข้าวหนึ่งทั้ง 2 ชนิด

ได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง และยังมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ต่ำเพียงร้อยละ 6 ดังนั้นแอกติวิตีของเอนไซม์จึงต่ำ เนื่องจากเอนไซม์จะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อน และยังต้องการน้ำในการทำงานอีกด้วย ขณะที่ตัวอย่างข้าวกล้องไม่ได้รับความร้อนสูง และมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงกว่าทำให้แอกติวิตีของเอนไซม์สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับน้ำนั้นจะเริ่มคงที่ในเดือนที่ 5 น่าจะเป็นผลมาจากแอกติวิตีของเอนไซม์ที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา (Dhaliwal *et al.*, 1991)



ระยะเวลา (เดือน)	0	2	4	5
ข้าวกล้องปกติ	1.11±0.01	1.16±0.02	1.30±0.02	1.28±0.01
ข้าวหนึ่ง	1.97±0.01	1.99±0.00	2.02±0.01	2.02±0.01
ข้าวหนึ่งเสริมKIO <sub>3</sub>	1.97±0.00	2.01±0.01	2.04±0.01	2.03±0.00

ค่าในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

**รูปที่ 4.15** การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับน้ำในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องปกติ ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน

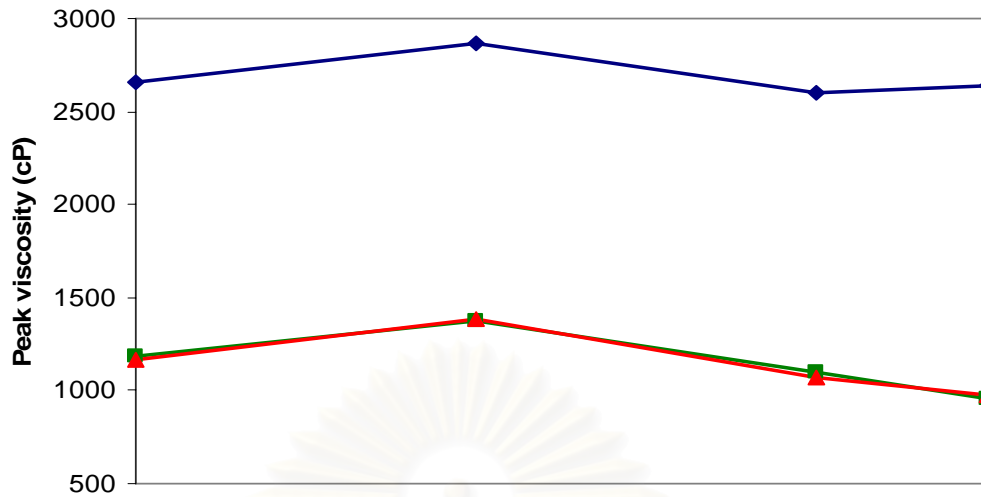
#### 4.5.5 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติง

ความหนืดของสารละลายสตาร์ชที่วัดได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA นั้น ตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดยจะมีค่า peak viscosity เพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 และลดลงในเดือนที่ 4 และจะคงที่ในเดือนที่ 5 ในขณะที่ค่า pasting temperature จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 4.16 และ 4.17) โดยผลของการเปลี่ยนแปลงความหนืดในระหว่างการเก็บนี้คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Perdon และคณะ (1997) ที่เก็บรักษา



ข้าวเปลือกนาน 6 เดือน พบว่าค่า peak viscosity จะเพิ่มขึ้นและจะสูงสุดในเดือนที่ 3 และจะลดลงต่ำสุดในเดือนที่ 5 แล้วจะเริ่มคงที่ และได้กล่าวไว้ว่ายังไม่สามารถอธิบายผลของการทดลองได้ ขณะที่การศึกษาของ Zhou และคณะ (2003) ที่เก็บรักษาข้าวสาร 3 พันธุ์นาน 16 เดือน ในอุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวพันธุ์ Doongara (ข้าวเมล็ดยาว และมีปริมาณอมัยโลสสูง) ที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 4 เดือนมีความหนืดสูงกว่าตัวอย่างใหม่ ขณะที่เก็บรักษานาน 12 และ 16 เดือน ความหนืดกลับลดลง ขณะที่ข้าวพันธุ์อื่นที่เก็บในภาวะแตกต่างออกไป ให้ผลที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าพันธุ์ข้าว ภาวะการเก็บรักษา และอุณหภูมิในการเก็บรักษามีอิทธิพลอย่างซับซ้อนต่อความหนืดของสารละลายสตาร์ชที่วัดด้วยเครื่อง RVA การเก็บรักษาข้าวนานเพียง 5 เดือนอาจทำให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น กรดไขมันอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อิ่มตัวจะสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอมัยโลสได้ง่าย สำหรับโปรตีนในข้าวก็มีบทบาทสำคัญต่อสมบัติเพสติง โดย Chrastil และ Zarins (1992) พบว่าทั้งข้าวเมล็ดยาว และเมล็ดยาวปานกลางโปรตีนจะมี disulphide bridges เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา Oryzenin ซึ่งเป็นโปรตีนสำคัญในเมล็ดข้าวจะมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความสามารถในการละลายลดลง การที่โปรตีนมี disulphide bridges มากขึ้นส่งผลยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช เมื่อทำลายพันธะเหล่านี้เม็ดสตาร์ชจะพองตัวได้มากขึ้น ความหนืดจึงสูงขึ้น (Hamaker and Griffin, 1993) การเพิ่มขึ้นของ disulphide bridges นี้ อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ความหนืดของสารละลายสตาร์ชลดลงในระยะเวลาการเก็บเดือนที่ 4 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ากระบวนการ ageing ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาข้าว เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และส่งผลต่อสมบัติเพสติงของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ

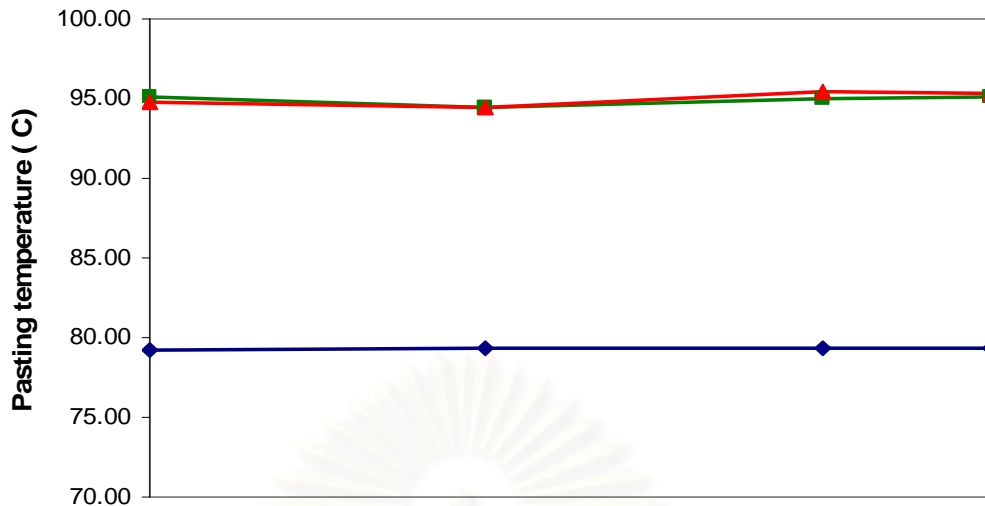
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ระยะเวลา (เดือน)	0	2	4	5
ข้าวกล้องปกติ	2658±132	2871±146	2605±96	2643±1
ข้าวหนึ่ง	1182±4	1376±17	1096±28	957±14
ข้าวหนึ่งเสริมKIO <sub>3</sub>	1164±66	1384±64	1074±30	974±26

ค่าในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องปกติ ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน



ระยะเวลา (เดือน)	0	2	4	5
ข้าวกล้องปกติ	79.25±0.64	79.30±0.57	79.38±0.04	79.38±0.04
ข้าวหนึ่ง	95.12±0.50	94.42±0.60	94.99±0.51	95.12±0.46
ข้าวหนึ่งเสริมKIO <sub>3</sub>	94.78±0.04	97.48±0.60	95.42±0.04	95.28±0.25

ค่าในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีใดก็ตามในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงของค่า pasting temperature ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องปกติ ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้อาจกล่าวได้ว่าประกอบด้วยการศึกษาการเสริมไอโอดีนในข้าว 3 วิธี ซึ่งได้แก่ การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก การเสริมไอโอดีนโดยการแช่ข้าวในสารละลายไอโอดีนซึ่งไม่มีการให้ความร้อนในกระบวนการผลิต และการเสริมไอโอดีนโดยการทำข้าวหนึ่งซึ่งต้องใช้ความร้อนในขั้นตอนการผลิต นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวหนึ่งเสริม และไม่เสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา โดยผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 1. การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

1.1 ข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมีปริมาณไอโอดีนในส่วนของข้าวสารสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการฯ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในข้าวสารทั้ง 2 พันธุ์จะเพิ่มจาก 7.66 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม เป็น 9.62 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม จะเห็นได้ว่าการจัดการธาตุไอโอดีนสามารถเพิ่มปริมาณไอโอดีนในข้าวสารได้เพียงเล็กน้อย และไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (150 ไมโครกรัมต่อวัน)

1.2 ข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนมีปริมาณไอโอดีนในรำต่ำกว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการฯ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสันนิษฐานว่าการจัดการธาตุไอโอดีนจะทำให้ธาตุไอโอดีนที่พบมากในรำเคลื่อนที่สู่ส่วนที่เป็นข้าวสาร (endosperm) มากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากการปรับลดความเครียดของต้นข้าวหลังได้รับการจัดการฯ นอกจกันั้นยังพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการจัดการธาตุไอโอดีนต่อปริมาณไอโอดีนในรำแตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีการลดลงของปริมาณไอโอดีนในรำภายหลังการจัดการฯ สูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

1.3 ข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกมีค่าความแข็งของเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการฯ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่พบว่าข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนมีแนวโน้มที่จะมีชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการฯ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เมล็ดข้าวมีการดูดและคายความชื้นอันเป็นสาเหตุของการแตกร้าวในเมล็ดลดลง ทำให้ข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนมีความแข็งของเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับการจัดการฯ

1.4 การจัดการธาตุไอโอดีนไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติเพสติง และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ( $p > 0.05$ ) ขณะที่การจัดการธาตุไอโอดีนทำให้ข้าวมีค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

1.5 การศึกษารูปแบบของโปรตีนด้วยเทคนิค SDS-PAGE ในตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้อง ไม่

พบความแตกต่างของรูปแบบโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน และยังไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวชัยนาท1 และขาวดอกมะลิ105 ขณะที่การวิเคราะห์รูปแบบโปรตีนในใบข้าวจะพบความแตกต่างในตัวอย่างใบข้าวสีเหลืองน้ำตาลหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 7 วัน และใบข้าวสีเขียวหลังการจัดการธาตุไอโอดีน 14 วัน ซึ่งแสดงว่าข้าวมีการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในใบเมื่อได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีชีวภาพของข้าวได้

1.6 เมื่อนำตัวอย่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนมาทำไดเอลลิซิสในน้ำกลั่นปราศจากไอออน พบว่าข้าวทั้ง 2 มีปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไดเอลลิซิสไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แสดงว่าธาตุไอโอดีนในเมล็ดที่ได้จากปลูกในธรรมชาติจะเป็นไอโอดีนที่ยึดจับกับองค์ประกอบของข้าวอย่างแน่นหนา และมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงภายหลังการทำไดเอลลิซิส

## 2. การเสริมไอโอดีนโดยการแช่ข้าวในสารละลายไอโอดีน

2.1 ภาวะที่เหมาะสมของการผลิตข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ คือ แช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ100กรัม นาน 10 นาที ซึ่งจะให้ข้าวมีปริมาณไอโอดีน 54.28 ไมโครกรัมต่อ100กรัม และแตกข้าวภายในน้อยที่สุด

2.2 ข้าวที่เสริมโดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์จะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร 67.35 ไมโครกรัมต่อ100กรัม สูงกว่าข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณไอโอดีน 55.23 ไมโครกรัมต่อ100กรัม แต่เมื่อแช่ในสารละลายที่ใช้สารประกอบทั้ง 2 ร่วมกันข้าวจะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร 59.36 ไมโครกรัมต่อ100กรัม ซึ่งอยู่ระหว่างการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์หรือโพแทสเซียมไอโอเดตเพียงชนิดเดียว

2.3 ไอโอดีนที่เสริมในข้าวโดยวิธีการแช่ไม่มีผลต่อสมบัติเพสติง และสมบัติเชิงหน้าที่ แต่การแช่มีอิทธิพลต่อสมบัติเพสติงของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวที่ผ่านการแช่จะมีค่า pasting temperature สูงกว่า และมีค่า peak viscosity, breakdown และ setback ต่ำกว่าข้าวสารปกติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

2.4 เมื่อนำตัวอย่างข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่มาทำไดเอลลิซิสในน้ำกลั่นปราศจากไอออน พบว่ามีปริมาณไอโอดีนคงเหลือภายหลังการทำไดเอลลิซิสร้อยละ 70.07-76.36

## 3. การเสริมไอโอดีนโดยการทำข้าวหนึ่ง

3.1 ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนที่ใช้สารประกอบไอโอดีนต่างกันจะมีปริมาณไอโอดีนในข้าวสารและในรำใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 96-97 ไมโครกรัมต่อ100กรัม และ 86-87 ไมโครกรัมต่อ100กรัมตามลำดับ การทำข้าวหนึ่งยังทำให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารสูงขึ้น โดยตัวอย่างควบคุม (ข้าวหนึ่งไม่



เสริมไอโอดีน) มีปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร (12.89 ไมโครกรัมต่อ100กรัม) สูงกว่าข้าวสารปกติ (8.88 ไมโครกรัมต่อ100กรัม) ปริมาณไอโอดีนในรำของตัวอย่างควบคุม (14.52 ไมโครกรัมต่อ100กรัม) จะน้อยกว่ารำของข้าวสารปกติ (31.49 ไมโครกรัมต่อ100กรัม)

3.2 ไอโอดีนที่เสริมโดยการทำข้าวหนึ่งส่งผลต่อสมบัติเพสติงของข้าวโดยข้าวหนึ่งที่เสริมด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไอโอเดตร่วมกันจะมีค่า peak viscosity สูงกว่าข้าวหนึ่งเสริมด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์ และพบว่าข้าวที่ผ่านการผลิตข้าวหนึ่งจะมีสมบัติเพสติงแตกต่างจากตัวอย่างข้าวสารปกติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยการทำให้ผลิตข้าวหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้แก่ การหลอมรวมกันของสตาร์ช (Annealing) และการให้ความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิสูงแต่มีปริมาณน้ำจำกัด (Heat-moisture treatment) ซึ่งจะทำให้สตาร์ชบางส่วนถูกเจลาติไนซ์ ข้าวที่ผ่านการผลิตข้าวหนึ่งจะมีค่า pasting temperature สูงกว่า และมีค่า peak viscosity, breakdown และ setback ต่ำกว่าข้าวสารปกติ

3.3 เมื่อนำตัวอย่างข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนมาทำไดเอลิซิสในน้ำกลั่นปราศจากไอออน พบว่า จะมีปริมาณไอโอดีนคงเหลือร้อยละ 80.50-84.87 ซึ่งสูงกว่าข้าวที่เสริมโดยการแช่ แสดงว่าการเสริมไอโอดีนโดยการทำข้าวหนึ่งจะมีปริมาณไอโอดีนที่ยึดจับกับองค์ประกอบของข้าวมากกว่าข้าวที่เสริมไอโอดีนโดยการแช่

#### 4. การเปลี่ยนแปลงของข้าวหนึ่งเสริม และไม่เสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่างข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งที่ไม่เสริมไอโอดีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอโอดีนในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน ขณะที่ตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต ปริมาณไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงโดยในเดือนที่ 5 ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตจะมีปริมาณไอโอดีนลดลงจากเริ่มต้นร้อยละ 7.55 นอกจากนี้พบว่าค่าดัชนีความขาวของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยใน 4 เดือนแรก และจะเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 5 ของการเก็บรักษา ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเดือนที่ 4 และเริ่มคงที่ในเดือนที่ 5 โดยตัวอย่างข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนมีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเพียงเล็กน้อย ขณะที่ตัวอย่างข้าวกล้องมีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่า แต่มีการเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่า สำหรับสมบัติเพสติงพบว่าตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดตมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดยจะมีค่า peak viscosity เพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 และลดลงในเดือนที่ 4 และจะคงที่ในเดือนที่ 5 ในขณะที่ค่า pasting temperature จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา

## ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้สามารถกล่าวได้ว่า ไอโอดีนที่เสริมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารซึ่งเป็นการเสริมเชิงกายภาพนั้นไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวแต่อย่างใด และพบว่าไอโอดีนที่เสริมในข้าวสามารถยึดจับกับองค์ประกอบโดยเฉพาะสตาร์ชในข้าวได้อย่างดีจึงสูญเสียภายหลังจากทำไดเอลิซิส และระหว่างการเก็บรักษาเพียงเล็กน้อย ขณะที่การจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูกสามารถเพิ่มปริมาณไอโอดีนในเมล็ดได้เพียงเล็กน้อยและไม่เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งของธาตุไอโอดีน อย่างไรก็ตามการจัดการธาตุไอโอดีนนั้นมีอิทธิพลต่อข้าว โดยข้าวที่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนจะมีความแข็งของเมล็ดสูงขึ้น และมีแนวโน้มของชั้นแอลิวไรน์ที่หนาขึ้น นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของโปรตีนในใบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SDS-PAGE ซึ่งเป็นการยืนยันว่าเมื่อต้นข้าวได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังกล่าว ดังนั้นเพื่อความเข้าใจที่ชัดเจนจึงควรมีการศึกษาในรูปแบบโปรตีนในเชิงลึกต่อไป

การเสริมไอโอดีนในข้าวโดยการแช่นั้นไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จริงเนื่องจากข้าวจะแตกหักมากเมื่อนำไปขัดสีซึ่งอาจสามารถประยุกต์ใช้กับปลายข้าวเพื่อผลิตแป้งหรือเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไอโอดีนต่อไป ขณะที่การเสริมไอโอดีนโดยการทำข้าวหนึ่งนั้นให้ผลดี แต่การบริโภคข้าวหนึ่งของคนไทยมีไม่มากนัก ดังนั้นจึงเหมาะที่จะส่งออกต่างประเทศมากกว่าบริโภคในประเทศ ซึ่งน่าจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวได้ทางหนึ่ง การเสริมไอโอดีนในข้าวนี้มีหลายวิธีสำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของไอโอดีนที่มีต่อข้าวมากกว่าการศึกษาการผลิตข้าวเสริมไอโอดีนเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งอาจใช้วิธีอื่นในการเสริมไอโอดีนที่เหมาะสมกับการบริโภคในประเทศมากกว่า เช่นการเคลือบสารอาหารบนข้าวหรือผลิตเป็นข้าวพรีมิกซ์ เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กุลยา จันทร์อรุณ. 2533. เคมีอาหาร. ตำรา-เอกสารวิชาการ, ฉบับที่ 35. กรุงเทพมหานคร: ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.
- เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.
- งามชื่น คงเสรี. 2532. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวสารที่บรรจุในภาชนะแบบต่างๆ. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ ปี 2532, หน้า 88-89. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.
- งามชื่น คงเสรี. 2542. คุณภาพข้าวสารและข้าวสุก. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการวิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.
- จารุภัทร ลือชา. 2545. ผลของความเข้มข้นของไอโอดีนและฟอสฟอรัสต่อคุณภาพของข้าวกล้องหนึ่งและข้าวเปลือกหนึ่งเสริมไอโอดีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ฉัตรชัย เจนการวณิชย์. 2542. การศึกษาผลของไอโอดีนที่ระดับต่างๆในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณไอโอดีนในฟองไข่และสมรรถภาพการผลิตของไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชุติมา อัสวเสถียร. 2543. ประสิทธิภาพการเสริมไอโอดีนในข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนินันท์ วรรณนะหทัย. 2542. การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทยและการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทิติกาน เมฆจรส์กุล. 2545. การเสริมธาตุเหล็กและธาตุเหล็กร่วมกับไอโอดีนในเมล็ดข้าว และแป้งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนานันต์ วิจารณ์ศศิธร. 2545. การเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กโดยการเคลือบบนเมล็ดข้าว.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประณีต ผ่องแผ้ว, บรรณาธิการ. 2539. โภชนาศาสตร์ชุมชน. กรุงเทพมหานคร: ลิฟวิงทรานส์มีเดีย.  
พิชิต สุวรรณประกร. 2542. ไข่เสริมไอโอดีนได้ฤกษ์วางตลาดรายแรกของโลกหลังเกล็ดสำเร็จ.

ผู้จัดการ: 6

มุกิตา หย่างถาวร. 2548. การแปรปรวนของการพัฒนาเมล็ดและความสัมพันธ์กับคุณภาพข้าวพันธุ์  
ชาวดอกมะลิ105. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเกษตรพืชไร่ คณะ  
เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิชาการเกษตร, กรม. 2545. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย.  
กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2544. โครงการ การเพิ่มคุณภาพการสีโดยใช้จุลธาตุบางชนิด และการเสริม  
ธาตุไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในเมล็ดข้าว และผลิตภัณฑ์แป้งข้าว. รายงานความคืบหน้า  
ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมวิชาการเกษตร.

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2547. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตร. [ONLINE].  
Available from: <http://www.oae.go.th/statistic/export/1301RI.xls>. [30 สิงหาคม 2547]

สมพล อุษชิน. 2535. แนะนำข้าวพันธุ์ใหม่: ข้าวชัยนาท1. วารสารวิจัยข้าว. 1(2): 48.

สิริพันธุ์ จุลรังคะ. 2542. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนามัย, กรม. 2532. ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันและแนวทางการบริโภคอาหาร  
สำหรับคนไทย. กรุงเทพมหานคร: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

อนามัย, กรม. 2539. รายงานภาวะโรคขาดสารไอโอดีนปี 2539. กรุงเทพมหานคร: กองโภชนาการ  
กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

อัมมาร สยามวาลา, และ วิโรจน์ ณ ระนอง. 2533. ประมวลความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร:  
สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย.

## ภาษาอังกฤษ

AACC, 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9<sup>th</sup> ed.  
Minnesota: American Association of Cereal Chemist.

- Adebowale, K. O., and Lawal, O. S. 2004. Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. Food Research International. 37: 355-365.
- Araullo, M. H., Padua, D. B., and Graham, M. 1976. Rice postharvest technology. International development center, Ottawa, Canada.
- Bal, S., and Ojha, T. P. 1975. Determination of biological maturity and effect of harvesting and drying conditions on milling quality of paddy. Journal of Agricultural Engineering Research. 20: 353-361.
- Bechtel, D. B., and Pomeranz, Y. 1978. Ultrastructure of the native ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis. The starchy endosperm. American Journal of Botany. 65: 684-690.
- Bethke, P. C., Swanson, S. J., Hillmer, S., and Jones, R. L. 1998. From storage compartment to lytic organelle: the metamorphosis of the aleurone protein storage vacuole. Annals of Botany. 82(4): 399-412.
- Bramell, L. D. 1986. A novel process for the fortification of rice. Food Technol. 38(7): 281-284.
- Brisibe, E. A., Miyake, H., Taniguchi, T., and Maeda, E. 1992. Callus formation and scanning electron microscopy of plantlet regeneration in African rice (*Oryza glaberrima* Steud). Plant Science. 83: 217-224.
- Bhattacharya, K. R., Sowbhagya, C. M., and Indudharaswamy, Y. M. 1978. Importance of insoluble amylose as a determinate of rice quality. J. Sci Food Agric. 19: 359-360.
- Champagne, E. T. 1996. Rice starch composition and characteristics. Cereal Food World. 41(11): 833-838.
- Chen, J. J., Lu, S., and Lii, C. Y. 1999. Effect of milling methods on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. Cereal Chem. 76(5): 796-798.
- Chrastil, J., and Zarins, Z. M. 1992. Influence of storage on peptide subunit composition of rice Oryzenin. J. Agric. Food Chem 40(6): 927-930.
- Cochran, W. C., and Cox, G. M. 1992. Experimental Design. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley&Sons.
- Collado, L. S., and Corke, H. 1999. Heat-moisture treatment effects on sweet potato starches differing in amylose content. Food Chemistry. 65: 339-346.



- Collado, L. S., Mabesa, L. B., Oates, C. G., and Corke, H. 2001. Bihon-type noodles from heat-moisture-treated sweet potato starch. Journal of Food Science. 66(4): 604-609.
- D'Appolonia, B. L. 1972. Effect of bread ingredients on starch-gelatinization properties as measured by the amylograph. Cereal Chem. 49: 532-543.
- Daniels, M. J., Marks, B. P., Siebenmorgen, T. J., Mcnew, R. W., and Meullenet, J. F. 1998. Effects of long-grain rough rice storage history on end-use quality. Journal of Food Science. 63(5): 832-835.
- Demaeyer, E. M., Lowenstein, F. W., and Thilly, C. H. 1979. The control of endemic goitre. Geneva: WHO, p. 20. อ้างถึงในรำไพพร มฤคทัต. ผลิตภัณฑ์ปลาร้าชนิดเสริมไอโอดีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสาขาวิชาโภชนาการศาสตร์ คณะสาธารณสุข มหาวิทยาลัยมหิดล 2536.
- Dengate, H. N., and Meredith, P. 1984. Wheat starch pasting measure with a minipaster. J. Cereal Sci. 5: 247-253.
- Desikacher, H. S. R., and Subrahmanyam, V. 1961. The Formation of cracks in rice grain during wetting and its effect of cooking characteristics of the cereal. Cereal chem. 38: 356-363.
- Dhaliwal, Y. S., Sekhon, K. S., and Nagi, H. P. S. 1991. Enzymatic activities and rheological properties of storage rice. Cereal Chem. 68(1): 18-21.
- Ensminger, A. H., Ensminger, M. E., Jamew, E. K., and Jonh, R. K. Robson. 1994. Food and Nutrition Encyclopedia. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press.
- Evan, I. D., and Haisman, D. R. 1982. The effect of solutes on the gelatinization temperature range of potato starch. Starch/Starke. 34: 224-231.
- Fan, J., and Marks, B. P. 1998. Retrogradation kinetics of rice flours as influenced by cultivar. Cereal Chem. 75(1): 153-155.
- Fath, A., Bethke, P. C., Beligni, V., and Jones, R. L. 2002. Active oxygen and cell death in cereal aleurone cells. Journal of Experimental Botany. 53(372): 1273-1282.
- Florentino, R. F., and Pedro, M. R. A. 1998. Update on rice fortification in the Philippines. Food and Nutrition Bulletin. 19(22): 149-153.
- Ganz, A. J. 1965. Effect of sodium chloride on the pasting of wheat starch granules. Cereal Chem. 42: 429-431.

- George, L. C., and Gessner, G. H. 1966. The Encyclopedia of Chemistry. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Gomes, A. M. M., Mendes da Silva, C. E., and Ricardo, N. M. P. S. 2005. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*Polvilho azedo*). Carbohydrate Polymers. 60:1-6.
- Grist, D. H. 1975. Rice. 5<sup>th</sup> ed. London: Longman.
- Gujral, H. S., and Kumar, V. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milling rice. Journal of Food Engineering. 59:117-121.
- Hamaker, B. R., and Griffin, V. K. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. Cereal Chem. 70: 377-380.
- Herrett, R. A., Hatfield Jr, H. H., Crosby, D. G., and Vlitos, A. J. 1962. Leaf abscission induced by the iodide ion. Plant Physiol. 37: 358-363.
- Hettiarachchy, N. S., Gnanasambandam, R., and Lee, M. H. 1996. Calcium fortification of rice: distribution and retention. Journal of Food Science. 16(1): 195-197.
- Hibi, Y. 1998. Role of water-soluble and water-insoluble carbohydrates in the gelatinization and retrogradation of rice starch. Starch/Starke. 50: 474-478.
- Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. Carbohydrate Res. 147: 342-347.
- Hizukuri, S. 1988. Recent advances in molecular structure of starch. J. Jpn. Soc Starch Sci. 35: 185-198.
- Hoffpauer, D. W. 1992. Rice enrichment for today. Cereal Food World. 37(10): 757-759.
- Hoover, R., Swamidas, G., and Vasanthan, T. 1993. Studies on the physicochemical properties of native, defatted, and heat-moisture treated pigeon pea (*Cajanus cajan* L) starch. Carbohydrate Research. 246: 185-203.
- Hoseney, R. C. 1994. Principles of Cereal Science and Technology. 2<sup>nd</sup> ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Jongkaewwattana, S., and Geng, S. 1991. Effect of nitrogen and water management on panicle development and milling quality of California rice (*Oryza sativa* L.). J. Agron & Crop. Sci. 167: 43-52.

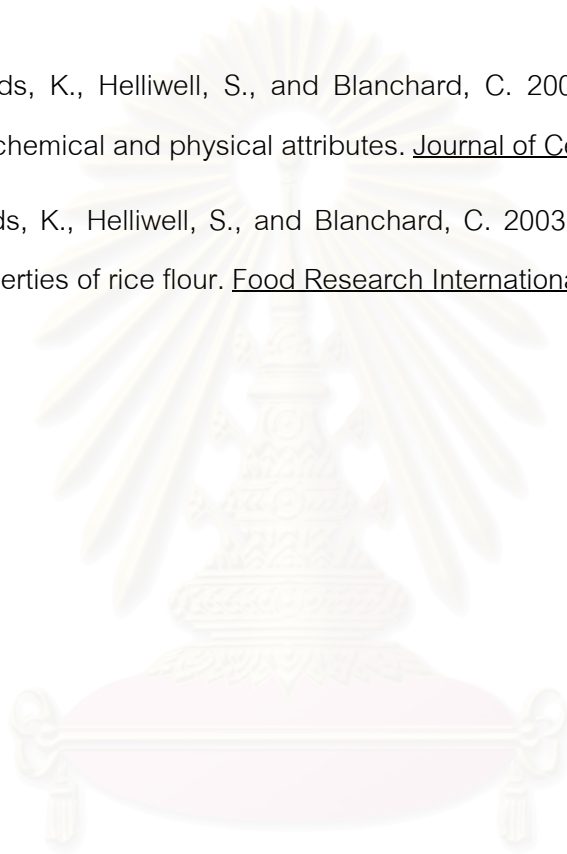
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16(10): 334-340,360.
- Juliano, B. O. 1972. In the rice caryopsis and its composition. Rice: Chemistry and Technology, pp. 16-62. In D. F. Houston, ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Juliano, B. O. 1979. The chemical basis of rice grain quality. Proceeding of the workshop on chemical aspects of rice grain quality, pp. 69-90. International Rice Research Institute, Philippines.
- Juliano, B. O. 1993. Rice in Human Nutrition. Philippines: International Rice Research Institute.
- Juliano, B. O., Onate, L. U., and Del Mundo, A. 1965. Relation of starch composition, protein content and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. Food Technology. 19: 1006-1011.
- Kawabata, A., Takase, N., Miyoshi, E., Sawayama, S., Kimura, T., Saitama, and Kudo, K. 1994. Microscopic observation and X-ray diffractometry of heat/moisture-treated starch granules. Starch/starke. 12: 463-469.
- Khush, G. S., Paule, C. M., and De La Cruz, N. M. 1974. Rice grain quality evaluation and improvement at IRRI. In Proc. Workshop on chemical respects of rice grain quality, pp. 21-31. at International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Kik, M. C. 1951. Nutritive studies of rice. Agricultural Process Engineering, pp. 401. New York: John Wiley & Sons.
- Kongseree, N., and Juliano, B. O. 1972. Physicochemical properties of rice grain and starch from lines differing in amylose content and gelatinization temperature. J. Agric. Food. Chem. 20(3): 714-718.
- Kutsky, R. J. 1981. Handbook of Vitamins, Minerals and Hormones. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature. 227: 680-685.
- Lai, H. M. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. Food Chemistry. 72: 455-463.

- Li, C. F., Chang, P. Y., and Chang, J. L. 1976. Instant Rice. Food Ind. Res. And Dev. Inst. Rept. 79. Hisnchu, Taiwan.
- Lii, C., Tomasik, P., Hung, W. L., and Lai, V. M. F. 2002. Revised look at the interaction of starch with electrolyte: effect of salts of metals from the first non-transition group. Food Hydrocolloids. 16: 35-45.
- Luh, S. B., and Mickus, R. R. 1980. Parboiled rice. In B. S. Luh (ed.) Rice: Production and Utilization, pp. 51-88. Westport, Connecticut: The AVI publishing.
- Mackowiak, C. L., and Grossl, P. R. 1992. Iodate and iodide effects on iodine uptake and partitioning in rice (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture. Plant and Soil. 212: 135-143.
- Martha, W. ed. 1983. The Merck Index an Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. 10<sup>th</sup> ed. New Jersey: Merck.
- Mazurs, E. G., Schoch, Y. J., and Kite, F. E. 1957. Graphical analysis of the Brabender viscosity curve of various starches. Cereal Chem. 34: 141-152.
- McDowell, L. R. 1992. Minerals in Animals and Human Nutrition. San Diego: Academic Press.
- Misaki, M., and Yasumatsu, K. 1985. Rice enrichment and fortification. In B. O. Juliano (ed.), Rice: Chemistry and Technology, pp. 389-401. Minnesota: American Association of cereal chemists.
- Mynet, A., and Wain, R. L. 1973. Herbicidal action of iodide: effect on chlorophyll content and photosynthesis in dwarf bean *Phaseolus vulgaris*. Weed Res. 13: 101-109.
- Nangju, D., and De Datta, S. K. 1970. Effect of time of harvest and nitrogen level on yield and grain breakage in transplanted rice. Agronomy Journal. 62: 468-474.
- Norbert, U. H., Mintus, T., and Detmold, D. W. 1995. Viscosity measurement of potato starch paste with the Rapid visco analyzer. Strach/Starke. 47: 123-126.
- Park, J. K., Kim, S. S., and Kim, K. O. 2001. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. Cereal Chem. 78(2): 151-156.
- Pauwels, B. G. W. F. H. 1961. Iodine as a micronutrient for plants. Plant Soil. 14: 377-392.

- Perdon, A. A., Marks, B. P., Siebenmorgen, T. J., and Reid, N. B. 1997. Effects of rough rice storage on pasting properties of medium-grain rice cv. Bengal. Cereal Chem. 74(6): 864-867.
- Perez, C. M., and Juliano, B. O. 1979. Indicators of eating quality for non-waxy rice. Food Chemistry. 4(3): 185-195.
- Perez, B. L. A., and Lopez, P. O. 1995. Starch and amylopectin: effect of solutes on their calorimetric behavior. Food Chemistry. 53: 243-247.
- Ranganathan, S., Reddy, V., and Ramamoorthy, P. 1996. Large-scale production of salt fortified with iodine and iron. Food and Nutrition Bulletin. 17: 73-78.
- Robin, J. P., Mercier, C., Charbonniere, R., and Guibot, J. A. 1974. Lintnerized starches, gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chem. 51: 389-460.
- Sander, J. P. M. 1996. Starch manufacturing in the world. Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Jan. 22-26 and Feb. 19-23. AIT center Bangkok.
- Singh, N., Sodhi, N. S., Kaur, M., and Saxena, S. K. 2003. Physico-chemical, morphological, thermal, cooking and textural properties of chalky and translucent rice kernels. Food Chemistry. 82: 433-439.
- Spadaro, J. J., Matthews, J., and Wadsworth, I. J. 1980. Milling in rice: Production and Utilization. NY: The AVI Publishing Company.
- Srinivas, T., Bhashyam, M. K., Mune Gowda, and Desikachar, H. S. R. 1978. Factors affecting crack formation in rice varieties during wetting and field stresses. J. Agric. Sci. 48: 424-432.
- Stark, J. R., and Lynn, A. 1992. Biochemistry of plant polysaccharides: Starch granules large and small. Biochem. Soc. Trans. 20: 7-12.
- Stute, R., and Heilbronn. 1992. Hydrothermal modification of starches: the difference between annealing and heat/moisture-treatment. Starch/Starke. 6: 205-214.
- Takeda, K., and Sasaki, T. 1986. Amylose content of rice varieties in northern Japan. RGN. 2: 65-66.
- Tester, R. F., and Debon, S. J. J. 2000. Annealing of starch—a review. International Journal of Biological Macromolecules. 27: 1-12.



- Tester, R. F., and Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches II. Waxy rice starches. Cereal chem. 67: 558-563.
- Webb, B. D., Pomeranz, Y., Afework, S., Lai, F. S., and Bollich, C. N. 1986. Rice grain hardness and its relationship to some milling, cooking, and processing characteristics. Cereal Chem. 63(1): 27-30.
- White, A., Philip, H., and Smith, L. M. 1973. Principles of Biochemistry. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill.
- 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., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. 2003. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. Food Research International. 32: 625-634.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### รายละเอียดของสารประกอบไอโอดีนที่ใช้ในการเสริมในข้าว

#### วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1. ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอมัยโลสสูง เมล็ดข้าวมีรูปร่างเรียวยาว เมื่อสุกจะมีความร่วนแข็ง ให้ผลผลิตต่อไร่สูง
2. ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอมัยโลสต่ำ เนื้อสัมผัสนุ่ม และมีกลิ่นหอม
3. ข้าวกล้อง ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง หลังจากการนำเปลือกออกแล้ว จะคัดให้มีเมล็ดข้าวหักไม่เกินร้อยละ 5

#### โพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) (อ้างอิงจาก: Martha, 1983)

Molecular weight		214.00
Component	I	59.30%
	K	18.27%
	O	22.43%
Appearance		White odorless crystal or crystal powder
Density		3.89 g/l
Melting Point		560 °C with partial decomposer
Solubility		Slowly soluble in 12 parts water, in 3.1 parts boiling water. Insoluble in alcohol.

#### โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) (อ้างอิงจาก: Martha, 1983)

Molecular weight		166.00
Component	I	76.5 %
	K	23.5 %
Appearance		White odorless crystal or crystal powder
Density		3.12 g/l
Melting Point		686 °C with partial decomposer
Solubility		Soluble in 0.7 parts water, in 0.5 parts boiling water. Soluble in alcohol.

## ภาคผนวก ข

### วิธีการวิเคราะห์

#### ข.1 ปริมาณความชื้น

ดัดแปลงจากวิธีของ AACC 44-15A (1995) แบบขั้นตอนเดียว โดยใช้ขนาดถ้วยอลูมิเนียมแตกต่างจากขนาดที่กำหนดไว้ และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้อบจาก  $130\pm 1$  องศาเซลเซียสเป็น  $100\pm 5$  องศาเซลเซียส

#### อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน WTE binder
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)

#### วิธีทดลอง

1. บดเมล็ดข้าว 30-40 กรัม แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นชั่งมา 2-3 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมซึ่งแห้งสนิท โดยนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นบันทึกน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมเปล่าเก็บไว้
2. นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที โดยเปิดฝาถ้วยอลูมิเนียม
3. นำตัวอย่างออกจากตู้อบ ปิดฝาค้วยอลูมิเนียม ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นระยะเวลา นาน 40 นาที
4. บันทึกน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง
5. นำตัวอย่างเข้าอบในตู้ต่ออีก 60 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่ โดยให้ค่าความชื้นมีความคลาดเคลื่อนได้ร้อยละ 0.2
6. บันทึกน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง แล้วหักลบด้วยน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมเปล่า จะได้น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ
7. คำนวณโดยใช้สูตร

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

## ข.2 ปริมาณโปรตีน

ดัดแปลงจากวิธีของ AACC 46-13 (1995) และคำนวณปริมาณโปรตีนโดยใช้แฟคเตอร์ 5.95 (Juliano, 1972)

### อุปกรณ์

เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Satorious รุ่น A200S

ชุดเครื่องย่อย BUCHI Digestion Unit B 324

ชุดเครื่องย่อย BUCHI Digestion Unit K 424

### สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$ , AR grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (HCl, AR grade) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade) ความเข้มข้น 40% (w/v)
4. สารละลายกรดบอริก ( $H_3BO_3$ , AR grade) เข้มข้น 4% (w/v)
5. สารเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูป Selenium reagent mixture (AR, grade)
6. เมทิลเรด-โบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ (ประกอบด้วยสารละลายเมทิลเรด 0.2% ในแอลกอฮอล์ และสารละลายโบรโมครีซอลกรีน 0.2% ในแอลกอฮอล์ ผสมกันในอัตราส่วน 5:1)

### วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1.5 กรัม ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา (Selenium reagent mixture) 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อย ซึ่งควบคุมอุณหภูมิการย่อย ที่อุณหภูมิตัวอย่างมีสีเขียวอ่อนใช้เวลาประมาณ 45 นาที
4. ทิ้งให้ Kjeldahl tube เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเตรียมขวดรูปชมพู่ เติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วนำไปรองไว้ในปลาย condenser ของชุดเครื่องกลั่น
5. นำ Kjeldahl tube ตัวอย่างไปกลั่นด้วยชุดเครื่องกลั่น ซึ่งมีการควบคุมสภาวะการกลั่น ดังนี้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 65 มิลลิลิตร กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 70 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการกลั่น 5 นาที
6. ล้างปลายหลอด condenser ด้วยน้ำกลั่น ใสลงในขวดรูปชมพู่ที่รองรับสารที่กลั่นได้แล้ว นำสารละลายที่ได้ทั้งหมด ไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ได้จุดยุติที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู



## 7. คำนวณปริมาณไนโตรเจนและโปรตีน (dry basis) จากสูตร

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณกรดเกลือที่ไตเตรต (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของกรดเกลือ (N)} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(g)}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times 5.95$$

### ข.3 ปริมาณเถ้า

ตามวิธีของ AOAC 32.1.05 (2000)

#### อุปกรณ์

เตาเผา (Muffle furnace, ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น Isotherm, USA)

#### วิธีวิเคราะห์

1. เมาถ้วยกระเบื้อง (crucible) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่าง 3 - 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่เผา และทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่
4. นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณปริมาณเถ้าจากสมการ

$$\text{ปริมาณเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

### ข.4 ปริมาณไอโอดีน

ตามวิธีของ ซุติมา อัศวเสถียร (2543)

#### หลักการ

นำตัวอย่างข้าวไปเผาในเตาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace) เพื่อย่อยสารอินทรีย์ (Organic matter) ได้ไอโอดีนอยู่ในส่วนเถ้า ทำการสกัดไอโอดีนออกมาจากเถ้าด้วยน้ำ และนำไปทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน โดยใช้หลักการที่ไอโอดีนจะเร่งปฏิกิริยาการทำลายไทโอไซยาเนตโดยไนไตรท์ ซึ่งเป็นผลให้ความเข้มข้นของ Iron (III) thiocyanate ลดลง

## อุปกรณ์

1. เตาเผา (Fisher Scientific Isotemp Muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain crucibles) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตรพร้อมฝาปิด
3. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge, KUBOTA 5200)
4. เครื่องผสมสารเคมี (Thermolyne type 37600 mixer/vortex)
5. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย (UV-Visible 240 Shimadzu Spectrophotometer)

## สารเคมีที่ใช้และการเตรียม

1. สารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $K_2CO_3$ , AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต 30 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $ZnSO_4$ , AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดย ละลายซิงค์ซัลเฟต 10 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. สารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต ( $KSCN$ , AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต 0.23 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

4. สารละลายโซเดียมไนไตรท์ ( $NaNO_2$ , AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 2.07 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดย ละลายโซเดียมไนไตรท์ 2.07 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตรและไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 วัน

5. สารละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต ( $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , AR grade) เตรียมโดย ละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต 77 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริก ( $HNO_3$ , AR grade) เข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.42) ปริมาตร  $167 \pm 1$  มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน

## การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร เตรียมโดยใช้สารโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่อบแห้ง ( $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง) และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (ประมาณ 45 นาที) จำนวน 0.5232 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

2. การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยใช้สารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 4 กรัม ต่อลิตร ที่เตรียมไว้มา 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

3. การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรเตรียมโดยใช้สารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 40 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่เตรียมไว้มา 5 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อป้องกันแสงและไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

### การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานเพื่อใช้เป็น Working Standard

เตรียมโดยปิเปตสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรมา 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าขวดปริมาตรให้สารละลายเข้ากันจะได้สารไอโอดีนมีความเข้มข้น 0, 4, 8, 12 และ 16 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสง และไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

### ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหาร

#### ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอาหาร

1. ชั่งตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดแล้ว 1 กรัม ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ตัวอย่างอาหารไม่ควรมีไอโอดีนเกิน 1 ไมโครกรัมต่อกรัม) ในถ้วยกระเบื้อง

2. เติมสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 30 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตร และสารละลายซิงค์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตรในตัวอย่างอาหาร ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างอาหารให้เข้ากันกับสารละลาย แล้วใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตรน้อยที่สุดล้างสารละลายที่ติดอยู่บนแท่งแก้วลงในถ้วยกระเบื้อง

3. นำตัวอย่างอาหารในถ้วยกระเบื้องเข้าอบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง

4. นำตัวอย่างอาหารออกจากตู้อบ แล้วนำไปเผาไล่ควันในตู้ดูดอากาศ จนไม่มีควัน จากนั้นปิดด้วยฝาปิดด้วยกระเบื้อง นำตัวอย่างอาหารเข้าเตาเผาเริ่มจากอุณหภูมิห้อง จนถึง 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที เริ่มจับเวลาในการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หลังจาก

นั้น ปิดฝาและปล่อยให้ตัวอย่างไว้ในเตาเผาอีกประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างออกมาทำให้เย็นที่ อุณหภูมิห้อง

5. เติมซิงค์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตร ในตัวอย่าง อาหารที่เผามาแล้ว 1 ครั้ง และใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างอาหารให้เข้ากับสารละลาย ล้างสารละลายที่ติด อยู่บนแท่งแก้วลงในถ้วยกระเบื้องด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาณน้อยที่สุด นำตัวอย่างอาหาร เข้าที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส และเผาอีกจนได้เถ้าที่สมบูรณ์

6. นำตัวอย่างเถ้าที่สมบูรณ์มาล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตร  $50 \pm 0.5$  มิลลิลิตร คนเถ้าให้ละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออนมากที่สุด แล้วเทใส่หลอดสำหรับเหวี่ยงแยกสาร จากนั้น นำสารละลายเถ้าไปเหวี่ยงแยกที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายตัวอย่างไป วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

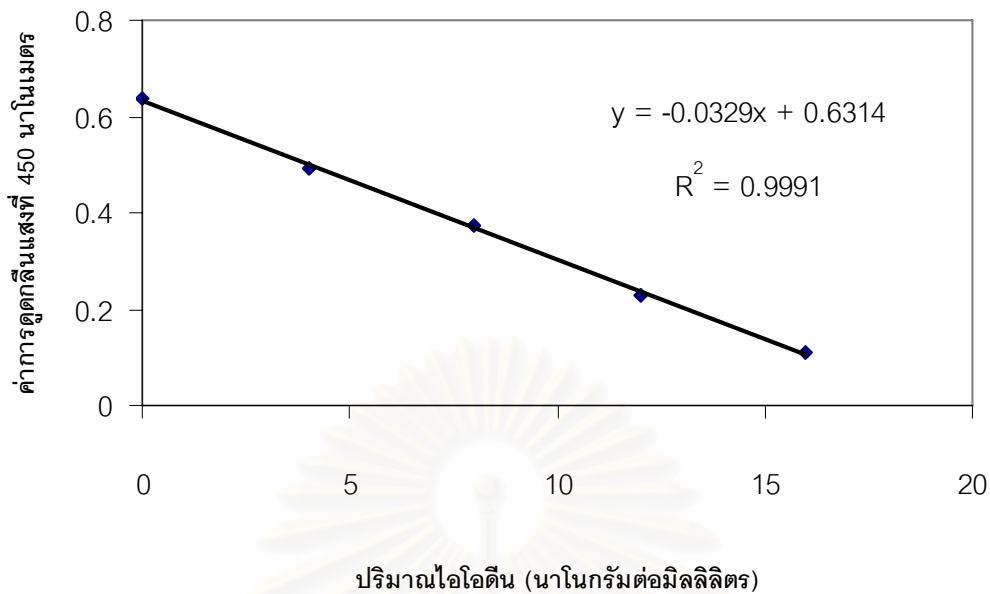
### ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำสารละลายส่วนใสด้านบนของสารละลายเถ้า สารละลายไอโอดีนมาตรฐาน และ สารละลาย Blank มาอย่างละ 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร สารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต 1 มิลลิลิตร และสารละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex

2. นำสารละลายแต่ละหลอดมาเติมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ หลอดละ 1 มิลลิลิตรโดยเว้น ระยะเวลาในการเติมโซเดียมไนไตรท์แต่ละหลอดให้เท่ากันคือ 30 วินาทีต่อการเติมโซเดียมไนไตรท์แต่ ละหลอด เมื่อเติมโซเดียมไนไตรท์แล้วให้ผสมสารละลายและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที เมื่อครบ 20 นาที ต้อง ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละหลอดทันที

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร และเว้นระยะเวลาในการอ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแต่ละหลอดให้ห่างกัน 30 วินาที บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแต่ละหลอดที่อ่านได้

4. นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นที่แน่นของสารละลายมาตรฐาน ที่ได้จากการ วิเคราะห์แต่ละครั้งมาสร้างกราฟมาตรฐาน แสดงในรูปที่ ข.1 และนำค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลายตัวอย่างมาเทียบหาความเข้มข้นของไอโอดีน (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) ต่อไป



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าที่เฉลี่ยที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง 2 ครั้ง)

### การคำนวณปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหาร

ปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหาร (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม)  $=[(C-B) \times 5] / W$

เมื่อ C = ปริมาณไอโอดีนในสารละลายตัวอย่างอาหาร (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร)

ที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน หรือคำนวณจาก

$$C = [(Y\text{-intercept}) - OD_{450}] \text{slope}$$

Y-intercept = ค่าการดูดกลืนแสงที่จุดตัดแกน Y (ng/ml)

$OD_{450}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง (ng/ml)

Slope =  $\frac{\text{ผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงในแนวแกน Y}}{\text{ผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงในแนวแกน X}}$

B = ค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในสารละลาย Blank (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร)



5 = ตัวคูณที่ได้จากการใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

W = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร (กรัม)

### ข้อแนะนำในการวิเคราะห์ไอโอดีน

1. น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ดังนั้น ก่อนจะวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารชนิดใดก็ตาม ควรทราบปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหารชนิดนั้นอย่างคร่าว ๆ ก่อน ถ้าไม่ทราบควรลองสุ่มน้ำหนักตัวอย่างจากอาหารชนิดนั้น ๆ ในหลาย ๆ ระดับ เพื่อหาน้ำหนักของตัวอย่างที่เหมาะสม และสามารถอ่านค่าการดูดกลืนแสงในช่วงที่เหมาะสมจากเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงได้

2. น้ำกลั่นที่ใช้เป็นน้ำกลั่นชนิดปราศจากไอออน (deionized water) เพื่อลดการรบกวนของประจุต่างๆ ในสารละลายที่ใช้ และสารละลายที่ใช้ และสารละลายตัวอย่างซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างได้

### ข.5 ปริมาณอัมัยโลส

ดัดแปลงจาก Iodine method ของ Juliano (1971) ตามวิธีของ งามชื่น คงเสรี (2542)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) JASCO รุ่น V-530
2. เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
3. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Satorious รุ่น A 200S

#### สารเคมี

1. เอธิลแอลกอฮอล์ 95%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{OH}$ , AR grade) ความเข้มข้น 2 นอร์มัล
3. กรดกลูเซอิกอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , AR grade) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล
4. อัมัยโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Standard potato amylose) ของบริษัท Sigma Chemical
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยสารละลายไอโอดีน ( $\text{I}_2$ ) 0.2000 g และโพแทสเซียมไอโอไดด์ ( $\text{KI}$ ) 2.0000g ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

## วิธีวิเคราะห์

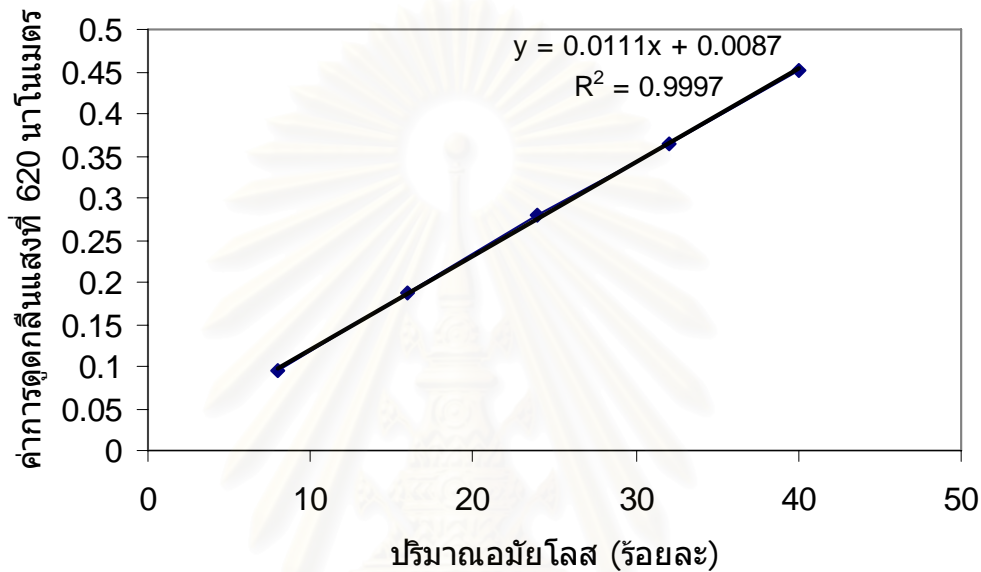
1. บดเมล็ดข้าวให้เป็นแป้ง ชั่งแป้งมา 0.1000 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่แห้งสนิท
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ แล้วเติมสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ปั่นผสมตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นระยะเวลา 10 นาที
3. เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร แล้วถ่ายสารละลายจากขวดรูปชมพู่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยพยายามชะล้างน้ำแป้งจากขวดรูปชมพู่ให้หมด แล้วปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร
4. เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรขวดใหม่ เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร กรดเกลืออะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
5. ควบน้ำแป้งตาม ข้อ 3 ปริมาตร 5 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาตรที่เตรียมไว้ในข้อ 4 แล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (ศูนย์)
7. ทำ blank โดยเติมกรดเกลืออะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มัลปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
8. นำค่าการดูดกลืนแสงไปหาปริมาณ (ร้อยละ) อมัยโลส โดยเทียบจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

## การสร้างกราฟมาตรฐาน

- (1) ชั่งอมัยโลสบริสุทธิ์ 0.04000 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่แห้งสนิท แล้วดำเนินการเช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ในตัวอย่างข้อ 2-3 เป็นสารละลายมาตรฐาน
- (2) เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลืออะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ในขวดที่ 2 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตรในขวดที่ 3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตรในขวดที่ 4 และปริมาตร 2 มิลลิลิตรในขวดที่ 5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีนขวดละ 2 มิลลิลิตร
- (3) ควบสารละลายมาตรฐานในข้อ 1 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณ

อภัยโลสร้อยละ 8 16 24 32 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ (2) เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร หลังจากปรับเครื่องด้วย Blank

(4) นำค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณอภัยโลสในสารละลายมาตรฐาน มาเขียนกราฟมาตรฐาน แสดงในรูป ข.2



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอภัยโลส (ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทำ 2 ซ้ำ)

#### ข.6 การเกิดเจลาตินในเซชัน และสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

ตามวิธีของ Norbert และคณะ (1995)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (ยี่ห้อ Newport Scientific รุ่น 4D, Australia) พร้อมด้วยภาชนะ RVA (can) อะลูมิเนียมที่มีใบพัด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับควบคุมเครื่อง RVA

##### วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ควบคุม RVA โดยเลือกเงื่อนไข profile ป้อนลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้งชื่อไฟล์ แล้วบันทึกไว้ โดยเลือกเงื่อนไข ดังนี้

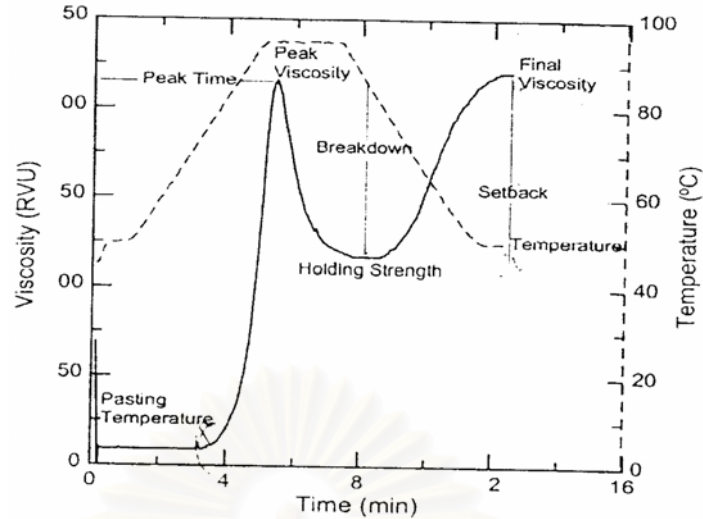
- Temperature profile
1. ให้ความร้อนที่  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1.25 นาที
  2. ให้ความร้อนที่  $50 - 95^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตราเร็ว  $12^{\circ}\text{C}/\text{min}$  (เป็นเวลา 3.75 นาที)
  3. ให้ความร้อนที่  $95^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2.50 นาที
  4. ให้ความร้อนที่  $50 - 95^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตราเร็ว  $12^{\circ}\text{C}/\text{min}$  (เป็นเวลา 3.75 นาที)
  5. ให้ความร้อนที่  $95^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1.25 นาที

ควบคุมความเร็วรอบในการกวนของมอเตอร์ให้เท่ากับ 160 รอบ/นาที

3. ตวงน้ำปริมาตร  $25.00 \pm 0.1$  มิลลิลิตร ใส่ลงใน can
4. ชั่งตัวอย่าง 3.0 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ลงใน can ที่มีน้ำอยู่แล้ว
5. ใส่ใบพัดกวนลงใน can หมุนใบพัดกวนไป-มาแรงๆ และดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับเป็นก้อนที่ผิวน้ำ หรือติดที่ใบพัดกวนให้ทำซ้ำอีกครั้ง
6. นำ can ที่ใส่ใบพัดกวนไว้แล้ว สอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้ RVA ทำงาน หลังจากเครื่องหยุดการทำงานแล้ว นำ can ออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ (หน่วย RVU หรือ cP) ดังนี้ รูป ก.3

1. Peak viscosity (ความหนืดสูงสุด) มีหน่วยเป็น cP
2. Trough (ความหนืดต่ำสุด) มีหน่วยเป็น cP
3. Breakdown (ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด) มีหน่วยเป็น cP
4. Final temperature มีหน่วยเป็น cP
5. Setback (ผลต่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด) มีหน่วยเป็น cP
6. Pasting temperature (อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีความหนืดเพิ่มขึ้น 22 cP ในเวลา 20 วินาที) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างของกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของสตาร์ชด้วย RVA

### ข.7 การดูดซับน้ำและน้ำมัน

ตามวิธีของ Adebowale และ Lawal (2004)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge, KUBOTA 5200)
2. เครื่องผสมสารเคมี (Thermolyne type 37600 mixer/vortex)
3. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Satorious รุ่น A200S

#### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างบดละเอียด 1.0000 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ผสมกับน้ำกลั่นหรือน้ำมัน 10 มิลลิลิตร นาน 30 วินาที ด้วยเครื่องผสมสารเคมี
2. ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ( $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) นาน 30 นาที
3. เหวี่ยงแยกด้วยความเร็ว 5000g นาน 30 นาที
4. รินส่วนใสทิ้ง
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังเหวี่ยงแยก
6. คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำหรือน้ำมัน (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเหวี่ยงแยก} - \text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$



## ข.8 เนื้อสัมผัสของข้าวสุก

ดัดแปลงจากวิธีของ Gujral และ Kumar (2003)

### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-TX2 Texture Analyzer)
2. หัวกดชนิด P6 รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
3. หม้อหุงข้าวไฟฟ้า

### การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งข้าวและน้ำ โดยใช้อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ คือ 1 ต่อ 1.6 สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และ 1 ต่อ 2.4 สำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท1 (โดยน้ำหนัก) ใส่ในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า หุงจนเสร็จ
2. พักข้าวจนมีอุณหภูมิห้องโดยปิดภาชนะด้วยผ้าขาวบางชุบน้ำป้องกันสูญเสียความชื้น

### ขั้นตอนการวัดเนื้อสัมผัส

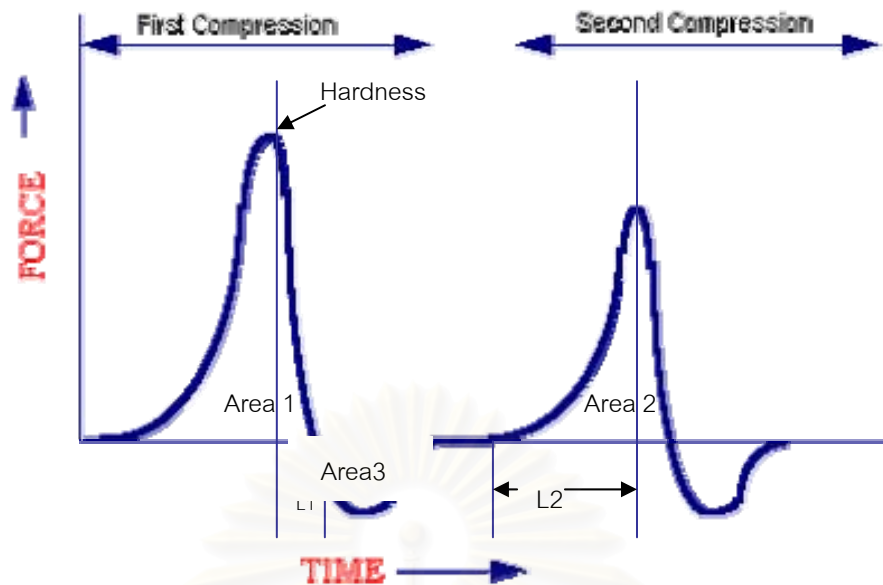
1. หลังจาก calibrate เครื่องวัดเนื้อสัมผัส และหัวกดแล้ว วางเมล็ดข้าวสุกที่กลางฐานรองรับ

หัวกด

2. สภาวะที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัส มีดังนี้

Mode	:	Measure force in Compression
Option	:	Return to start
Pretest speed	:	1.0 mm/s
Test speed	:	1.0 mm/s
Post-test speed	:	1.0 mm/s
Strain	:	60 %
Trigger force	:	0.05 N

3. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยทำการคำนวณค่าดัชนี hardness, cohesiveness, adhesiveness และ springiness โดย texture profile แสดงดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 Texture Profile ของการวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวหุงสุก

Hardness คือ Peak force ของการกดตัวอย่างครั้งแรก เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งของตัวอย่าง

Cohesiveness คือ พื้นที่ของกราฟ (งาน) ของการกดครั้งที่ 2 หารด้วยพื้นที่กราฟของการกดครั้งแรก ( $Area2/Area1$ ) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการทนต่อการเสียรูปทรงในการกดครั้งที่ 2 เทียบกับการกดครั้งแรก

Adhesiveness คือ พื้นที่ของกราฟของแรงต้านการถอนของการกดครั้งแรก ( $Area3$ ) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเกาะติดกับพื้นผิวของฐานรองตัวอย่าง

Springiness คือ ระยะเวลาหรือระยะทางที่ใช้ในการกดครั้งที่ 2 จนถึงจุดสูงสุดของกราฟหารด้วยระยะเวลาหรือระยะทางของการกดครั้งที่ 1 ( $L2/L1$ ) ซึ่งเป็นความสามารถในการคืนตัวกลับหลังจากถูกทำให้เสียรูปในการกดครั้งแรก

## ข.9 Scanning Electron Microscopy (SEM)

ตามวิธีของ Brisibe และคณะ (1992)

### อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
2. เครื่องฉาบทอง (ion sputter)
3. เครื่องทำแห้ง (Critical point dried samples; CPD)

### การเตรียมตัวอย่าง

1. แช่ตัวอย่างใน ethanol 30% เป็นเวลา 30 นาที

2. ถ่ายตัวอย่างลงใน ethanol ที่ความเข้มข้น 50 70 90 และ 100% แขนะดับละ 30 นาทีต่อครั้ง โดยแขนะดับสุดท้าย 4 ครั้ง
3. นำไปทำแห้งด้วยเครื่อง CPD
4. หักตัวอย่างที่แห้งแล้วตามขวางเพื่อนำไปดูด้วยกล้อง SEM ต่อไป

#### วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างที่แห้งแล้วมาติดบน stub โดยใช้ก๊วยตาเคลือบเล็บ
2. ฉาบด้วยทองคำหนา 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V sputter coater
3. ศึกษาพร้อมบันทึกภาพของตัวอย่างด้วย SEM

#### ข.10 SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE)

ตามวิธีของ Laemmli (1970)

#### หลักการ

วิธีนี้จะจำแนกโปรตีนตามน้ำหนักโมเลกุล โดย SDS จะจับกับส่วน hydrophobic ของโปรตีน, ทำลายโครงสร้างของโปรตีน และอยู่ในสารละลายในลักษณะที่แผ่ขยาย ส่งผลให้ความยาวของสารประกอบ SDS-protein เป็นสัดส่วนกับน้ำหนักโมเลกุล SDS มีประจุลบมากทำให้กำจัดความแตกต่างของประจุของโปรตีน ดังนั้นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะเคลื่อนที่ใน separating gel ได้ช้า ขณะที่โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า

#### อุปกรณ์

1. Hoefer electrophoresis model SE600
2. Power supply (200V, 500mA)
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ.
4. เครื่องเหวี่ยงแยก
5. Gel dyer
6. micropipette

#### สารเคมี

1. Acrylamide, electrophoresis grade
2. Bis-acrylamide (*N,N'*-methylenebisacrylamide)
3. Tris (2-hydroxymethyl-2-methyl-1,3-propanediol)
4. SDS (sodium dodecyl sulfate or sodium lauryl sulfate)
5. TEMED (*N,N,N',N'*-tetramethylene-ethylenediamine)
6. Ammonium persulfate

7. 2-mercaptoethanol
8. Glycine
9. Bromophenol blue
10. Glycerol
11. Hydrochloric acid
12. Dithiothreitol (DTT)

### วิธีการวิเคราะห์

นำโปรตีนตัวอย่างมาทำการศึกษารูปแบบโปรตีนด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟเรซิส (SDS-PAGE) ตามวิธีของ Laemmli (1970) นำสารละลายโปรตีน (10 ไมโครกรัม) มา loaded บน 12.5 % SDS-PAGE slab gel (16 x 20 ซม.) และ 4 % stacking gel ทำการ electrophoresed ที่ 35 มิลลิแอมแปร์ต่อ 1 เจล เป็นเวลา 8 ชม. ด้วยเครื่อง Hoefer electrophoresis model SE600 (Amersham Pharmacia Biotech, San Francisco, CA) จนกระทั่งสีของ Bromophenol blue เคลื่อนไปจนเกือบสุดความยาวของเจล จากนั้นแกะเจลออกจากกระจก ใส่เจลลงในกล่องพลาสติกเพื่อย้อมเจลด้วย Coomassie blue R-250 ร้อยละ 0.1 ที่ละลายใน methanol ร้อยละ 40 และ acetic acid ร้อยละ 5 และล้างเจลใน methanol ร้อยละ 40 และ acetic acid ร้อยละ 5 ใช้ SDS-PAGE Standards, broad range (Bio-Rad, Richmond, CA) เป็น molecular weight marker จากนั้นถ่ายรูปเจลด้วย Kodak DC120 digital camera และวิเคราะห์รูปแบบโปรตีนด้วย Kodak Digital Science 1D Image Analysis Software (Kodak, Rochester, NY)

### ข. 11 การเตรียมสารละลายไอโอดีนที่ใช้เสริมในข้าวโดยการแช่ และการทำข้าวหนึ่งสารเคมี

1. โฟแทสเซียมไอโอไดด์ (มีไอโอดีนร้อยละ 76.5)
2. โฟแทสเซียมไอโอเดต (มีไอโอดีนร้อยละ 59.3)

#### วิธีการเตรียม

1. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์คำนวณดังนี้

$$\text{โพแทสเซียมไอโอไดด์ (mg)} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่ต้องการ}(\mu\text{g iodine}/100\text{g}) \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)} \times 100}{1000} \quad 76.5$$

2. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตคำนวณดังนี้

$$\text{โพแทสเซียมไอโอเดต (mg)} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่ต้องการ}(\mu\text{g iodine}/100\text{g}) \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)} \times 100}{1000} \quad 59.3$$

3. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์และโพแทสเซียมไอโอเดตร่วมกันในอัตราส่วน ปริมาณไอโอดีนคือ 1ต่อ1 จะใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 1และ2 แต่ลดความเข้มข้นที่ต้องการลด กิ่งหนึ่ง และนำสารประกอบทั้ง 2 ตามน้ำหนักที่คำนวณได้มาละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออนใน สัดส่วนข้าวต่อน้ำ1ต่อ1.5



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS				
	df	ความชื้น	โปรตีน	อมัยโลส	เถ้า
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	1	0.03	0.08	0.04	0.001
พันธุ์(B)	1	12.83**	9.35**	790.45**	0.004
A*B	1	0.80	0.26	0.09	0.001
error	12	0.58	0.10	0.44	0.003

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนในข้าวสารและในรำของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS		
	df	ไอโอดีนในข้าวสาร	ไอโอดีนในรำ
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	1	15.13*	208.00**
พันธุ์(B)	1	7.29	3.28
A*B	1	0.12	116.11*
error	12	1.91	12.78

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

**ตารางที่ ค.3** การวิเคราะห์ความแปรปรวนความแข็งของเมล็ด และปริมาณข้าวตันของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS		
	df	ความแข็งของเมล็ด	ปริมาณข้าวตัน
การจัดการธาตุไนโตรเจน(A)	1	5.19*	12.83
พันธุ์(B)	1	118.22**	239.24*
A*B	1	0.02	0.80
error	12	6.01	48.22

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

**ตารางที่ ค.4** การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pasting temperature และ peak viscosity ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไนโตรเจนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS		
	df	pasting temperature	peak viscosity
การจัดการธาตุไนโตรเจน(A)	1	0.32	702.25
พันธุ์(B)	1	141.31**	452256.25**
A*B	1	1.92*	2126.25
error	12	0.40	20522.58

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า breakdown และ setback ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS		
	df	Breakdown	Setback
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	1	0.56	784.00
พันธุ์(B)	1	1404817.56**	1122540.25**
A*B	1	770.06	1122.25
error	12	7750.15	3564.71

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS		
	df	ค่าการดูดซับน้ำ	ค่าการดูดซับน้ำมัน
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	1	0.069*	0.000
พันธุ์(B)	1	0.069*	0.016
A*B	1	0.014	0.003
error	12	0.013	0.005

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ศูนย์วิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า hardness และ cohesiveness ที่ได้จากเครื่อง texture analyzer ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS		
	df	hardness	cohesiveness
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	1	1635.19	0.000
พันธุ์(B)	1	8680.18*	2.500E <sup>-0.5</sup>
A*B	1	453.16	0.000
error	12	1009.11	0.000

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า adhesiveness และ springiness ที่ได้จากเครื่อง texture analyzer ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

Source	MS		
	df	adhesiveness	springiness
การจัดการธาตุไอโอดีน(A)	1	0.001	0.002
พันธุ์(B)	1	1897.038**	0.008
A*B	1	2.161	0.001
error	12	3.749	0.002

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนของข้าวที่แช่ในสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น และระยะเวลาแตกต่างกัน

Source	MS	
	df	ปริมาณไอโอดีน
ความเข้มข้น(A)	2	127.95**
ระยะเวลา(B)	2	473.56**
A*B	4	20.27
error	9	9.15

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือโพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS				
	df	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
ชนิดของข้าว	4	3.190*	0.042*	1.390	0.001
error	10	0.401	0.008	1.432	0.002

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และในรำของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	ไอโอดีนในข้าวสาร	ไอโอดีนในรำ
ชนิดของข้าว	4	2535.16*	2892.18*
error	10	34.30	7.82

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pasting temperature และ peak viscosity ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	Pasting temperature	Peak viscosity
ชนิดของข้าว	4	93.79*	305922.90*
error	10	1.31	3141.33

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า breakdown และ setback ที่ได้จากเครื่อง RVA ของ ข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	Breakdown	Setback
ชนิดของข้าว	4	258601.57*	948544.73*
error	10	4941.47	13907.27

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการดูดซับน้ำ และน้ำมันของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	ค่าการดูดซับน้ำ	ค่าการดูดซับน้ำมัน
ชนิดของข้าว	4	0.002	0.000
error	10	0.001	0.001

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ ค.15** การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS				
	df	ความชื้น	โปรตีน	อมัยโลส	เถ้า
ชนิดของข้าว	4	1.950*	0.021	1.746	0.001
error	10	0.451	0.100	1.110	0.003

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

**ตารางที่ ค.16** การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร และในรำของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	ไอโอดีนในข้าวสาร	ไอโอดีนในรำ
ชนิดของข้าว	4	6595.89*	2985.98*
error	10	4.08	0.96

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ค.17** การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pasting temperature และ peak viscosity ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	pasting temperature	peak viscosity
ชนิดของข้าว	4	150.94*	1310930.00*
error	10	0.14	2036.53

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า breakdown และ setback ที่ได้จากเครื่อง RVA ของข้าว  
หนึ่งเสริมไอโอดีด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	breakdown	setback
ชนิดของข้าว	4	302069.77*	213423.07*
error	10	216.47	3075.73

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการดูดซับน้ำ และน้ำมันของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีด้วย  
สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

Source	MS		
	df	ค่าการดูดซับน้ำ	ค่าการดูดซับน้ำมัน
ชนิดของข้าว	4	0.221*	0.001
error	10	0.001	0.000

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีในข้าวเสริมไอโอดีก่อน และหลังการทำ  
ไดแอลลีซิส

Source	MS	
	df	ไอโอดี
ชนิดข้าวเสริมไอโอดี(A)	7	5283.53**
การทำไดแอลลีซิส(B)	1	1051.09**
A*B	7	72.42*
error	15	24.38

\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ภาคผนวก ง

รายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

ตารางที่ ง.1 ร้อยละของความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของตัวอย่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ปัจจัย		สมบัติทางเคมี <sup>1</sup>			
		%ความชื้น (wet basis)	%โปรตีน (dry basis)	%อมัยโลส (dry basis)	%เถ้า (dry basis)
ข้าวชัยนาท 1	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอโอดีน	11.78±0.37	9.27±0.19	30.13±0.43	0.55±0.04
	ได้รับการจัดการ ธาตุไอโอดีน	12.14±0.31	9.37±0.17	30.37±0.24	0.52±0.02
ข้าวขาวดอก มะลิ 105	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอโอดีน	14.02±0.35	8.19±0.14	16.22±0.17	0.51±0.01
	ได้รับการจัดการ ธาตุไอโอดีน	13.49±0.47	7.85±0.12	16.17±0.41	0.51±0.02

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 4 ซ้ำ

ตารางที่ ง.2 ปริมาณไอน์ไอโอดีในข้าวสาร และปริมาณไอน์ไอโอดีในรำของตัวอย่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอน์ไอโอดีในแปลงเพาะปลูก

ปัจจัย		สมบัติทางเคมี <sup>1</sup>	
		ปริมาณไอน์ไอโอดีในข้าวสาร (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)	ปริมาณไอน์ไอโอดีในรำ (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)
ข้าวชัยนาท 1	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอน์ไอโอดี	6.90±0.42	32.78±3.27
	ได้รับการจัดการธาตุ ไอน์ไอโอดี	9.03±0.18	30.96±0.93
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอน์ไอโอดี	8.43±0.71	37.27±0.82
	ได้รับการจัดการธาตุ ไอน์ไอโอดี	10.21±1.09	24.67±0.71

(<sup>1</sup>)ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 4 ซ้ำ

ตารางที่ ง.3 ความแข็งของเมล็ด และปริมาณข้าวต้นของตัวอย่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอน์ไอโอดีในแปลงเพาะปลูก

ปัจจัย		สมบัติทางกายภาพ <sup>1</sup>	
		ความแข็งของเมล็ด (N/cm <sup>2</sup> )	ปริมาณข้าวต้น (ร้อยละ)
ข้าวชัยนาท 1	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอน์ไอโอดี	64.78±1.16	59.89±1.23
	ได้รับการจัดการ ธาตุไอน์ไอโอดี	67.40±0.83	58.58±1.25
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอน์ไอโอดี	51.28±1.77	49.06±4.33
	ได้รับการจัดการ ธาตุไอน์ไอโอดี	54.25±1.38	53.95±4.96

(<sup>1</sup>)ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 4 ซ้ำ



ตารางที่ ง.4 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลอร์ที่ได้จากข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ปัจจัย		สมบัติเพสติง <sup>1</sup>			
		pasting temperature (°C)	peak viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback (cP)
ข้าวชัยนาท 1	ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	77.69±0.20	2724±55	818±22	1675±34
	ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	77.30±0.20	2761±42	831±31	1930±46
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	71.08±0.57	3084±30	1424±18	1162±10
	ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	72.05±0.00	3074±122	1410±78	1131±16

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 4 ซ้ำ

ตารางที่ ง.5 ค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันในตัวอย่างข้าวที่ได้รับ และไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ปัจจัย		สมบัติเชิงหน้าที่ <sup>1)</sup>	
		ค่าการดูดซับน้ำ (g/g)	ค่าการดูดซับน้ำมัน (g/g)
ชัณษาท 1	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอโอดีน	1.20±0.09	0.91±0.02
	ได้รับการจัดการธาตุ ไอโอดีน	1.27±0.06	0.93±0.03
ขาวดอกมะลิ 105	ไม่ได้รับการจัดการ ธาตุไอโอดีน	1.27±0.04	0.88±0.02
	ได้รับการจัดการธาตุ ไอโอดีน	1.46±0.08	0.84±0.06

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 4 ซ้ำ

ตารางที่ ง.6 ค่า hardness, cohesiveness, adhesiveness และ springiness ของข้าวที่ได้รับและไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนในแปลงเพาะปลูก

ปัจจัย		สมบัติเนื้อสัมผัส <sup>1</sup>			
		hardness (g)	cohesiveness	adhesiveness, (g.s)	springiness
ชัณหาท 1	ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	306.92±11.67	0.39±0.01	4.23±0.27	0.78±0.01
	ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	337.79±18.45	0.40±0.01	4.94±0.48	0.74±0.01
ข้าวดอกมะลิ 105	ไม่ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	364.15±12.89	0.39±0.01	26.74±1.48	0.72±0.02
	ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีน	373.73±19.14	0.40±0.01	25.99±1.23	0.71±0.04

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 4 ซ้ำ

ตารางที่ ง.7 ร้อยละของความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติทางเคมี <sup>1</sup>			
	%ความชื้น (wet basis)	%โปรตีน (dry basis)	%ไขมัน (dry basis)	%เถ้า (dry basis)
ข้าวสารปกติ	10.76±0.13	9.25±0.03	30.25±0.53	0.60±0.03
ตัวอย่างควบคุม	8.29±0.35	9.53±0.04	31.25±0.40	0.62±0.01
ข้าวแช่ KIO <sub>3</sub>	8.81±0.51	9.54±0.09	31.18±0.10	0.59±0.04
ข้าวแช่ KI	8.78±0.47	9.51±0.01	29.70±1.35	0.58±0.02
ข้าวแช่ KI+KIO <sub>3</sub>	8.24±0.22	9.46±0.05	31.07±0.32	0.57±0.02

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

**ตารางที่ ๘.8** สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลัวร์จากข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติเพสติง <sup>1</sup>			
	pasting temperature (°C)	peak viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback (cP)
ข้าวสารปกติ	79.59±1.18	2748±32	826±25	1644±134
ตัวอย่างควบคุม	85.47±0.46	2296±18	454±4	734±33
ข้าวแช่ KIO <sub>3</sub>	84.95±0.68	2331±14	457±4	665±122
ข้าวแช่ KI	84.95±0.26	2334±29	476±14	804±48
ข้าวแช่ KI+ KIO <sub>3</sub>	84.95±0.22	2391±54	494±16	828±33
LSD(0.05)	2.08	101	47	272

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

**ตารางที่ ๘.9** การดูดซับน้ำและน้ำมันของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแช่ในสารละลายที่เตรียมจากสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติเชิงหน้าที่ <sup>1</sup>	
	ค่าการดูดซับน้ำ (g/g)	ค่าการดูดซับน้ำมัน (g/g)
ข้าวสารปกติ	1.24±0.02	0.91±0.02
ตัวอย่างควบคุม	1.28±0.01	0.90±0.01
ข้าวแช่ KIO <sub>3</sub>	1.22±0.02	0.93±0.01
ข้าวแช่ KI	1.27±0.02	0.90±0.02
ข้าวแช่ KI+ KIO <sub>3</sub>	1.25±0.02	0.92±0.02

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

ตารางที่ ง.10 ร้อยละของความชื้น โปรตีน อมัยโลส และเถ้าของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยการใส่สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติทางเคมี <sup>1</sup>			
	%ความชื้น (wet basis)	%โปรตีน (dry basis)	%อมัยโลส (dry basis)	%เถ้า (dry basis)
ข้าวสารปกติ	11.56±0.52	9.34±0.06	29.56±0.80	0.59±0.04
ตัวอย่างควบคุม	9.82±0.37	9.51±0.14	28.44±0.37	0.62±0.04
ข้าวหนึ่งเสริม KIO <sub>3</sub>	9.65±0.07	9.50±0.26	29.30±0.53	0.57±0.03
ข้าวหนึ่งเสริม KI	9.68±0.38	9.54±0.20	28.00±0.75	0.59±0.02
ข้าวหนึ่งเสริม KI+ KIO <sub>3</sub>	9.99±0.43	9.53±0.19	29.78±0.47	0.63±0.01

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

ตารางที่ ง.11 สมบัติเพสติงของข้าวที่วัดด้วยเครื่อง RVA โดยใช้ตัวอย่างแบ่งฟลัวร์จากข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยการใส่สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติเพสติง <sup>1</sup>			
	pasting temperature (°C)	peak viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback, (cP)
ข้าวสารปกติ	79.05±0.20	2755±35	839±14	1664±12
ตัวอย่างควบคุม	94.97±0.19	1273±19	126±4	1062±18
ข้าวหนึ่งเสริม KIO <sub>3</sub>	95.02±0.22	1286±13	130±9	1089±21
ข้าวหนึ่งเสริม KI	95.08±0.17	1223±36	122±7	1030±61
ข้าวหนึ่งเสริม KI+KIO <sub>3</sub>	94.55±0.28	1335±19	138±5	1102±21
LSD(0.05)	0.68	82	27	101

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

ตารางที่ ง.12 การดูดซับน้ำและน้ำมันของข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้สารประกอบโพแทสเซียม  
ไอโอเดต และ/หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวอย่าง	สมบัติเชิงหน้าที่ <sup>(1)</sup>	
	ค่าการดูดซับน้ำ (g/g)	ค่าการดูดซับน้ำมัน (g/g)
ข้าวสารปกติ	1.25±0.01	0.90±0.02
ตัวอย่างควบคุม	1.84±0.01	0.88±0.01
ข้าวหนึ่งเสริม KIO <sub>3</sub>	1.85±0.01	0.89±0.01
ข้าวหนึ่งเสริม KI	1.90±0.03	0.89±0.01
ข้าวหนึ่งเสริม KI+ KIO <sub>3</sub>	1.79±0.02	0.93±0.02

<sup>(1)</sup>ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ



ตารางที่ ง.13 ปริมาณไอโอดีนก่อนและหลังการทำไดแอลลีซิสของข้าวเสริมไอโอดีน

ปัจจัย		ปริมาณไอโอดีน <sup>1</sup> (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)
ข้าวสารปกติ	ก่อนไดแอลลีซิส	5.84 ±0.86
	หลังไดแอลลีซิส	5.64 ±0.08
เสริมโดยการแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์	ก่อนไดแอลลีซิส	67.16 ±7.75
	หลังไดแอลลีซิส	47.06 ±7.08
เสริมโดยการแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลีซิส	56.23 ±0.75
	หลังไดแอลลีซิส	42.94 ±1.06
เสริมโดยการแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์และ โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลีซิส	58.40 ±5.25
	หลังไดแอลลีซิส	42.19 ±3.07
เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ โพแทสเซียมไอโอไดด์	ก่อนไดแอลลีซิส	97.44 ±2.00
	หลังไดแอลลีซิส	78.44 ±9.03
เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลีซิส	96.64 ±3.59
	หลังไดแอลลีซิส	81.84 ±9.86
เสริมด้วยการทำข้าวหนึ่งโดยใช้ โพแทสเซียมไอโอไดด์ร่วมกับ โพแทสเซียมไอโอเดต	ก่อนไดแอลลีซิส	98.17 ±0.64
	หลังไดแอลลีซิส	81.18 ±5.68
ได้รับการจัดการธาตุไอโอดีนใน แปลงเพาะปลูก	ก่อนไดแอลลีซิส	10.14 ±0.13
	หลังไดแอลลีซิส	10.24 ±0.63

(<sup>1</sup>) ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 2 ซ้ำ

ตารางที่ ง.14 ปริมาณไอโอดีน ปริมาณความชื้น ดัชนีความขาว และค่าการดูดซับน้ำ<sup>1</sup> ของตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (เดือน)	ปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อ100กรัม)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ดัชนีความขาว	ค่าการดูดซับน้ำ (g/g)
ข้าวกล้อง (control)	0	5.22±0.34	10.37±0.02	63.17±0.32	1.11±0.01
	2	5.32±0.34	10.77±0.12	62.64±0.30	1.16±0.02
	4	5.17±0.15	10.10±0.03	62.50±1.28	1.30±0.02
	5	5.26±0.27	10.15±0.10	62.67±0.00	1.28±0.01
ข้าวหนึ่งไม่เสริมไอโอดีน	0	13.92±0.94	6.10±0.01	57.82±0.03	1.97±0.01
	2	13.30±0.28	6.35±0.09	57.78±0.14	1.99±0.00
	4	13.94±0.66	6.59±0.06	57.83±0.29	2.02±0.01
	5	13.59±0.44	6.22±0.14	57.72±2.42	2.02±0.01
ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน ด้วย KIO <sub>3</sub>	0	97.18±0.48	6.06±0.10	58.09±0.78	1.97±0.00
	2	93.46±0.38	6.89±0.10	57.84±0.35	2.01±0.01
	4	91.02±0.24	6.22±0.06	57.60±0.06	2.04±0.01
	5	89.84±0.16	6.48±0.09	57.78±0.04	2.03±0.00

<sup>(1)</sup> ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

ตารางที่ ง.15 ค่า pasting temperature, peak viscosity, breakdown และ setback<sup>1</sup> ของตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีนด้วยสารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต นาน 5 เดือน

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (เดือนที่)	pasting temperature(°C)	peak viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback (cP)
ข้าวกล้อง (control)	0	79.25±0.64	2658±132	750±61	1732±280
	2	79.30±0.57	2871±146	682±80	1493±329
	4	79.38±0.04	2605±96	714±6	1054±175
	5	79.38±0.04	2643±1	719±3	1032±68
ข้าวหนึ่งไม่เสริมไอโอดีน	0	95.12±0.50	1182±4	144±2	1080±14
	2	94.42±0.60	1376±17	136±8	1220±42
	4	94.99±0.51	1096±28	146±10	1045±7
	5	95.12±0.46	957±14	153±2	865±20
ข้าวหนึ่งเสริมไอโอดีน ด้วย KIO <sub>3</sub>	0	94.78±0.04	1164±66	139±1	1207±114
	2	97.48±0.60	1384±64	138±3	1246±54
	4	95.42±0.04	1074±30	150±3	969±75
	5	95.28±0.25	974±26	159±2	863±7

<sup>(1)</sup> ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ธรรมพ เหล่ากุลดิลก เกิดวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัด เชียงใหม่ สำเร็จ การศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิตเกียตินิกยมอันดับ 2 จากภาควิชาเทคโนโลยีการ พัฒนา ผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2544 และเข้ารับการศึกษา ต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย