ผลของความเข้มข้นของไอโอดีนและพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องนึ่ง และข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน

นางสาวจารุภัทร ลือชา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2205-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF IODINE CONCENTRATION AND RICE CULTIVAR ON QUALITY OF IODINE FORTIFIED BROWN AND ROUGH PARBOILED RICE

Miss Jarupat Luecha

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-2205-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเข้มข้นของไอโอดีนและพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน
โดย	นางสาวจารุภัทร ลือชา
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จารุภัทร ลือชา : ผลของความเข้มข้นของไอโอดีนและพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน. (EFFECTS OF IODINE CONCENTRATION AND RICE CULTIVAR ON QUALITY OF IODINE FORTIFIED BROWN AND ROUGH PARBOILED RICE.) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรรณา ตุลยธัญ. อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา , 113 หน้า. ISBN 974-17-2205-2.

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวนึ่ง ที่ใช้พันธุ์ข้าวชนิดของเมล็ดข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นของไอโอดีนต่างกัน ออกแบบการทดลองเป็น Split split plot ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดย Main plot คือพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์พลายงาม sub plot คือชนิดของเมล็ดข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ข้าวเปลือก และข้าวกล้อง sub sub plot คือระดับความเข้มข้นของไอโอดีนในน้ำที่ใช้แช่ 3 ระดับ ได้แก่ 0, 3.33 และ 6.67 mg iodine/ l พบว่าข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ และแช่ในสารละลายที่มีไอโอดีนเข้มข้น 3.33 และ 6.67 mg iodine/ l มีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบและตัวอย่างข้าวนึ่งควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยมีปริมาณไอโอดีนเฉลี่ย 94.57 และ 93.36 μg ต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ ข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงามมีปริมาณอมัยโลสและค่าการสลายตัวในด่างสูงกว่าข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1 แต่ปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1สูงกว่าปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งพันธุ์พลายงาม เปลือกข้าวจะขัดขวางการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าวจึงมีผลต่อค่าดัชนีความขาว การใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบจะได้ข้าวนึ่งที่มีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าการใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ และข้าวนึ่งที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นไอโอดีน 6.67 mg iodine/ l จะมีค่าการสลายตัวในด่างสูงที่สุด และเมื่อศึกษาโครงสร้างผลึกพบว่า ข้าวนึ่งทุกตัวอย่างให้ผลึก type A และยังคงมีลักษณะ birefringence เหลืออยู่ ดังนั้นวิธีการนึ่งวิธีนี้จะให้ข้าวนึ่งที่เกิดเจลาติไนเซชันบางส่วน การติดตามการเปลี่ยนแปลงของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 8 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ และแช่ในสารละลายที่มีไอโอดีนเข้มข้น 3.33 และ 6.67 mg iodine/ l มีค่า 76.57 และ82.57 μg ต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวนึ่งเกือบทุกตัวอย่าง มีค่าสูงที่สุดในเดือนที่ 3 (15.37-33.52 meq/ kg)

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4372230223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: IODINE/ PARBOILED RICE/ FORTIFICATION

JARUPAT LUECHA : EFFECTS OF IODINE CONCENTRATION AND RICE CULTIVAR ON QUALITY OF IODINE FORTIFIED BROWN AND ROUGH PARBOILED RICE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VANNA TULYATUN, THESIS COADVISOR : ASST. PROF. SAKDA JONGKAEWWATTANA, 113 pp. ISBN 974-17-2205-2.

The objective of this study was to investigate the physicochemical changes of parboiled rices derived from two varieties of local rice (Chainart 1 (Ch) and Ply-ngarm (Pg)), two types of grain (rough and brown rice) and three levels of iodine concentrations in the soaking water (0, 3.33 and 6.67 mg iodine/ l). The experimental design was a split split plot with three replications. Main plot was rice cultivar, sub plot was type of grain and sub sub plot was iodine concentration. The milled brown parboiled rice from both varieties that soaked in iodized water at the levels of 3.33 and 6.67 mg iodine/l had higher iodine content than the milled rough parboiled rice and the control milled parboiled rice significantly ($p \leq 0.01$). The average iodine contents of milled brown parboiled rice were 94.57 and 93.36 μg per 100 gram, respectively. Pg parboiled rice had higher amylose content and higher alkali spreading value (lower cooking temperature) than Ch parboiled rice. The protein content of Ch parboiled rice was higher than protein content of Pg parboiled rice. Parboiled rice which soaked in 6.67 mg iodine/l showed the highest alkali spreading value. The husk was a barrier which resisted water movement into the kernel and this affected the color of milled rough parboiled rice. The whiteness index of brown parboiled rice was lower than the whiteness index of rough parboiled rice. The observed of an A type x-ray diffraction pattern and the existent of birefringence in every parboiled samples showed that this parboiling process gave partial parboiled rice. After storage for 8 months at room temperature, the iodine contents of the milled brown parboiled rice from both varieties that soaked in iodized water at the levels of 3.33 and 6.67 mg iodine/l were 76.57 and 82.57 μg per 100 gram, respectively. Most of parboiled samples showed the highest peroxide value (15.37-33.52 meq/kg) in the third month.

Department Food Technology — Student's signature……..

Field of study Food Technology — Advisor's signature……..

Academic year 2002 — Co-advisor's signature……

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ อำนาจ คอวนิช รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา เป็นอย่างสูงที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และเอาใจใส่ ดูแล และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในทุก ๆ ด้าน จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ และอาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช เป็นอย่างสูง ที่กรุณาสละเวลามาตรวจสอบ กลั่นกรอง และแก้ไขงานวิจัยนี้ให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุลและครอบครัว เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงสีข้าว และการผลิตข้าวนึ่ง และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช ที่กรุณาซื้อตัวอย่างข้าวนึ่งมาให้จากประเทศสหรัฐอเมริกา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าของงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และครอบครัว และพี่ ๆ นักวิจัย และนักวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และที่สถานปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ไปทำงานวิจัยที่เชียงใหม่

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ เจ้าหน้าที่ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ ธนานันต์ โรจนศศิธรา ที่คอยช่วยเหลือเป็นอย่างดีในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด และเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และสำหรับผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือซึ่งผู้วิจัยมิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ และญาติทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในทุกด้านเป็นอย่างดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ซ
สารบัญภาพ.....ญ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....3
3. ารดำเนินงานวิจัย.....31
4. ผลและวิจารณ์การทดลอง.....39
5.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....77
รายการอ้างอิง.....80
ภาคผนวก.....86
ภาคผนวก ก รายละเอียดวัตถุดิบและโพแทสเซียมไอโอเดต.....87
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์.....88
ภาคผนวก ค แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส.....105
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....113

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว..... 7

2.2 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆเมื่อนำไปสีที่ความชื้นร้อยละ 14.....8

2.3 องค์ประกอบของข้าวและผลิตภัณฑ์จากการขัดสี.....18

2.4 Major minerals and trace elements in human nutrition.....21

2.5 ปริมาณแร่ธาตุที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวันสำหรับคนไทย.....22

2.6 แหล่งไอโอดีนในอาหารต่าง ๆ 25

2.7 ปริมาณไอโอดีนที่ได้รับจากการบริโภคแยกตามภาค.....28

4.1 ความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale ในน้ำนม ANF ที่มีปริมาณไอโอดีน 11.67 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร.....40

4.2 ความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale ในสารละลาย KIO_3 ที่มีปริมาณไอโอดีน 40 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร.....40

4.3 % Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale.....41

4.4 ปริมาณความชื้น, โปรตีน และอมัยโลสในตัวอย่างข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน ที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน.....42

4.5 ปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน ที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้น ไอโอดีนต่างกัน.....43

4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณอมัยโลส และปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน.....44

4.7 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน.....45

4.8 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณอมัยโลสในข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน.....46

4.9 ค่าดัชนีความขาวและค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่างของตัวอย่างข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน ที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน.....49

4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าดัชนีความขาว และค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง ของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน.....50

4.11 ผลของชนิดของข้าวต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวกล้องและ ข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีนจากข้าว 2 พันธุ์.....51

หน้า

4.12 ผลของพันธุ์ข้าวต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวกล้องและ
ข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีนจากข้าว 2 พันธุ์.....52
4.13 ผลของพันธุ์ข้าวต่อค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง
ของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีนระดับต่าง ๆ.....53
4.14 ผลของระดับความเข้มข้นของไอโอดีน ต่อค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง.....53
4.15 อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลาติไนเซชั่นที่วัดด้วยเครื่อง Brabender viscograph.....54
4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson ระหว่างสมบัติต่าง ๆ ของข้าวนึ่งที่ผลิต.....56
4.17 ค่าfirmness และค่าStickiness ของข้าวนึ่งหุงสุกที่วัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer.....60
4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์
และค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งที่ผลิตแตกต่างกัน 13 ตัวอย่าง.....70
ข.1 การให้คะแนนค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง และอุณหภูมิแป้งสุก
(Gelatinization Temperature).....97
ข.2 0.1 Ferricyanide Maltose Conversion.....104
ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ
และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน.....107
ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ
และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน.....108
ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณอมัยโลสของของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว
ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน.....109
ง.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ
และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน 110
ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ
และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน 111
ง.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการสลายตัวในด่างของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว
ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน.....112
ง.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์
และค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งที่ผลิตแตกต่างกัน.....112

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว....3

2.2 ลักษณะโครงสร้างของอมัยโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึก (1) และส่วนอสันฐาน (2)....6

2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและลักษณะของเม็ดแป้ง....9

2.4 ภาพตัดขวางของเนื้อเมล็ดของข้าว....10

2.5 thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3)....23

2.6 ลักษณะของโรคคอพอก (Goiter) เนื่องจากการขาดสารไอโอดีนเป็นระยะเวลานาน....26

2.7 อัตราการเกิดคอพอกในประเทศไทย....27

3.1 ขั้นตอนหลักในการผลิตข้าวนึ่ง....34

3.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวนึ่งจากข้าวเปลือก และข้าวกล้อง....35

4.1 อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นไอโอดีน ต่อปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน....45

4.2 อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของข้าวและความเข้มข้นของไอโอดีน ต่อปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนทั้ง 2 พันธุ์....47

4.3 x-ray diffraction pattern ของข้าวที่ไม่ได้นึ่ง....57

4.4 x-ray diffraction pattern ของข้าวนึ่ง....58

4.5 ลักษณะ birefringence ที่เหลืออยู่ในข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ผ่านแสงโพลาไรซ์ ที่กำลังขยาย 40 เท่า....59

4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อ100 กรัม) ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1....62

4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อ100 กรัม) ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงาม....62

4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พันธุ์ชัยนาท 1....64

4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg)ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พันธุ์พลายงาม....64

4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งพันธุ์ชัยนาท 1....65

ภาพประกอบ หน้า

4.11 ค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งพันธุ์พลายงาม เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 8 เดือน.....66
4.12 คะแนนด้านสีของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5.....67
4.13 คะแนนด้านกลิ่นของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5.....68
4.14 คะแนนด้านความเกาะตัวของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5.....68
4.15 คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5.....69
4.16 คะแนนด้านรสชาติของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5.....69
4.17 คะแนนด้านความชอบรวมของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5.....70
4.18 ปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า.....72
4.19 ค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า.....72
4.20 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า.....73
4.21 ค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า.....73
4.22 คะแนนแสดงระดับความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิงด้านสี.....75
4.23 คะแนนแสดงระดับความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิงด้านกลิ่นรส.....75
4.24 คะแนนแสดงระดับความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิงด้านเนื้อสัมผัส.....75
ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน.....93
ข.2กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอมัยโลส.....96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์มาแต่โบราณ และเป็นธัญพืชที่มีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลาย จากสถิติในปี ค.ศ. 1988 พบว่า ปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกทั่วโลกทั้งหมดประมาณ 492,137 ล้านตันและประเทศไทยผลิตข้าวเปลือกได้ 21,263 ล้านตัน (Juliano, 1993) ประชากรส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวสาร ซึ่งสีเอาเปลือกและรำออกแล้ว ข้าวสารจะสูญเสียคุณค่าทางอาหารไปในระหว่างการสี เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารระหว่างข้าวกล้องกับข้าวสารที่ได้รับการสีเอาเปลือกและรำออกไป 10 % พบว่าปริมาณสารอาหารส่วนใหญ่ลดลงเมื่อข้าวผ่านการสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินที่สำคัญในข้าวได้แก่ ไธอะมินลดลงจาก 2.6-3.9 ไมโครกรัมต่อกรัมในข้าวกล้องเหลือ0.37-0.62 ไมโครกรัมต่อกรัมในข้าวสาร ขณะที่ไรโบเฟลวินลดลงจาก 0.9-1.12 ไมโครกรัมต่อกรัมในข้าวกล้องเหลือ 0.43-0.63 ไมโครกรัมต่อกรัมในข้าวสาร (Villareal, Maranville and Juliano , 1991) การทำข้าวนึ่งเป็นวิธีที่มีมาแต่โบราณ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถรักษาคุณค่าทางอาหารไว้ในข้าววิธีหนึ่ง

การทำข้าวนึ่ง (Parboiled rice) เป็นกระบวนการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเปลือก ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการแช่ข้าว (soaking) การนึ่ง (steaming) และการทำแห้ง (drying) เมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เป็นวิธีช่วยรักษาสารอาหารที่สำคัญให้คงอยู่ในข้าวแม้ผ่านการสีแล้วได้มากขึ้น (Araullo, Padua and Graham, 1976; Van Ruiten, 1979) นอกจากนี้การทำข้าวนึ่งยังช่วยลดปริมาณข้าวแตกหักในระหว่างการสีทำให้ได้ผลผลิตต้นข้าวสูงขึ้น การสีข้าวง่ายขึ้นเพราะข้าวนึ่งจะแข็งและทนต่อแรงในการสีข้าวได้มากกว่า ทั้งยังทนต่อการทำลายจากแมลงในช่วงการเก็บได้ดี และข้าวนึ่งที่หุงสุกจะไม่เหลวเป็นแป้งเปียก (paste) และมีการสูญเสียของแข็งไปในน้ำต้มข้าวน้อยกว่าอีกด้วย (Araullo et al., 1976) โดยข้าวนึ่งที่สีเอารำออก 8 % มีปริมาณไธอะมิน 0.022-0.044 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าในข้าวสารที่มีไธอะมิน 0.02-0.039 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณไรโบเฟลวินก็สูงกว่าในข้าวสารเช่นเดียวกันแต่สูงกว่าไม่มากนัก (Grewal and Saugha, 1990) Miah et al. (2002) พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ข้าวมากขึ้น ผลผลิตต้นข้าว จะเพิ่มขึ้นด้วย และการแช่ข้าวนึ่งในน้ำร้อนจะให้ผลผลิตหลังจากการสีสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้นึ่ง (raw rice) ประมาณร้อยละ 1 และหลังจากแช่ข้าวแล้วเมล็ดข้าวมีรอยร้าวลดลง แสดงว่าการทำข้าวนึ่งช่วยเติมเต็มช่องว่างและเชื่อมรอยแยกภายในเนื้อเมล็ด ทำให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้น การหักของข้าวในระหว่างการสีก็ลดลง

โดยทั่วไปการทำข้าวนึ่งจะใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ แต่ต่อมาได้มีความสนใจใช้ข้าวกล้อง (brown rice หรือ dehusked rice) เป็นวัตถุดิบเพราะให้ประโยชน์หลายด้าน Kar, Jain และ Srivastav (1999) ผลิตข้าวกล้องนึ่ง โดยการแช่ข้าวกล้องในช่วงอุณหภูมิ 70-100^{0}C นำไปนึ่งด้วยไอน้ำและตากในที่ร่ม จากนั้นนำไปสี ข้าวกล้องนึ่งที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับข้าวนึ่งปกติ ระยะเวลาในการหุงลดลง 30% และประหยัดพลังงานลง 40% เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสก็เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีการทดลองเสริมสารอาหารที่พบน้อยในข้าวแก่ข้าวผ่านวิธีการทำข้าวนึ่ง Kondo, Mitsuda และ Iwai (1985) ทำการทดลองเสริมไธอะมินลงในข้าวกล้อง (brown rice) ด้วยวิธี acid parboiling โดยเติมสารละลาย thiamine hydrochloride ในอัตราส่วน 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลาย กรดอะซิติก 1 % เป็นน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าว (soaking water) จากนั้นนำไปนึ่ง และทำแห้ง ได้ข้าวเสริมไธอะมินที่มีปริมาณไธอะมิน 400 ไมโครกรัมต่อข้าว 1 กรัม ซึ่งมากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ได้นึ่ง 100 เท่า และมากกว่าข้าวสารจากข้าวเปลือกที่ไม่ได้นึ่ง 1,000 เท่า เมื่อนำข้าวเสริมไธอะมินไปล้างและหุง จะเหลือปริมาณไธอะมิน 333 ไมโครกรัมต่อข้าว 1 กรัม

แร่ธาตุ เป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย แต่ขาดไม่ได้ เพราะมีความจำเป็นต่อการทำงานของกลไกต่าง ๆ ในร่างกาย ถ้าขาดหรือได้รับไม่เพียงพอจะทำให้เกิดปัญหาทางสุขภาพ หรือเกิดความผิดปกติขึ้น (วินัย ดะห์ลัน และ ศัลยา คงสมบูรณ์เวช, 2544) ดังนั้นการเสริมแร่ธาตุที่จำเป็นในข้าว เป็นวิธีหนึ่งที่อาจช่วยป้องกันการเกิดปัญหาการขาดแร่ธาตุที่จำเป็นได้

สารไอโอดีนมีความจำเป็นต่อร่างกาย เพราะมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ฮอร์โมนธัยรอกซิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนควบคุมกระบวนการเผาผลาญพลังงานของร่างกายทั้งหมด (Williams, 1998) มีรายงานว่า ประชากรประมาณ 800 ล้านคนในโลก มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคที่เกิดจากการขาดไอโอดีน (Iodine Deficiency Disorders,IDD) (Juliano,1993) โดยเกือบ 1 ใน 4 มีความเสี่ยงเป็นโรคคอพอก (goitre) และอีกประมาณ 300 ล้านนั้น เสี่ยงต่อการผิดปกติทางร่างกายและจิตใจ (cretinism) ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ที่มีความเสี่ยงนั้นเป็นประชากรแถบเอเชีย โดยเฉพาะในแถบหุบเขา ที่มีปริมาณไอโอดีนในดิน น้ำ และอาหารต่ำ ในประเทศไทยก็เคยมีรายงานการระบาดของโรคขาดสารไอโอดีนในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตั้งแต่ปี พ.ศ. 2496 (กรมอนามัย, 2535)

การเสริมสารไอโอดีนโดยวิธีการทำข้าวนึ่งนี้จึงเป็นที่น่าสนใจ และยังไม่มีงานวิจัยที่นำการทำข้าวนึ่งจากข้าวเปลือกและข้าวกล้องไปใช้เป็นวิธีการเสริมสารอาหารในข้าวมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการผลิตข้าวกล้องนึ่ง และข้าวเปลือกนึ่งเสริมสารไอโอดีน ให้มีปริมาณไอโอดีนอย่างน้อย 1 ใน 3 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการในแต่ละวัน หรือเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อวัน เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการป้องกันการเกิดโรคขาดสารไอโอดีนต่อไปได้

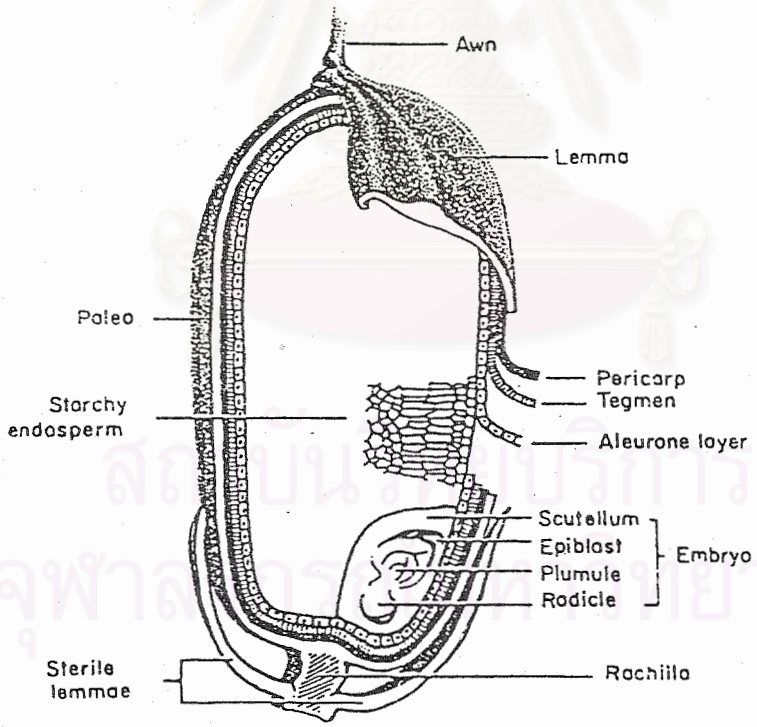
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (semi-aquatic glass plant) ใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ใน genus *Oryza* เติบโตได้ดีทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่น ข้าวมีมากกว่า 20 species แต่ที่บริโภคอยู่ทุกวันนี้มี 2 species คือ *Oryza sativa L.* ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrima Steud.* ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปแอฟริกา แต่ข้าวที่เป็นที่รู้จักและยอมรับอย่างกว้างขวาง และทำการผลิตและจำหน่ายกันเกือบทั้งหมดในท้องตลาด รวมทั้งที่ปลูกในประเทศไทย คือ *Oryza sativa L.* (Juliano ,1993)

โครงสร้างของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 (Juliano, 1972)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

(Juliano, 1972)

1. เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก 2 ชนิด (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดไว้ภายใน ส่วนนี้มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าว มีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) สูงถึงร้อยละ 25 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 30 เพนโตแซน (pentosans) ร้อยละ 15 และปริมาณเถ้าร้อยละ 21 ซึ่งในส่วนของเถ้านี้จะเป็นซิลิกา (silica) สูงถึงร้อยละ 90 (Hoseney,1994)

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

3. เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วย

3.1 เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ sead coat) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีหลายแถว เซลล์ในชั้นนี้มีสารให้สีอยู่ ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่าง ๆ นอกจากนี้ยังเป็นชั้นที่อุดมไปด้วยไขมัน จึงมีสมบัติในการป้องกันไม่ให้น้ำเข้าสู่เนื้อเมล็ด ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 5 ถึง 8 ไมโครเมตร (Hoseney,1994)

3.2 ชั้นเนื้อเยื่อโปร่งแสง (hyaline layer หรือ nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส และยังประกอบด้วยสารให้สีเช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

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

3.4 คัพภะ (germ หรือ embryo) เป็นส่วนที่จะเจริญไปเป็นต้นอ่อนของเมล็ด หรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ ภายในคัพภะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ คือส่วนสกูเทลลัม (scutellum) เป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และส่วนของคัพภะ (embryonic axis) ซึ่งพร้อมจะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ในส่วนนี้อุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต สารอาหารที่มีมากคือโปรตีน (อยู่ในรูป protein bodies) และไขมัน (อยู่ในรูป lipid bodies) ส่วนวิตามินที่มีมากคือวิตามินบี และวิตามินอี

3.5 เนื้อเมล็ด (endosperm) แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ที่มีผนังบาง มีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่สองคือเนื้อเมล็ด (inner endosperm) ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดกลางเมล็ด เซลล์

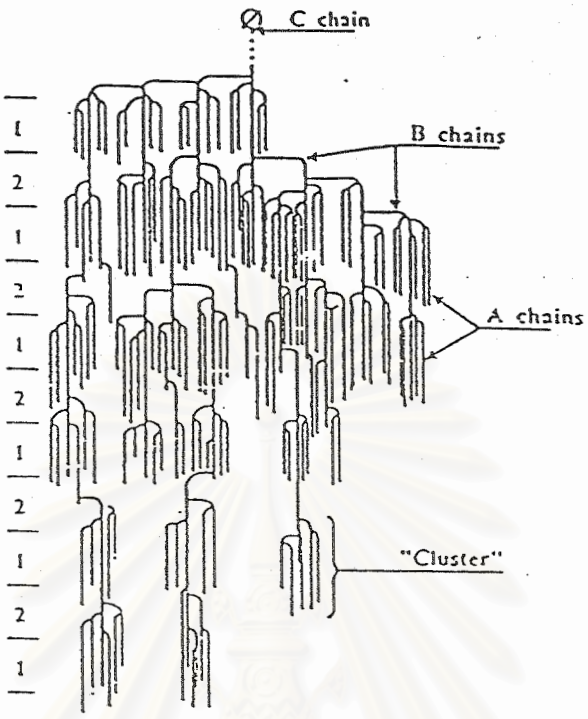
เหล่านี้จะเป็นเซลล์ผนังบาง ส่วนของผนังเซลล์ที่ห่อหุ้มเนื้อเมล็ดนี้ ประกอบไปด้วยเฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน และเบต้า-กลูแคน (β-glucan) แทบจะไม่มีเซลลูโลสเลย ในเนื้อเมล็ดประกอบด้วยสตาร์ชและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ สตาร์ชที่เกิดในผนังเซลล์ของเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกันในเม็ดสตาร์ช (starch granule) ซึ่งเม็ดสตาร์ชของข้าวมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยม ส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม แต่ก็พบร่วมกับเม็ดเดี่ยวเช่นกัน โปรตีนที่พบอยู่ในเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ช โดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ชั้นติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่ ภายในเมล็ดข้าวสารมีสตาร์ชที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสอยู่ 2 ชนิด คือ อมัยโลส (amylose) และอมัยโลเพคติน (amylopectin)

อมัยโลส (amylose)

เป็นโฮโมพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคส 500-6000 หน่วย (AGU) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic แต่จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่าอมัยโลสไม่ใช่โมเลกุลที่เป็นเส้นตรงโดยสิ้นเชิงแต่มีพันธะ α-1,6-glucosidic อยู่บ้างเล็กน้อย (Hizukuri, 1996) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือด และทำให้เย็นจะทำให้เกิดการคืนรูปแข็งตัว (retrogradation) ขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ในข้าวเจ้า (non-glutinous rice, non-sticky rice, non-waxy rice) ประกอบด้วยอมัยโลส 15-31 % จะมากน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ที่เหลือจะเป็นอมัยโลเพคติน ข้าวเหนียว (glutinous rice, sticky rice , waxy rice) ประกอบด้วยอมัยโลเพคตินถึง 95 % มีอมัยโลสน้อยมากถึงไม่มีเลย เมื่อหุงจึงสุกง่ายและมีความอ่อนนุ่มกว่าข้าวเจ้า

อมัยโลเพคติน (amylopectin)

เป็นโฮโมพอลิเมอร์เชิงกิ่งที่มีขนาดใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส 3×10^5 - 3×10^6 หน่วย (AGU) ในบริเวณที่เป็นเส้นตรงเชื่อมกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic และในบริเวณที่เป็นกิ่งก้านเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสสายสั้นมีค่า Degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic โดยอมัยโลเพคติน 1 โมเลกุลจะมีพันธะ α-1,6-glucosidic ประมาณ 4-5 % (Jacobs and Delcour, 1998) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะให้สีน้ำตาลแดง เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน และเป็นส่วนทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน โครงสร้างของอมัยโลเพคตินแสดงในรูปที่ 2.2



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

เนื้อเมล็ดจะเป็นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสีข้าว (milling fraction) โดยในการสีข้าวจะนำเมล็ดข้าวมากระเทาะเปลือกเอาเปลือกแข็งหุ้มเมล็ดออก จากนั้นจะได้ข้าวกล้อง นำข้าวกล้องที่ได้มาขัดเอาส่วนต่าง ๆ ที่ไม่ใช่เนื้อเมล็ดออกเพื่อให้ได้เป็นข้าวสาร ผลพลอยได้จากกระบวนการนี้คือ แกลบ (hull) และรำข้าว (bran and polish) และการสีข้าวทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวแสดงในตารางที่ 2.1 และปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุที่สำคัญในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าวและเปลือกข้าว (ผลเป็นปริมารสารอาหาร ต่อข้าว 100 กรัม) แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

คุณค่าทางโภชนาการ (ต่อข้าว 100 กรัม)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ความชื้น (กรัม)	14.0	14.0
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	363-385	349-373
โปรตีน (กรัมไนโตรเจน × 5.95)	7.1-8.3	6.3-7.1
ไขมัน (กรัม)	1.6-2.8	0.3-0.5
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	73.0-87.0	77.0-89.0
เส้นใย (กรัม)	0.6-1.0	0.2-0.5
เถ้า (กรัม)	1.0-1.5	0.3-0.8
ไธอะมิน (มิลลิกรัม)	0.3-0.6	0.02-0.11
ไรโบเฟลวิน (มิลลิกรัม)	0.04-0.14	0.02-0.06
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	3.5-5.3	1.3-2.4
ไพริดอกซิน (มิลลิกรัม)	0.5-0.9	0.04-0.12
วิตามิน เอ (มิลลิกรัม)	0.8-2.5	0.01-0.03
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	10.0-50.0	10.0-30.0
ฟอสฟอรัส (กรัม)	0.17-0.43	0.08-0.15
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.20-5.2	0.2-2.8
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.6-2.8	0.6-2.3

ที่มา Grist(1975) และ Juliano(1993)

ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุได้สูญเสียไปในการสีข้าวเป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารระหว่างข้าวกล้องกับข้าวสาร พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณสารอาหารทุกชนิดสูงกว่าในข้าวสาร โดยเฉพาะกลุ่มวิตามินบี (ไธอะมิน , ไรโบเฟลวิน และ ไนอะซิน) นอกจากนี้การสีข้าวยังทำให้เกิดการแตกหักของข้าว ผลผลิตต้นข้าว (head rice yield) ลดลง

ตารางที่ 2.2 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆเมื่อนำไปสีที่ความชื้นร้อยละ 14

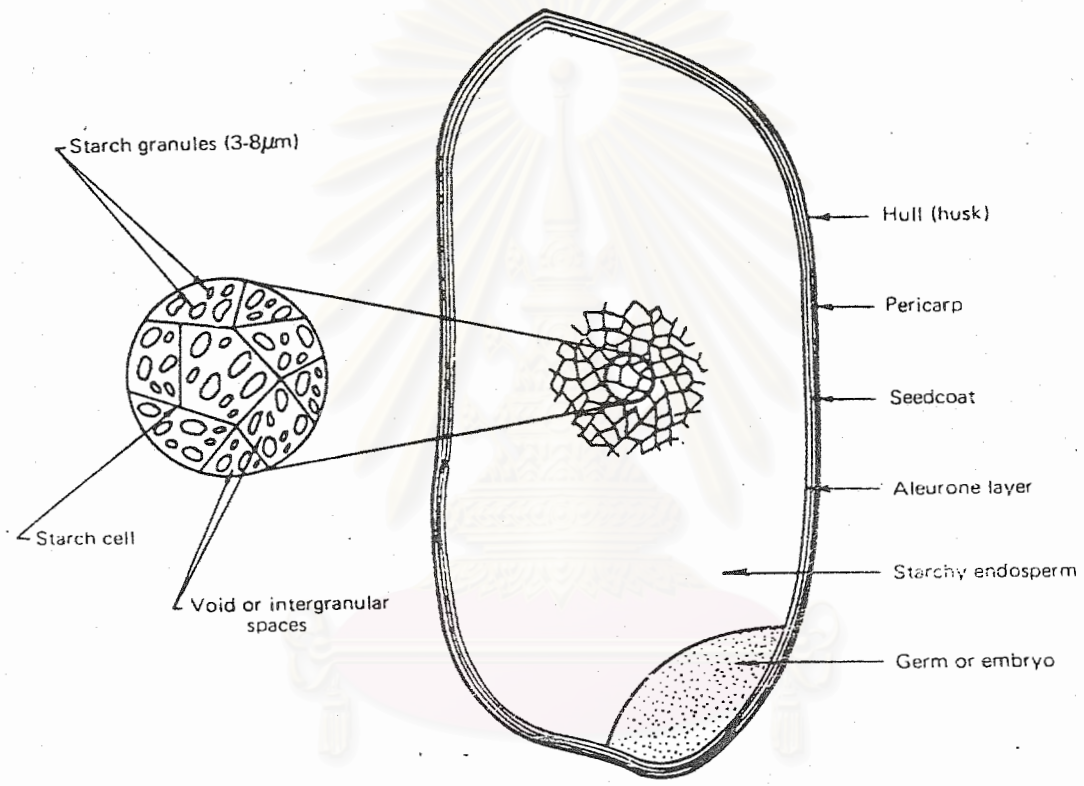
(ปริมาณสารอาหารต่อข้าว 100 กรัม)	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	รำข้าว	เปลือกข้าว
ไธอะมิน (มก.)	0.26-0.33	0.29-0.61	0.02-0.11	1.2-2.4	0.09-0.21
ไรโบเฟลวิน (มก.)	0.06-0.11	0.04-0.14	0.02-0.06	0.18-0.43	0.05-0.07
ไนอะซิน (มก.)	2.9-5.6	3.5-5.3	1.3-2.4	26.7-49.9	1.6-4.2
อัลฟา-โทโคเฟอรอล (มก.)	0.9-2.0	0.9-2.5	75-0.30	2.6-13.3	0
แคลเซียม (มก.)	10-80	10-50	10-30	30-120	60-130
ฟอสฟอรัส (ก.)	0.17-0.39	0.17-0.43	0.08-0.15	1.1-2.5	0.03-0.07
เหล็ก (มก.)	1.4-6.0	0.2-5.2	0.2-2.8	8.6-43.0	3.9-9.5
สังกะสี (มก.)	1.7-3.1	0.6-2.8	0.6-2.3	4.3-25.8	0.9-4.0

ที่มา Juliano(1993)

2.2 **ข้าวนึ่ง** (Parboiled rice)

ข้าวนึ่ง (parboiled rice) หมายถึง ข้าวที่ได้จากการนำข้าวเปลือกไปนึ่งหรืออบไอน้ำร้อนก่อน แล้วนำมาทำให้แห้ง จากนั้นจึงนำมาสีเป็นข้าวสารเพื่อการบริโภค (อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) แหล่งกำเนิดของการทำข้าวนึ่งนั้น ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่ได้มีการทำข้าวนึ่งมานานแล้วในประเทศแถบทวีปแอฟริกาและเอเชีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศอินเดีย (Van Ruiten, 1979) จุดประสงค์แต่เดิมของการทำข้าวนึ่งนั้น เพื่อความสะดวกในการสีให้เปลือกหลุดออกจากเมล็ดได้ง่าย และเพื่อให้สัดส่วนของข้าวหักน้อยลง (Araullo et al.,1976; Van Ruiten, 1979; อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) เนื่องจากองค์ประกอบในเมล็ดที่มีปริมาตรสูงที่สุด คือ เนื้อเมล็ด (endosperm) ซึ่งจะมีเม็ดแป้ง (starch granule) อยู่เป็นจำนวนมาก เม็ดแป้งของข้าวมีขนาดเล็กมาก (3-8 ไมครอน) และมีหลายรูปร่าง จึงทำให้มีช่องว่าง (void) ระหว่างเม็ดแป้ง ซึ่งจะเต็มไปด้วยอากาศและความชื้น (ดังรูปที่ 2.3) เมื่อนำข้าวไปขัดสีจะทำให้เกิดเมล็ดข้าวแตกหัก ดังนั้นหลักการพื้นฐานของการทำข้าวนึ่งคือให้ความร้อนชื้นแก่ข้าว ทำให้

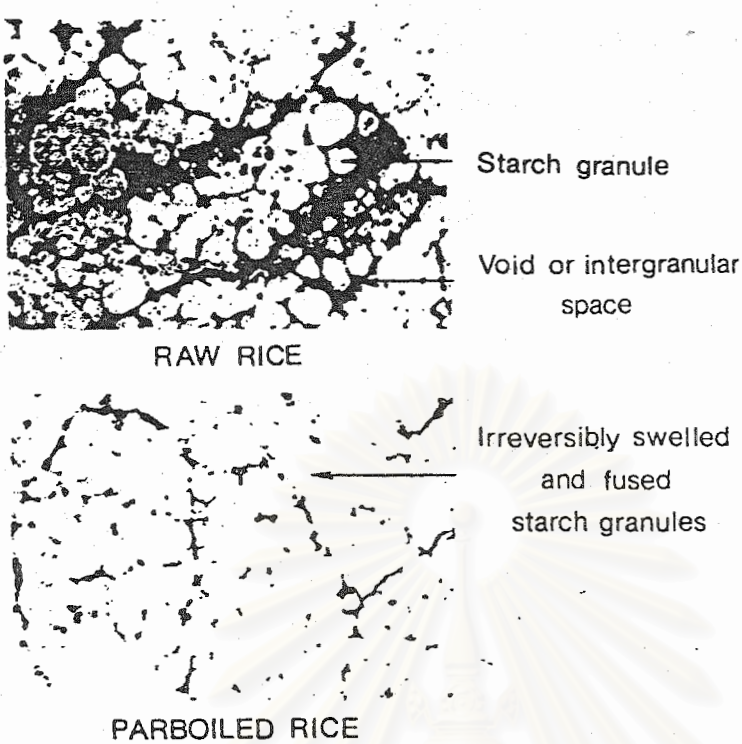
สตาร์ชส่วนที่เป็นผลึก (crystalline form) ในเมล็ดข้าว เปลี่ยนเป็นอสัณฐาน (amorphous form) เกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) เป็นการเติมช่องว่างให้เต็ม ทำให้เมล็ดข้าวทนต่อการสีได้ดีมากกว่าเดิม ดังรูปที่ 2.4 (Araullo et al., 1976)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและลักษณะของเม็ดแป้ง

(Araullo et al.,1976)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางของเนื้อเมล็ดของข้าว (Araullo et al., 1976)

2.2.1 ลักษณะของเมล็ดข้าวเปลือกที่เหมาะสำหรับนำมาทำข้าวนึ่ง

เมล็ดข้าวเปลือกที่นิยมนำมาทำข้าวนึ่งมักได้จากสายพันธุ์ที่มีความเปราะสูง ให้ผลผลิตหลังจากการสีไม่ดี เนื่องจากโครงสร้างของเนื้อเมล็ดที่อ่อน ซึ่งเป็นผลจากหลายปัจจัย ได้แก่ สายพันธุ์ สภาวะในการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และการทำแห้ง โดยข้าวสายพันธุ์ที่มีเมล็ดยาว และเรียวจะนิยมนำมาทำข้าวนึ่งมากกว่า ข้าวเมล็ดป้านกลาง และข้าวเมล็ดสั้น เพราะจะมีความเปราะมากกว่า ลักษณะบางประการของข้าวเปลือกจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายดังนี้ (Araullo et al., 1976)

(1) การมีเมล็ดข้าวเปลือกที่เปลือกหลุดบางส่วน มีผลเสียต่อกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง

(2) ส่วนของหนวดแหลมและขนของเปลือกข้าว ทำให้ขั้นตอนการแช่ข้าวยากขึ้น เนื่องจากจะทำให้เมล็ดลอยน้ำ ซึ่งมักจะถูกทิ้งไปกับส่วนของเสีย ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุดิบในช่วงนี้สูง

(3) รงควัตถุที่มีในเปลือกข้าวและเปลือกหุ้มผลจะละลายออกมา และทำให้สีของข้าวนึ่งคล้ำลง

(4) ในเมล็ดที่มีการปนเปื้อนจากแบคทีเรียทำให้เมล็ดข้าวมีสีดำบางส่วน

(5) เมล็ดมีการแตกหัก หรือถูกทำลายเนื่องจากแมลง มีผลทำให้ข้าวนึ่งมีสีไม่สม่ำเสมอได้

วิธีการผลิตข้าวนึ่งมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับขนาดในการผลิต และความต้องการของผู้ผลิต แต่ขั้นตอนหลัก มีดังนี้

1.การทำความสะอาดนำ (precleaning)

2.การแช่น้ำ (soaking)

3. การนึ่ง (steaming)

4.การทำแห้ง (drying)

2.2.2 การทำความสะอาดนำ (precleaning)

ก่อนที่จะนำข้าวเปลือกไปแช่และนึ่ง ควรที่จะทำความสะอาดก่อน โดยการทำความสะอาดวิธีดั้งเดิม (traditional method) จะนำข้าวเปลือกไปแช่น้ำแล้วแยกส่วนที่ลอยน้ำออก ซึ่งมักจะเป็นเศษเปลือกข้าว หรือใบข้าว เป็นต้น ส่วนในระดับที่มีการผลิตซับซ้อนขึ้นไปในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีการติดตั้งเครื่องแยกดังนี้

1) แยกส่วนปนเปื้อนที่มีน้ำหนักเบาออกด้วยวิธี Aspiration
2) แยกส่วนปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่น้ำหนักเบาและขนาดเล็กน้ำหนักมากด้วยการร่อน
3) แยกโลหะด้วยเครื่องมือที่มีแม่เหล็กติดภายใน

การทำความสะอาดก่อนนั้นสำคัญ จะช่วยให้ในขณะนึ่งเมล็ดข้าวได้รับความร้อนทั่วถึงทุกเมล็ด และทำการผลิตได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Van Ruiten, 1979)

2.2.3 การแช่น้ำ (soaking)

วัตถุประสงค์ของการแช่ข้าวในน้ำ เพื่อให้น้ำแทรกซึมสู่ช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งในเนื้อเมล็ด และให้เม็ดแป้งดูดน้ำไว้ให้เพียงพอต่อการเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งควรมีความชื้นไม่ต่ำกว่า 30% การเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดเป็นกระบวนการแพร่ (diffusion process) จะเกิดต่อเนื่องไปตราบใดที่ความดันไอภายในเมล็ดน้อยกว่าของน้ำที่แช่ และจะหยุดเมื่ออยู่ในภาวะสมดุล

ในช่วงแรกของการแช่นั้น น้ำจะติดที่เปลือกข้าว หลังจากนั้นจึงแทรกผ่านรูเล็ก ๆ (micropore) เข้าสู่เมล็ดไปเติมเต็มส่วนที่เป็นช่องว่าง (void) ระหว่างเมล็ด และน้ำบางส่วนจะถูกดูดซึมสู่เม็ดสตาร์ช น้ำที่เข้าไปจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินในสตาร์ช

ทำให้เม็ดแป้งพองตัว (swell) การให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้แช่ จะช่วยทำให้การดูดน้ำสู่เมล็ดเร็วขึ้น เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปขับไล่อากาศที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเม็ดแป้ง ทำให้น้ำไปแทนที่อากาศได้ และเมื่อน้ำอุ่นขึ้นเรื่อย ๆ จะเกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น โมเลกุลน้ำที่แตกตัวมีพลังงานสูง จะเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชได้มากขึ้น (Araullo et al.,1976)

ความสามารถในการดูดน้ำของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สภาวะในการปลูก และระยะเวลาในการเก็บรักษา ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวนึ่ง ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ ความเป็นกรดด่าง(pH) ของน้ำที่ใช้แช่

การแช่เป็นระยะเวลาที่นานเกินไป ทำให้สารที่มีในเมล็ดข้าวจะละลายออกสู่น้ำแช่ และนอกจากนี้เมล็ดข้าวอาจงอกได้ถ้ามีอากาศในน้ำเพียงพอ และอาจเกิดการหมักสารอินทรีย์ที่มีอยู่จากเอ็นไซม์ ซึ่งจะให้สี กลิ่น และ รสชาติที่ไม่ต้องการได้ การทำให้ระยะเวลาแช่ลดลง ทำได้หลายวิธีเช่น ใช้ความดัน หรือแช่ภายใต้สุญญากาศ และอาจใช้สารช่วยทำให้เปียก (wetting agent) ในกระบวนการสมัยใหม่ ได้เพิ่มสารละลายลงในน้ำแช่ เพื่อให้ข้าวดูดซึมสารอาหารซึ่งปกติมีน้อยในข้าว เช่น แคลเซี่ยม หรือวิตามิน และอาจเติมสารละลายที่ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลลงไป

ถ้าอุณหภูมิของน้ำแช่สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน การดูดน้ำจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว และเมล็ดข้าวเปลือกจะดูดน้ำได้มาก ถ้าอุณหภูมิของน้ำแช่ต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน ระยะเวลาในการแช่จะเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำที่ถูกดูดเข้าสู่เมล็ดจะน้อยลง ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่คือ 60^0 C ถึง 70^0 C อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการแช่ไม่ควรเกิน 75^0 C เพราะข้าวเปลือกจะสุก ปริมาณน้ำที่ข้าวเปลือกดูดซึมไว้ได้เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ ในรูปที่ 4 แสดงการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ปริมาณความชื้นที่ 30 % ถือเป็นความชื้นต่ำที่สุดที่น้ำจะถูกดูดซึมถึงใจกลางเมล็ด ซึ่งอาจทำได้โดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำอุณหภูมิ 50^0 C เป็นเวลา 12 ถึง 60 ชั่วโมง ถ้ามีการดูดซึมน้ำเข้าไปปริมาณมากเกิน เมล็ดข้าวจะพองและเกิดการแตกของเปลือกซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เพราะการที่เปลือกแยกออกเนื้อเมล็ดสัมผัสกับน้ำ สารที่สำคัญอาจแพร่ออกสู่น้ำที่ใช้แช่ได้ และอาจให้รูปร่างและสีของเมล็ดที่ไม่ต้องการอีกด้วย (Luh and Mickus, 1980)

แม้ว่าการใช้น้ำแช่อุณหภูมิสูงจะช่วยลดระยะเวลาแช่ลง แต่เมื่อนำข้าวนึ่งที่ได้ไปสีจะได้ข้าวที่มีสีเข้มขึ้น สีของข้าวขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแช่และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ นอกจากนี้การนึ่งก็ให้ผลทำนองเดียวกัน โดยถ้าแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70^0 C ประมาณ 5 ชั่วโมง จะให้สีที่เข้มมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 60^0 C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์อมัยเลส ซึ่งจะทำ

ให้เกิดน้ำตาล เช่น มอลโตส และกลูโคสขึ้น เป็นผลให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard นอกจากนี้สีของเมล็ดข้าวยังขึ้นอยู่กับ ความเป็นกรดด่างของน้ำที่ใช้แช่ ถ้ามีความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5 การเปลี่ยนสีจะน้อยที่สุด และสีจะเข้มขึ้นเมื่อความเป็นกรดด่างมีค่าเพิ่มขึ้น (Luh and Mickus, 1980)

เพื่อให้ได้ผลที่เหมือนกันทุกเมล็ด เมล็ดข้าวควรมีขนาดเท่า ๆ กัน หลังจากการแช่แล้วเทน้ำออก จากนั้นนำข้าวที่แช่แล้วไปนึ่งทันที

2.2.4 **การนึ่งไอน้ำ** (steaming)

การใช้ไอน้ำให้ความร้อนเพื่อให้ข้าวเปลือกที่ได้รับการแช่น้ำแล้วเกิดเจลาติไนเซชั่นนั้น เป็นวิธีการให้ความร้อนที่นิยมมากกว่าวิธีอื่น เพราะจะไม่เกิดการนำความชื้นออกจากข้าวเปลือก และยังช่วยเพิ่มความชื้นโดยเกิดการควบแน่นอีกด้วย ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ไอน้ำยังให้อุณหภูมิที่สูงและยังช่วยฆ่าเชื้ออีกด้วย (Araullo et al., 1976)

การให้ความร้อนแก่ข้าวเปลือกที่แช่น้ำแล้วนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้าวเปลือกดังนี้ (Araullo et al., 1976)

1. ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดน้ำปริมาณมากโดยการควบแน่น
2. สารที่สามารถละลายน้ำได้กระจายตัวภายในเมล็ดข้าว
3. ลักษณะที่เป็นเม็ดแป้งในเนื้อเมล็ดละลายเป็นแป้งเปียก (pasty) เนื่องจากเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ช
4. รอยแตกของผิวเมล็ดถูกเชื่อม และเนื้อเมล็ดจะจับแน่นขึ้น
5. ยับยั้งการเจริญของสปอร์ของรา ไข่หรือตัวอ่อนของแมลง รวมถึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

ระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนต้องควบคุมให้เหมาะสม ซึ่งอาจสัมพันธ์กับสายพันธุ์ของข้าวด้วย (Luh and Mickus,1980)

อุณหภูมิของไอน้ำมีผลต่อสีของข้าวทำให้ข้าวมีสีเข้มขึ้น แม้ว่ายังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด แต่นอกจากจะเกิดเพราะรงควัตถุจากเปลือกข้าวและรำข้าวแล้ว อาจเกิดเพราะการดูดซึมน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน และการหลอมละลายของชั้นแอลิวโรนติดไปกับเนื้อเมล็ด อย่างไรก็ตาม วิธีนึ่งดั้งเดิมที่ชาวตะวันออกนิยม คือการใช้ไอน้ำปราศจากความดัน (100 ^{0}C) ซึ่งพบความแปรผันด้านสีไม่มากนัก

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวนึ่งที่ควรคำนึงถึง ได้แก่ ปริมาณน้ำที่เมล็ดดูดซึมไว้ ระยะเวลาในการนึ่ง อุณหภูมิหรือความดันของไอน้ำ ซึ่งปัจจัยทั้งหลายนี้ ทำให้ได้ข้าวนึ่งหลายแบบ และมีระดับของการเจลาติไนเซชันต่างกัน ดังนี้ “Fully parboiled rice” คือข้าวที่สตาร์ชทั้งหมดในเมล็ดเกิดเจลาติไนเซชันตลอดทั้งเมล็ด “Partially/ Surface parboiled rice” หมายถึงข้าวที่เกิดเจลาติไนเซชันเพียงผิวของเมล็ด และยังมีส่วนที่เป็นท้องไข่ (ข้าวที่ยังมีสีขาวขุ่นอยู่บริเวณกลางเมล็ด) “Light parboiled rice” หมายถึงข้าวนึ่งที่ได้จากการนึ่งในระยะเวลาไม่นาน และอุณหภูมิไม่สูงนัก และสุดท้ายคือ “Dark parboiled rice” คือข้าวที่นึ่งเป็นระยะเวลาที่นานมาก และที่อุณหภูมิสูงมากด้วย (Luh and Mickus, 1980)

โดยปกติ วิธีการนึ่งหลายวิธีนิยมใช้ไอน้ำภายใต้ความดัน 1-5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยระยะเวลานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของข้าวเปลือกที่จะนำไปนึ่ง สำหรับการนึ่งในระดับเล็ก อาจใช้ระยะเวลาเพียง 2-3 นาที การแยกออกของเปลือกอาจใช้เป็นดัชนีบอกการเสร็จสิ้นของการนึ่งได้ แต่ก็ไม่ใช่สภาวะที่จำเป็น บางครั้งการนึ่งที่เพียงพอไม่ทำให้เปลือกข้าวแยกออกก็ได้ ในโรงงานอุสาหกรรม จะใช้ไอน้ำที่ความดัน 4-5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 60 กิโลกรัมต่อข้าวเปลือก 1 ตัน (Araullo et al., 1976)

2.2.5 **การทำแห้ง** (Drying)

ข้าวนึ่งที่ได้จะมีความชื้นสูงมาก (45-50 %) และยังร้อนอยู่ ดังนั้นการทำแห้งข้าวนึ่งจึงไม่เหมือนกับการทำแห้งข้าวเปลือกดิบ การทำแห้งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดปริมาณความชื้นของข้าวนึ่งลงให้เหลือ 14-16 % โดยไม่ทำให้เกิดรอยแยก หรือแรงกดดัน (stress) ในส่วนเนื้อเมล็ดขึ้น ซึ่งอาจทำให้ข้าวแตกหักเมื่อนำไปสี

การนำความชื้นที่มากเกินออกจากเมล็ดข้าวเป็นเรื่องที่สำคัญ ถ้าอัตราการดึงน้ำออกช้ามาก จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ และทำให้ข้าวนึ่งเสีย ในทางตรงกันข้าม ถ้าทำแห้งข้าวนึ่งด้วยอัตราเร็วมากและต่อเนื่อง จะเกิดการแตกร้าวของเมล็ด ซึ่งจะเกิดข้าวหักเมื่อนำไปสี อย่างไรก็ตาม

การทำแห้งที่ใช้ในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธี (ตากในร่ม ตากแดด หรือใช้ลมร้อน) โดยไม่พบข้าวแตกหักเลย แต่การทำแห้งที่ไม่เหมาะสม อาจเกิดข้าวหักได้สูงถึง 100 %

เมื่อทำแห้งข้าวนึ่งอย่างรวดเร็ว จะเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำที่เมล็ดดูดซึมในช่วงการแช่จากใจกลางเมล็ดสู่ผิว ทำให้เกิดแรงกดดัน เมล็ดข้าวจะปริออกเพื่อบรรเทาแรงกดดันที่เกิดขึ้น รอยแยกนี้เกิดแบบไม่ย้อนกลับ และทำให้เกิดแนวอ่อนแอขึ้น ซึ่งเมื่อได้รับแรงอัดจากการสีด้วยเครื่องสีข้าวจะเกิดการหักของเมล็ดได้ ปรากฏการณ์นี้ก็พบได้กับการสีข้าวเปลือกธรรมดาเช่นกัน

ในช่วงการทำแห้ง มี 2 จุดที่สำคัญมาก จุดแรกคือการหักของเมล็ดจะไม่เกิดขึ้นตลอดการทำแห้ง แต่จะเกิดเมื่อปริมาณความชื้นถึง หรือผ่าน 18 % ไปแล้ว ไม่ว่าการทำแห้งจะเร็วหรือช้าก็ตาม หลังจากนั้นการหักของเมล็ดจะเกิดอย่างรวดเร็ว จุดที่ 2 การหักของเมล็ดจะไม่เกิดขึ้นในช่วง 2 ชั่วโมงของการทำแห้ง แต่หลังจาก 2 ชั่วโมงไปแล้วนั้นจะเริ่มเกิดขึ้น ได้มีการเสนอการทำแห้งแบบ 2 ช่วงเพื่อหลีกเลี่ยงการหักของเมล็ด ซึ่งจะคั่น 2 ช่วงนั้นด้วย tempering period ในช่วงแรกจะทำแห้งให้มีความชื้นเหลือประมาณ 25 % จากนั้นเข้าสู่ tempering period เพื่อให้เมล็ดมีความชื้นเท่ากันทั้งเมล็ด แล้วจึงทำแห้งต่อให้มีความชื้นเหลือ 14-16 % ในทางปฏิบัติแล้ว วิธีที่มักจะใช้มากคือการตากแดด และการทำแห้งด้วยเครื่องจักร

การทำแห้งด้วยเครื่องจักรเพิ่งเริ่มใช้เมื่อไม่นานนัก โดยการเป่าลมร้อนผ่านเมล็ด ซึ่งลมร้อนจะระเหยเอาความชื้นออกไป ความชื้นส่วนใหญ่ของข้าวที่นึ่งมาใหม่ ๆ จะอยู่บริเวณผิว อัตราการระเหยเอาความชื้นออกจากผิวของเมล็ด จึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการระเหยน้ำของลมที่ใช้ทำแห้ง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากระเหยน้ำที่ผิวออกหมด อัตราการระเหยจะลดลง และจะขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากใจกลางเมล็ดมาสู่ผิว ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะของเมล็ด ดังนั้นการใช้อุณหภูมิของลมที่ใช้ทำแห้งสูงในช่วงนี้ จะไม่ทำให้อัตราการระเหยน้ำออกเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้การทำแห้งที่รวดเร็วในระดับอุตสาหกรรม โรงงานจะใช้อุณหภูมิลมสูง ๆ ประมาณ 120 ^{0} C ได้มีการทดลองจาก Rice Process Engineering Center พบว่า การใช้อุณหภูมิลมร้อนแบบผสม จะทำให้ได้การทำงานของเครื่องทำแห้งที่เหมาะสม โดยการระเหยเอาน้ำที่ผิวของข้าวออกในช่วงแรก ควรใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 ^{0} C ส่วนการทำแห้งในช่วงที่ 2 เพื่อระเหยเอาน้ำส่วนที่อยู่ภายในเมล็ดออก อุณหภูมิของลมร้อนควรอยู่ที่ 75 ^{0} C เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ก็ไม่ทำให้อัตราการระเหยเพิ่มขึ้น

มีเครื่องจักรหลายแบบที่ใช้ในการทำแห้งข้าวนึ่ง เช่น circulation continuous belt drier, fluidized bed drier, vibrating conveyer drier, rotary drier, air vacuum drier และ flat-bed drier ในวิธีการทำข้าวนึ่งสมัยใหม่ จะใช้การให้ความร้อนในสุญญากาศ หรือโดยให้สัมผัสกับพื้นผิวที่ร้อนแทนที่จะให้ลมร้อนพัดผ่าน

เมื่อทำแห้งเสร็จและก่อนที่จะสีข้าว ควรเก็บข้าวที่ได้ไว้ระยะเวลาหนึ่ง หรือ 2-3 วัน เพื่อให้ความชื้นกระจายทั่วทั้งเมล็ด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันระหว่างเนื้อเยื่อที่มีความชื้นต่างกัน (Araullo et al., 1976)

2.2.6 **ข้อดีและข้อเสียของการทำข้าวนึ่ง** (Araullo et al., 1976)

การทำข้าวนึ่งมีข้อดีดังนี้

1. การกะเทาะเปลือกข้าวนึ่งง่ายขึ้น เพราะขณะนึ่งเปลือกข้าวจะแยกออก
2. ปริมาณข้าวหักน้อยลง เพราะข้าวนึ่งมีความแข็งมากขึ้น
3. ข้าวนึ่งจะมีปริมาณโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุสูงกว่าข้าวสารพันธุ์เดียวกัน
4. เนื่องจากข้าวนึ่งมีความแข็ง ทำให้ช่วยป้องกันแมลงทำลายในช่วงการเก็บได้ดีกว่าข้าวธรรมดา
5. การสูญเสียของแข็งลงในน้ำต้มข้าวน้อยกว่า
6. ข้าวนึ่งจะไม่เหลวเป็นแป้งเปียกเมื่ออุ่นข้าวไว้นานเกินไป
7. รำข้าวจากข้าวนึ่งมีปริมาณน้ำมันประมาณ 25-30 % ขณะที่รำข้าวจากข้าวธรรมดาจะมีประมาณ 15-20 % เพราะการให้ความร้อนแก่ข้าวนึ่งจะไปทำลายเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเป็นตัวการสำคัญของการ hydrolysis น้ำมัน (ซึ่งจะก่อให้เกิดกรดไขมันอิสระ) ดังนั้นน้ำมันที่ได้จากรำข้าวนึ่งจึงมีคุณภาพดีกว่า เพราะมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า

การทำข้าวนึ่งมีข้อเสียดังนี้

1. การให้ความร้อนในการทำข้าวนึ่ง ไปทำลายสาร antioxidant ซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติ ทำให้ข้าวนึ่งจะเกิดกลิ่นหืนได้เร็วกว่า
2. ข้าวนึ่งต้องใช้เวลาในการหุงมากกว่าข้าวธรรมดา เพื่อให้ได้ความนิ่มของข้าวเท่ากัน และยังให้รสชาติ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และสีไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้ที่รับประทานข้าวธรรมดา

3. เนื่องจากข้าวนึ่งนั้นมีปริมาณความชื้นสูงอยู่ระยะเวลานาน อาจเกิดสารพิษจากราซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้
4. การทำแห้งข้าวนึ่งจากความชื้น 45-50 % ให้เหลือ 14-16 % เพื่อให้เหมาะต่อการนำไปสีนั้น ค่าใช้จ่ายสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงด้วย
5. ข้าวนึ่งที่กะเทาะเปลือกออกแล้วยากต่อการนำไปขัดขาว เพราะมีความแข็งมากทำให้ส่วนที่สีออกมามีน้อย และต้องใช้พลังงานในการสีเพิ่มขึ้น
6. การขัดขาวข้าวนึ่งอาจทำให้เครื่องจักรขัดข้องได้ เพราะรำของข้าวนึ่งมีปริมาณน้ำมันสูง
7. การทำข้าวนึ่งต้องการการลงทุนที่สูง

2.2.7 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำข้าวนึ่ง

(1) ผลของการทำข้าวนึ่งต่อคุณค่าทางโภชนาการ

ความเข้มข้นของสารอาหารในรำข้าวจะสูงกว่าในข้าวสาร (raw rice) และในข้าวนึ่ง (parboiled rice) ดังตารางที่ 2.3 ทั้งนี้เพราะรำข้าวคือส่วนเนื้อเยื่อชั้นนอกของข้าว ซึ่งเป็นส่วนที่มีสารอาหารอยู่มาก

การสูญเสียสารอาหารเนื่องจากการขัดสีลดลงเมื่อทำข้าวนึ่ง โดยข้าวนึ่งจะมีปริมาณวิตามิน โปรตีน และแร่ธาตุสูง รวมถึงมีการสูญเสียสารอาหารในระหว่างการหุงน้อยกว่าข้าวสารทั่วไป การที่ข้าวนึ่งมีสารอาหารสูงอาจเกิดจาก: (1) การแพร่ของวิตามินและสารอาหารอื่น ๆ เข้าสู่เนื้อเมล็ด และถูกเชื่อมด้วยความร้อน; และ (2) ข้าวนึ่งจะถูกขัดสีข้าวในระดับต่ำกว่าข้าวสารทั่วไป ซึ่งทำให้รำข้าวและสารอาหารถูกขัดออกไปน้อย (Araullo et al., 1976)

ข้าวนึ่งมีปริมาณน้ำมันหรือไขมันต่ำกว่าข้าวสารทั่วไป เพราะในช่วงของการแช่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์ โดยเกิดการปลดปล่อยน้ำมันออกมาจากสภาวะที่จับอยู่กับองค์ประกอบในเมล็ดข้าว และการนึ่งทำให้น้ำมันเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณส่วนขอบของเมล็ด ซึ่งจะถูกขัดออกไปกับรำข้าวในช่วงขัดสี เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในรำข้าวที่ได้จากข้าวนึ่ง จะพบว่ามีปริมาณน้ำมันสูงกว่าน้ำมันจากรำข้าวปกติ (Padua and Juliano, 1974)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของข้าวและผลิตภัณฑ์จากการขัดสี

องค์ประกอบต่าง ๆ	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวนึ่งเมล็ดยาว	Rice bran	Rice polish
น้ำ (%)	12.0	12.0	10.3	9.7	9.8
โปรตีน (%)	7.5	6.7	7.4	13.3	12.1
ไขมัน (%)	1.9	0.4	0.3	15.8	12.8
เถ้า (%)	1.2	0.5	0.7	10.4	7.6
คาร์โบไฮเดรต					
ทั้งหมด (%)	77.4	80.4	81.3	50.8	57.7
เส้นใย (%)	0.9	0.3	0.2	11.5	2.4
เกลือแร่และวิตามิน					
(มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)					
แคลเซียม	32	24	60	76	69
ฟอสฟอรัส	111	94	200	1386	1106
เหล็ก	1.6	0.8	(2.9)	19.4	16.1
โซเดียม	9	5	9	trace	trace
โพแทสเซียม	214	92	150	1495	714
ไธอะมิน	0.34	0.07	(0.44)	2.26	1.84
ไรโบเฟลวิน	0.05	0.03	(-)	0.25	0.18
ไนอะซิน	4.7	1.6	(3.5)	19.8	28.2

ที่มา Araullo et al.(1976)

Note: Values in parentheses for iron, thiamine, and niacin are based on minimum level of enrishment specified in standards of identity.Those required for riboflavin are presently not in effect.

(2) ผลของการทำข้าวนึ่งต่อคุณภาพการหุง

ในการหุงข้าวนึ่งต้องใช้ระยะเวลาหุงนานกว่าการหุงข้าวทั่วไปที่ระดับความนิ่มเท่ากัน โดยระยะเวลาในการหุงข้าวทั่วไปคือ 15-20 นาที แต่ข้าวนึ่งต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 30-40 นาที (Araullo et al.,1976) การนำข้าวนึ่งไปแช่น้ำเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนนำไปหุงจะช่วยลด

ระยะเวลาในการหุงลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวโดยการแช่น้ำ ทำให้การส่งผ่านความร้อนเกิดดีขึ้น โดยการแช่ข้าวนึ่งเป็นระยะเวลา 2-3 ชั่วโมงก่อนนำไปหุงจะลดระยะเวลาการหุงลงครึ่งหนึ่งของปกติ (Sowbhagya และ Ali, 1991)

ข้าวนึ่งหุงสุกจะมีการขยายตัวทางความกว้างมากกว่าความยาวเมื่อเทียบกับข้าวสุกทั่วไป การพองตัวของข้าวนึ่งสุกน้อยกว่าข้าวสุกปกติ แต่ข้าวนึ่งจะดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดได้มาก โดยไม่มีการสูญเสียรูปร่างของเมล็ด และข้าวนึ่งสุกจะแข็ง และมีลักษณะเมล็ดที่ใหญ่กว่าข้าวสุกทั่วไป เมื่อพิจารณาลักษณะภายนอกพบว่า มีลักษณะเมล็ดหยาบ และทึบมาก ข้าวนึ่งเมื่อยังไม่สุกจะมีสีออกเหลืองอัมพัน แต่เมื่อสุกแล้วจะมีสีไม่แตกต่างจากข้าวสุกทั่วไป(Araullo et al., 1976)

ได้มีการทดลองเสริมสารอาหารแก่ข้าวโดยใช้วิธีการทำข้าวนึ่ง Kondo และคณะ (1985) ทดลองเสริมไธอะมินลงในข้าวกล้องด้วยวิธี acid parboiling โดยเติมสารละลาย thiamine hydrochloride ในอัตราส่วน 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลาย กรดอะซิติก 1 % เป็นน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าว (soaking water) จากนั้นนำไปนึ่ง และทำแห้ง ได้ข้าวเสริมไธอะมินที่มีปริมาณไธอะมิน 400 ไมโครกรัมต่อข้าว 1 กรัม ซึ่งมากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ได้นึ่ง 100 เท่า และมากกว่าข้าวสารจากข้าวเปลือกที่ไม่ได้นึ่ง 1,000 เท่า เมื่อนำข้าวเสริมไธอะมินไปล้างและหุง จะเหลือปริมาณไธอะมิน 333 ไมโครกรัมต่อข้าว 1 กรัม

2.3 แร่ธาตุ

หน้าที่สำคัญของสารอาหารอาจแบ่งได้ 3 ประการ คือ เป็นแหล่งที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย สร้างเสริมเนื้อเยื่อ และควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึมให้เป็นไปอย่างปกติ (Williams, 1998) คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เป็นกลุ่มสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย ส่วนวิตามินและแร่ธาตุเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกาย

แร่ธาตุ คือธาตุเดี่ยวที่มีความเฉื่อย พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ แต่แร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายนั้นมีหน้าที่แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณที่ร่างกายต้องการต่างกันด้วย แร่ธาตุทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวสร้าง กระตุ้น จัดระเบียบ ส่งผ่าน และควบคุมในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยแร่ธาตุส่วน

ใหญ่ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ ของเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งในกระบวนการเมธาบอลิซึม แร่ธาตุแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการดังนี้ (Williams, 1998)

Major minerals คือแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณมาก มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน
Trace elements คือแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย

Major minerals แร่ธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ไม่ได้หมายความว่ามีความสำคัญมากกว่าแร่ธาตุอีกกลุ่มหนึ่ง แต่หมายถึงร่างกายต้องการในปริมาณมาก มี 7 ชนิด ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม คลอรีน และซัลเฟอร์

Trace elements แร่ธาตุในกลุ่มนี้ ไม่ใช่ว่ามีความสำคัญน้อยกว่ากลุ่มแรก แต่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย โดยแร่ธาตุแต่ละชนิดมีความจำเป็นแตกต่างกันตามหน้าที่ โดยแร่ธาตุที่เหลือทั้ง 18 ชนิดแสดงในตารางที่ 2.4

เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสร้างแร่ธาตุได้เอง ต้องได้รับจากการรับประทานอาหารเท่านั้น เมื่อร่างกายได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอ ร่างกายจะทำงานไม่ปรกติ นำไปสู่ปัญหาทางสุขภาพ ปริมาณแร่ธาตุบางชนิดที่ร่างกายต้องการแสดงในตารางที่ 2.5

2.4 ไอโอดีน

2.4.1 ความสำคัญของธาตุไอโอดีน

ไอโอดีนเป็นธาตุอโลหะ มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidize) ที่ดี ไม่พบอยู่ในรูปอิสระตามธรรมชาติ แต่พบอยู่ในรูปสารประกอบของไอโอไดด์ (I^-) และไอโอเดต (IO_3^-) อยู่บนเปลือกโลกและในน้ำทะเล และไอโอดีนเป็นจุลธาตุแรกที่ถือว่าจำเป็นต่อมนุษย์และสัตว์ (Ensminger et al., 1994)

ตารางที่ 2.4 Major minerals and trace elements in human nutrition

Major minerals (required Intake over 100 mg/day)	Trace elements	
	Essentials (required intake Under 100 mg/day)	Essentially unclear
Calcium (Ca)	Iron (Fe)	Silicon (Si)
Phosphorus (P)	Iodine (I)	Vanadium (V)
Sodium (Na)	Zinc (Zn)	Nickel (Ni)
Potassium (K)	Copper (Cu)	Tin (Sn)
Magnesium (Mg)	Manganese (Mn)	Cadmium (Cd)
Chlorine (Cl)	Chromium (Cr)	Arsenic (As)
Sulfur (S)	Cobalt (Co)	Aluminum (Al)
	Selenium (Se)	Boron (B)
	Molybdenum (Mo)	
	Fluorine (Fl)	

ที่มา Williams(1998)

ในคนปรกติจะมีไอโอดีนในร่างกายประมาณ 20-50 มิลลิกรัม ไอโอดีนประมาณร้อยละ 70-80 อยู่ในต่อมธัยรอยด์ ซึ่งต่อมธัยรอยด์ในคนปรกติหนักประมาณ 30 กรัม หรือขนาด 10-25 มิลลิลิตร ต่อมธัยรอยด์มีความสามารถในการใช้สารไอโอดีน และปริมาณไอโอดีนในต่อมธัยรอยด์จะมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณไอโอดีนในอาหารที่บริโภค ไอโอดีนจากอาหารจะถูกดูดซึมในลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดในรูปของไอโอไดด์ (I^-) โดยร้อยละ 30 จะส่งไปยังต่อมธัยรอยด์ ไอโอดีนจะถูกกำจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว โดยประมาณร้อยละ 70 ถูกกำจัดออกพร้อมปัสสาวะ (Hass, 2003) ต่อมธัยรอยด์จะจับไอโอไดด์ไว้เพื่อผลิตธัยรอยด์ฮอร์โมน ภายในต่อมธัยรอยด์ไอโอไดด์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ thyroid peroxidase และ hydrogen peroxide เป็นไอโอดีนดังสมการ

$$2I^- + H_2O_2 \xrightarrow{\text{peroxidase}} I_2 \text{ (active iodine)}$$

ตารางที่ 2.5 ปริมาณแร่ธาตุที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวันสำหรับคนไทย

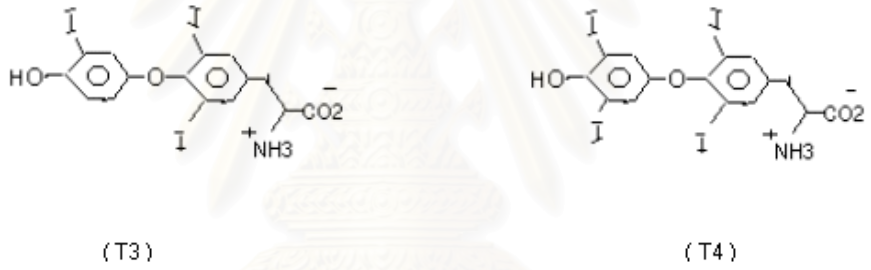
สถานภาพ	อายุ	น้ำหนัก (kg)	ส่วนสูง (cm)	Calcium (mg)	Phosphorus (mg)	Magnesium (mg)	Iron (mg)	Zinc (mg)	Iodine (μg)
เด็กแรกเกิด	< 3 เดือน	4	55	← ตามที่ได้รับจากนมแม่ →					
	3-5	6	59	360	240	50	6	3	40
	6-8	7	67	420	280	70	7	5	50
	9-11	8	70	480	320	70	8	5	50
เด็กอายุ (ปี)	1-3	12	84	800	800	150	10	10	70
	4-6	16	106	800	800	200	10	10	90
	7-9	22	121	800	800	250	10	10	120
เด็กผู้ชาย	10-12	29	135	1200	1200	350	12	15	150
	13-15	42	154	1200	1200	350	12	15	150
	16-19	54	166	1200	1200	400	10	15	150
เด็กผู้หญิง	10-12	31	138	1200	1200	350	15	15	150
	13-15	44	152	1200	1200	350	15	15	150
	16-19	48	155	1200	1200	400	15	15	150
ผู้ชาย	20-29	58	166	800	800	350	10	15	150
	30-39	58	166	800	800	350	10	15	150
	40-49	58	166	800	800	350	10	15	150
	50-59	58	166	800	800	350	10	15	150
	>60	58	166	800	800	350	10	15	150
ผู้หญิง	20-29	50	155	800	800	300	15	15	150
	30-39	50	155	800	800	300	15	15	150
	40-49	50	155	800	800	300	15	15	150
	50-59	50	155	800	800	300	10	15	150
	>60	50	155	800	800	300	10	15	150
หญิงมีครรภ์				+400	+400	+150	+30	+5	+25
ช่วงให้นมบุตร	0-5 เดือน			+400	+400	+150	15	+10	+50
	>6 เดือน			+400	+400	+150	15	+10	+50

ที่มา สิริพันธุ์ จุลกรังคะ(2542)

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีเครื่องหมาย + นำหน้า หมายถึงปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับเพิ่มจากปริมาณสารอาหารที่หญิงวัย 20-39ปี ควรได้รับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไอโอดีนที่ได้ร่างกายจะนำไปสร้างฮอร์โมน thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3) (รูปที่ 2.5) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน tyrosine กลไกการสร้างฮอร์โมน thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3) โดยไอโอดีนจะจับกับ 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, Phillip and Smith, 1973)



รูปที่ 2.5 thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3)
(อนามัย, 2535)

ฮอร์โมน thyroxine และ triiodothyronine มีหน้าที่ควบคุมการเผาผลาญอาหารเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกาย และเป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะโครงร่างของร่างกาย ระบบประสาท และสมอง เมื่อขาดสารไอโอดีน ทำให้ร่างกายลดการผลิตธัยรอยด์ฮอร์โมนลง การลดระดับ thyroxine จะไปกระตุ้นต่อม pituitary ที่ควบคุมการผลิตธัยรอยด์ฮอร์โมนให้เพิ่มปริมาณการผลิต เป็นผลให้ต่อมธัยรอยด์ทำงานหนักมากขึ้น และมีลักษณะโตขึ้น ซึ่งเรียกว่า คอพอก (Goiter) การขาดสารไอโอดีนเกิดได้ทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะในหญิงมีครรภ์จะ

ทำให้เกิดการแท้งได้ อัตราการตายของทารกและมารดาจากการคลอดสูง และทารกอาจมีความพิการมาแต่กำเนิด (congenital anomalies) เช่น หูหนวก เป็นใบ้ เมื่อเด็กเจริญเติบโตขึ้นจะมีรูปร่างเตี้ยแคระ ปัญญาอ่อน พุงยื่น หลังแอ่น หน้าผากแคบ และจมูกบาน ซึ่งเรียกว่า ภาวะเครติน (Cretinism) (ปราณีต ผ่องแผ้ว, 2539)

2.4.2 แหล่งของธาตุไอโอดีนในอาหารและความต้องการของร่างกายมนุษย์

ความต้องการสารไอโอดีนของร่างกายขึ้นอยู่กับช่วงอายุ และสภาพร่างกาย แต่เมื่อเทียบกับปริมาณไอโอดีนที่ได้รับทั้งหมดต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกขับออกมากับปัสสาวะ ร่างกายจะมีความต้องการไอโอดีนในปริมาณต่ำสุด 50 ไมโครกรัม และปริมาณมากสุด 1,000 ไมโครกรัม (Ranganathan, Reddy and Ramamoorthy, 1996) โดยปริมาณไอโอดีน 50-75 ไมโครกรัมต่อวัน เพียงพอสำหรับป้องกันการเกิดคอพอกในผู้ใหญ่ แต่เพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายในกรณีที่ได้รับสาร goitogens ซึ่งสามารถยับยั้งการดูดซึมไอโอดีนได้ วัยรุ่นและผู้ใหญ่ทั้งสองเพศจึงควรได้รับไอโอดีนประมาณ 150 ไมโครกรัมต่อวัน (อนามัย, 2532)

ไอโอดีนมีมากบนผิวหน้าดินในรูปของไอโอไดด์ และดูดซึมโดยพืช ปริมาณไอโอดีนที่มนุษย์ต้องการในแต่ละวัน ประมาณร้อยละ 90 ได้จากอาหาร และร้อยละ 10 ได้จากน้ำ โดยปริมาณไอโอดีนในเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และปริมาณไอโอดีนในพืชขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ใช้เพาะปลูก (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542) ไอโอดีนถูกพบในอาหารทะเล เนื้อ นม ผัก และผลไม้ โดยสามารถจำแนกปริมาณไอโอดีนในอาหารประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 แหล่งไอโอดีนในอาหารต่าง ๆ

Iodine Concentrations (mg/100g)	Dietary Sources
High (30-500)	Seafood- Cod, oysters, clams, haddock, lobster, shrimp, flounder, halibut, herring Nuts/Seeds-Sunflower seeds Miscellaneous-Kelp, Irish moss, cod-liver oil, mushrooms
Medium (10-50)	Seafood-Eel, catfish,sea bass, sardines, tuna, mackerel,abalone, crab, sea trout, salmon, perch, sole, bluefish Meat/Organs-Eggs, beef liver Nuts/Seeds-Peanuts Fruits-Pineapple Vegetables-Spinach, turnip greens, chard, pickles,asparagus Dairy products-Cheddar cheese Miscellaneous-Chocolate, bone meal, iodized salt, mayonnaise
Low (1-10)	Seafood-Carp, river bass, lake trout, river perch Nuts/Seeds-Wallnuts, almonds, cashews Grains-Rice, wheat, barley, oats, rye, wheat germ Fruits-Raisins, pears, apples, cranberries, bananas, cantaloupe, grapefruit, lemons, peaches Vegetables-Soybeans, carrots, turnips, potatoes, cabbage, peas, beans, tomatoes, green peppers,corn, squash, sweet potatoes, pumpkin, cauliflower, beets, onions, cucumber, lettuce, avocados, broccoli, collards, mustard greens Dairy products-Milk, cheese Zcheddar, cottage), butter Miscellaneous-Honey, margarine, molasses

ที่มา Kutsky(1981)

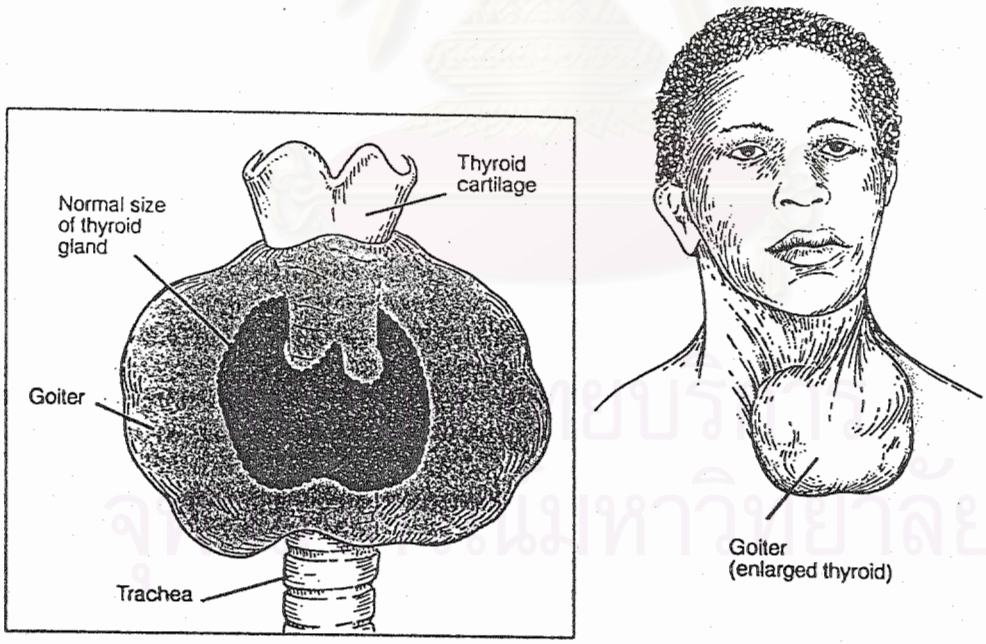
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3 โรคที่เกิดจากการขาดสารไอโอดีน

การได้รับสารไอโอดีนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ดังนี้

1) **โรคคอพอก** (Goiter) เกิดจากการที่ร่างกายขาดไอโอดีนเป็นระยะเวลานาน ทำให้ต่อมธัยรอยด์ไม่สามารถผลิตฮอร์โมนธัยรอกซินได้อย่างเพียงพอ ทำให้ต่อม pituitary ผลิต Thyroid-stimulating hormone (TSH) ออกมามาก ทำให้ต่อมธัยรอยด์ขยายขนาดขึ้นเรื่อย ๆ โดยต่อมธัยรอยด์สามารถขยายขนาดได้ถึง 0.45-0.67 กิโลกรัม เมื่อขาดไอโอดีนเป็นระยะเวลานาน ๆ ลักษณะการเกิดโรคคอพอกแสดงในรูปที่ 2.6 (Williams, 1998)

2) **ภาวะเครติน** (Cretinism) เกิดในเด็กทารกที่ขาดสารไอโอดีนตั้งแต่อยู่ในครรภ์มารดาและไม่ได้รับสารไอโอดีนต่อเนื่องในช่วงของการเจริญเติบโต จะมีภาวะผิดปกติทั้งทางร่างกายและจิตใจ เช่น หูหนวก หรือเป็นใบ้ตั้งแต่กำเนิด และเมื่อเด็กเจริญเติบโตขึ้น จะมีอาการชัดเจนขึ้น คือ รูปร่างเตี้ย แคระ ปัญญาอ่อน พุงยื่น หลังแอ่น หน้าผากแคบ และจมูกแบน แต่ถ้าได้รับการรักษาทันที อาจแก้ไขปัญหาได้(ปราณีต ผ่องแผ้ว, 2539; Williams,1998)



รูปที่ 2.6 ลักษณะของโรคคอพอก (Goiter) เนื่องจากการขาดสารไอโอดีนเป็นระยะเวลานาน (Williams, 1998)

2.4.4 ภาวะการขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย

โรคขาดสารไอโอดีน เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย มีการรายงานโรคขาดสารไอโอดีนครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2496 ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี พ.ศ.2498 มีการสำรวจภาวะคอพอกในเด็กนักเรียน จังหวัดแพร่ พบว่า ในบางโรงเรียนมีอัตราคอพอกสูง ถึงร้อยละ 90 กระทรวงสาธารณสุขจึงได้มีการเสริมไอโอดีน ให้แก่ประชากรในภาคเหนือ จนอัตราคอพอกในเด็กนักเรียน ในจังหวัดแพร่ลดลง จนเกือบเป็นศูนย์ ในปี พ.ศ.2533-2534 โครงการควบคุมโรคขาดสารไอโอดีนแห่งชาติ จึงเริ่มขึ้น โดยกลยุทธ์หลักที่ใช้ในการดำเนินงาน คือ การใช้เกลือเสริมไอโอดีน อัตราการเกิดโรคคอพอกในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2532-2538 มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 2.7) (สายพิณ เมฆวิเชียร, ปิยนิตย์ ธรรมาภรณ์พิลาส และแสงโสม สีนะวัฒน์, 2546)

รูปที่ 2.7 อัตราการเกิดคอพอกในประเทศไทย
(แสงโสม สีนะวัฒน์, 2538)

โดยเฉลี่ยปริมาณไอโอดีน ที่ประชาชนไทยได้รับในแต่ละวัน รวม 187 ไมโครกรัม ซึ่งจัดว่าเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เมื่อเทียบกับข้อกำหนดสารอาหาร ที่ควรได้รับประจำวัน สำหรับคนไทย (150 ไมโครกรัม) และปริมาณไอโอดีนที่ได้รับนั้น ร้อยละ 60 มาจากเกลือเสริมไอโอดีน ร้อยละ 37 จากอาหารตามธรรมชาติ นอกนั้นได้จากแหล่งอาหารอื่น ที่มีการเสริมไอโอดีนที่สำคัญคือ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เมื่อจำแนกปริมาณไอโอดีนที่ได้รับรายภาค (ตารางที่ 2.7) พบภาคเหนือได้รับปริมาณไอโอดีนสูงสุด 273 ไมโครกรัมต่อวัน รองลงมาได้แก่ ภาคใต้ (202) ภาคกลาง (200) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้รับไอโอดีนในปริมาณต่ำสุด เพียง 120 ไมโครกรัมต่อวัน โดยได้รับไอโอดีนจากอาหารตามธรรมชาติ ในปริมาณใกล้เคียงกับภาคอื่น (69 ไมโครกรัมต่อวัน) แต่

ได้รับไอโอดีนจากเกลือเพียง 49 ไมโครกรัมต่อวัน ในขณะที่ภาคอื่นได้รับเฉลี่ย 127-200 ไมโครกรัมต่อวัน ทั้งนี้เป็นผลมาจาก ทั้งปริมาณการบริโภคเกลือที่ต่ำ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (3.2 กรัมต่อวัน) และความครอบคลุมของเกลือไอโอดีนที่ต่ำมาก (50.5%) ในส่วนของอาหารเสริมไอโอดีน ที่กำลังอยู่ในระหว่างพัฒนาการกระจายทางการตลาด และควบคุมคุณภาพ หากสามารถส่งเสริมให้ประชาชนไทย บริโภคไข่สดเสริมไอโอดีน แทนไข่สดธรรมดา จะช่วยให้เพิ่มปริมาณไอโอดีนที่ได้รับ เฉลี่ยอีก 35 ไมโครกรัมต่อวัน (สายพิณ เมฆวิเชียร และคณะ, 2546)

การได้รับไอโอดีนจากอาหารตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอต่อความต้องการไอโอดีนในแต่ละวันของร่างกาย นอกจากเกลือเสริมไอโอดีนแล้ว ควรพิจารณาการเสริมไอโอดีน ในแหล่งอื่น เช่น น้ำปลา ไข่สด เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณการบริโภคเกลือต่ำ (สายพิณ เมฆวิเชียร และคณะ, 2546) ดังนั้น การเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะทำให้ประชากรได้รับไอโอดีนเพียงพอในแต่ละวัน

ตารางที่ 2.7 ปริมาณไอโอดีนที่ได้รับจากการบริโภคแยกตามภาค

ปะเภทอาหาร	ปริมาณไอโอดีนที่ได้รับจากการบริโภค (ไมโครกรัม)									
	ภาคกลาง		ภาคเหนือ		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคใต้		รวมทั้งประเทศ	
	ไมโครกรัม	ร้อยละ	ไมโครกรัม	ร้อยละ	ไมโครกรัม	ร้อยละ	ไมโครกรัม	ร้อยละ	ไมโครกรัม	ร้อยละ
เกลือเสริมไอโอดีน	127.55	63.67	200.97	73.57	48.48	40.37	127.07	62.88	113.37	60.68
อาหารตามธรรมชาติ	62.24	32.07	68.43	25.05	68.85	57.34	72.01	35.63	68.61	36.72
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	8.54	4.26	3.75	1.37	2.75	2.29	3.00	1.48	4.85	2.60
รวม	**200.33**	**100**	**273.15**	**100**	**120.08**	**100**	**202.08**	**100**	**186.83**	**100**

ดัดแปลงจาก สายพิณ เมฆวิเชียร และคณะ (2546)

แต่พบว่าการแก้ปัญหาโดยให้เกลือเสริมไอโอดีน มีความเสี่ยงต่อการได้รับสารไอโอดีนมากเกิน เนื่องจากความไม่รู้ของผู้บริโภคได้ (Hass, 2003)

2.4.5 ผลของการได้รับสารไอโอดีนมากเกิน

การได้รับสารไอโอดีนมากเกินไป ทำให้เกิดผิวหนังมีลักษณะเหมือนเกิดสิว หรือแผลฟกช้ำในวัยรุ่นหรือช่วงผู้ใหญ่ตอนต้น และอาจทำให้เกิดอาการคอพอกได้ (Williams, 1998) แต่ถ้าได้รับสารไอโอดีนปริมาณมาก ๆ เป็นเวลานาน เช่น เกินวันละ 2,000 ppm ทำให้เกิดโรคคอพอกเป็นพิษ (Hyperthyroidism) ถ้าบริโภคโดยตรง 2 กรัมในครั้งเดียว ทำให้เกิดอาการปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เกิดแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้ ปอดอักเสบ ไตวาย หมดสติ และเสียชีวิตได้ (อนามัย, 2535)

2.4.6 ความสามารถของร่างกายในการดูดซึมธาตุไอโอดีนไปใช้ (Iodine bioavalibility)

Iodine Bioavalibility หมายถึงอัตราส่วนของไอโอดีนที่ถูกดูดซึมจากอาหารเข้าสู่ร่างกายต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกนำไปใช้สร้างธัยรอยด์ฮอร์โมน (Hurrel, 1998)

ไอโอดีนจากอาหารและน้ำจะถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารเข้าสู่ร่างกายในรูปของไอโอไดด์ ส่วนไอโอดีนในรูปแบบอื่นจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นไอโอไดด์ก่อนถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ร่างกายจะนำไอโอดีนที่ถูกดูดซึมไปใช้ในต่อมธัยรอยด์ ที่เหลือจะถูกขับออกผ่านไตในรูปปัสสาวะภายใน 24-48 ชั่วโมง โดยปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะจะเท่ากับร้อยละ 85-90 ของปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซึม (Lamberg, 1993) แต่ในอาหารบางชนิด มีสารที่ขัดขวางการดูดซึมไอโอดีน ได้แก่สารพวก goitogens พบในพืชบางชนิดเช่น หัวผักกาด พีช แพร์ สตรอเบอรี่ แครรอท (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542)

ภายในต่อมธัยรอยด์นี้ไอโอไดด์จะถูกออกซิไดซ์เป็นไอโอดีน แล้วจับกับ tyrosine สร้างเป็น diiodotyrosine, triiodotyrosine และ thyroxine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีไอโอดีนอยู่ แล้ว thyroxine จะจับกับโกลบูลินเป็น thyroglobulin ซึ่งเป็นรูปที่ถูกเก็บสะสมไว้ในต่อมธัยรอยด์ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542)

ฑิติกาน เมฆจรัสกุล (2545) ทดลองศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซึมไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีน โดยการวัดปริมาณไอโอดีนที่ถูกขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะ และถือว่าองค์ประกอบของอาหาร ไม่มีผลต่อการนำไอโอดีนไปใช้สร้างธัยรอยด์ฮอร์โมน โดยใช้อาสาสมัครที่ได้

รับการคัดเลือก 10 คน ชาย 5 คนและหญิง 5 คน โดยให้รับประทานอาหารตามที่กำหนดเป็นระยะเวลา 5 วัน โดยวันที่ 3 เป็นวันที่ได้รับประทานข้าวเสริมไอโอดีน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะของอาสาสมัครในวันที่ 3 ซึ่งเป็นวันที่ได้รับประทานข้าวเสริมไอโอดีน มีปริมาณไอโอดีนเพิ่มขึ้นกว่าวันอื่น ๆ แสดงว่าร่างกายสามารถดูดซึมไอโอดีนที่เสริมในข้าวเสริมไอโอดีนไปใช้ได้ดี

2.4.7 **รูปแบบของธาตุไอโอดีนที่ใช้ในอาหาร**

โดยปรกติแล้วไอโอดีนเป็นธาตุที่ระเหยง่าย เมื่อสัมผัสกับแสงแดด และความร้อน (Mcdowell, 1992) การนำไอโอดีนมาใช้ประโยชน์จะนิยมในรูปของสารประกอบของไอโอดีน ซึ่งมี 2 รูปแบบที่นิยมคืออัลคาไลไอโอไดด์ และอัลคาไลไอโอเดต โดยอัลคาไลไอโอเดตมีความคงตัวในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าอัลคาไลไอโอไดด์ โดยเฉพาะสภาวะอากาศร้อนชื้น (oxidizing condition) แต่มีสมบัติในการละลายต่ำกว่าอัลคาไลไอโอไดด์ อัลคาไลไอโอเดตที่นิยมใช้มักอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับเกลือ ซึ่งจะไม่ระเหยง่ายเหมือนกับเกลือไอโอไดด์ และไม่ทำให้เกิดพิษต่อร่างกายเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม (Mcdowell, 1992)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารประกอบไอโอดีนในรูปของโพแทสเซียมไอโอเดตในการเสริมในข้าวนึ่ง เนื่องจากมีสมบัติที่เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัย

ส่วนที่ 1 ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างน้ำนม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเสริมจุลธาตุไอโอดีนในเมล็ดข้าว ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินผลที่สำคัญ คือ ปริมาณไอโอดีนที่มีอยู่หลังจากการเสริม ดังนั้นความถูกต้อง และความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน ซึ่งเป็นจุลธาตุปริมาณน้อย (ไมโครกรัม) และมักไม่มีการตรวจวิเคราะห์กันทั่วไปในอาหาร จึงมีความสำคัญมาก โดยเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro Scale ซึ่งเป็นวิธีที่มีความไว (sensitivity) ต่อการวิเคราะห์สูงกว่าวิธีแบบ Micro Scale (ชุติมา, 2543) ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างน้ำนมตรา Alacta-NF ที่ทราบปริมาณไอโอดีนซึ่งระบุไว้ที่ข้างกล่อง เพื่อหาความถูกต้องและความแม่นยำ และเพื่อเป็นการฝึกฝนความชำนาญในการวิเคราะห์ของผู้วิจัยเองอีกด้วย โดยทำการทดลองดังนี้

1.วิเคราะห์หาความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนแบบ Macro Scale ใช้ตัวอย่างน้ำนมตรา Alacta-NF และสารละลาย KIO_3 ที่ทราบปริมาณไอโอดีนที่แน่นอน

2. % Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro Scale ใช้ตัวอย่างน้ำนมตรา Alacta-NF ที่เติมสารละลาย KIO_3 ซึ่งทราบปริมาณไอโอดีนที่แน่นอน

ส่วนที่ 2 การเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าวโดยใช้วิธีการทำข้าวนึ่ง (Parboiled rice)

เสริมจุลธาตุไอโอดีนระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในเมล็ดข้าว 2 พันธุ์ โดยใช้วิธีการทำข้าวนึ่ง (Parboiled rice) ซึ่งใช้ข้าวกล้องและข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ จากนั้นนำข้าวนึ่งที่ผลิตได้มาวิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส และศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บที่มีต่อข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตได้ในช่วงระยะเวลา 8 เดือน

ส่วนที่ 3 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้ากับข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

เปรียบเทียบสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัส ระหว่างข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้าและข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในส่วนที่ 2

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างน้ำนม

3.1.1 ความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน

นำสารละลาย KIO_3 ที่มีความเข้มข้นของไอโอดีนเป็น 40 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และน้ำนมคืนรูปพร้อมดื่ม UHT รสจืด ตรา Alacta-NF ปริมาตรสุทธิ 180 มิลลิลิตร ที่ระบุปริมาณไอโอดีนตามข้อมูลทางโภชนาการไว้ข้างกล่อง คิดเป็นร้อยละ 30 ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน และเหมาะสำหรับเด็กวัย 1 ขวบขึ้นไป รวมถึงเด็กวัยเรียนและทุกคนในครอบครัว ซึ่งตามข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ,2532) กำหนดว่า เด็กอายุ 1-3 ปีต้องการไอโอดีน 70 ไมโครกรัมต่อวัน ดังนั้นในนม 1 กล่อง จะมีการระบุปริมาณไอโอดีนเท่ากับ 21 ไมโครกรัม และถ้าน้ำนมปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะมีปริมาณไอโอดีนเท่ากับ 11.67 ไมโครกรัม นำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนตัวอย่างละ 9 ซ้ำ เพื่อหาความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ไอโอดีน โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\% \text{ ความถูกต้อง} = \frac{\text{ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้}}{\text{ปริมาณไอโอดีนที่ระบุไว้}} \times 100$$

$$\text{ความแม่นยำ (\% CV)*} = \frac{SD \times 100}{Mean}$$

*CV = Coefficient of variation หรือ Relative standard deviation

3.1.2% Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีน

นำตัวอย่างน้ำนมคืนรูปชนิดธรรมดาพร้อมดื่ม UHT รสจืดตรา Alacta-NF ปริมาตรสุทธิ 180 มิลลิลิตร โดยมีปริมาณไอโอดีนตามข้อมูลทางโภชนาการที่ระบุไว้ข้างกล่องคิดเป็น 11.67 ไมโครกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร มาเติมสารละลาย KIO_3 (ความเข้มข้นของไอโอดีนเป็น 40 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนทั้งหมดในตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ 9 ซ้ำ และหา %Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีน โดยคำนวณจาก

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{ปริมาณไอโอดีนที่พบ } *}{\text{ปริมาณไอโอดีนที่เติม}} \times 100$$

* ปริมาณไอโอดีนที่พบ = ปริมาณไอโอดีนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้หลังจากการเติมสารละลาย KIO_3 ลบด้วยปริมาณไอโอดีนที่มีอยู่แล้วในตัวอย่าง

3.2 การเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าวโดยใช้วิธีการทำข้าวนึ่ง (Parboiled rice)

3.2.1 การผลิตข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ Split Split Plot Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษาดังนี้

Main Plot คือ พันธุ์ข้าว จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี

Sub Plot คือ ชนิดของวัตถุดิบในการทำข้าวนึ่ง จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ข้าวเปลือก และข้าวกล้อง

Sub Sub Plot คือ ระดับความเข้มข้นของสารละลาย KIO_3 ในน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าว จำนวน 3 ระดับดังนี้

C_1 = ไม่มีสารละลาย KIO_3ในน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าว

C_2 = มีสารละลาย KIO_3 ที่มีปริมาณไอโอดีน 500 ไมโครกรัมในน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าว ต่อข้าว 100 กรัม หรือคิดเป็นไอโอดีน 3.33 มิลลิกรัมต่อน้ำที่ใช้แช่ 1 ลิตร

C_3 = มีสารละลาย KIO_3 ที่มีปริมาณไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมในน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าว ต่อข้าว 100 กรัม หรือคิดเป็นไอโอดีน 6.67 มิลลิกรัมต่อน้ำที่ใช้แช่ 1 ลิตร

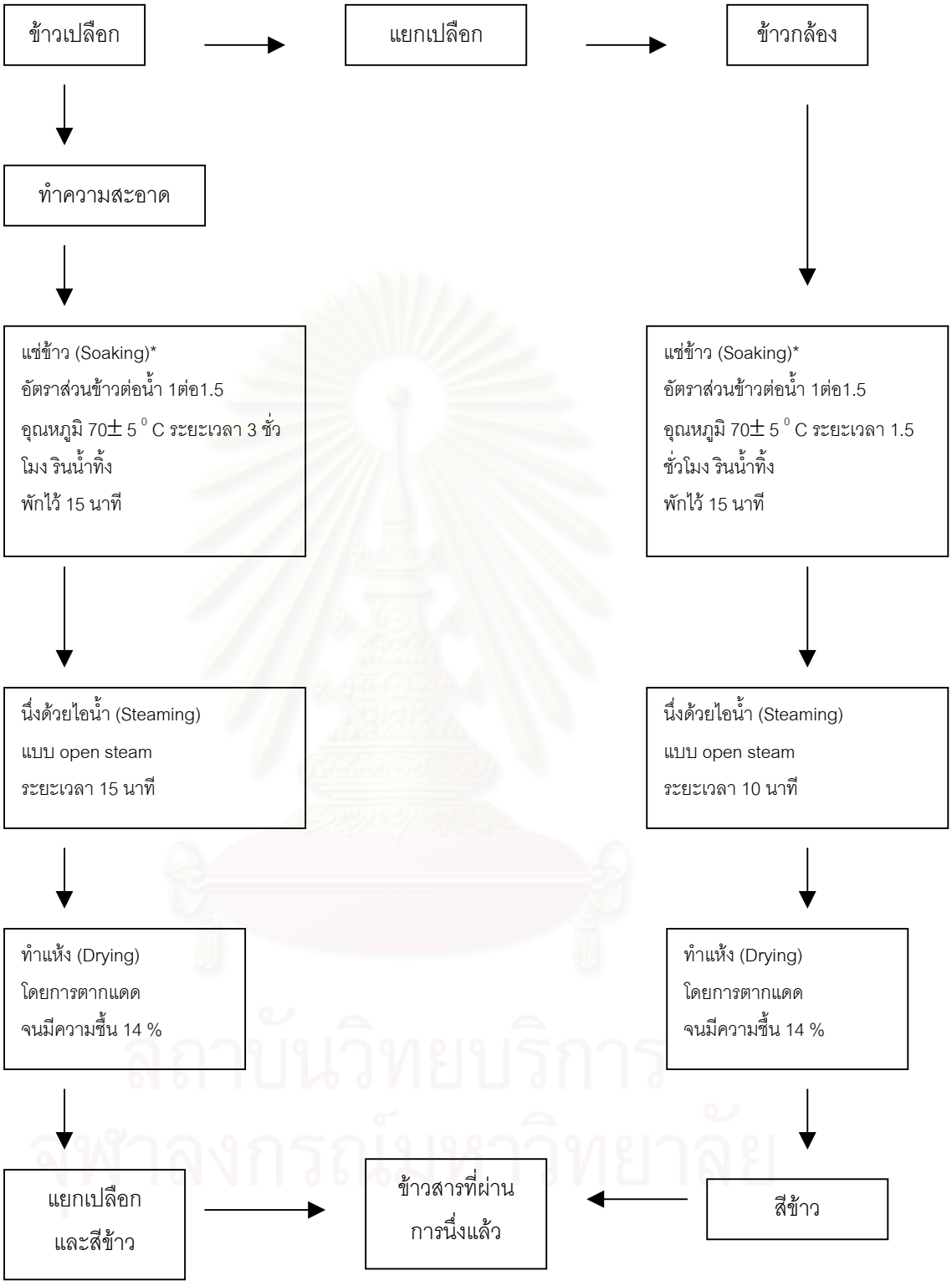
ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดปริมาณไอโอดีนที่เสริมในข้าวซึ่งได้จากการเติมในรูปสารละลาย KIO_3 ใส่ลงในน้ำที่ใช้สำหรับแช่ข้าว โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายจะแปรเป็น 3 ระดับ คือ ระดับที่ไม่มีการเสริมไอโอดีน และระดับที่มีการเสริมไอโอดีนอีก 2 ระดับ โดยจะเสริมไอโอดีนที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 20 เท่าของที่ชุติมา อัศวเสถียร (2543) ใช้ในการเคลือบข้าว โดยชุติมาคำนวณความเข้มข้นของไอโอดีนตามน้ำหนักสูตรให้มีความเข้มข้นของไอโอดีนเป็น 1 ใน 3 ของข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันตามของกระทรวงสาธารณสุข (150 ไมโครกรัม) การเสริมไอโอดีนด้วยวิธีการเคลือบข้าว จึงใช้ความเข้มข้นของไอโอดีนที่เสริม 50 ไมโครกรัม ต่อข้าวสารดิบ

100 กรัม ดังนั้นระดับความเข้มข้นของไอโอดีนที่จะใช้ในการเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าว ด้วยวิธีการทำข้าวนึ่ง คือ 500 ไมโครกรัม และ 1000 ไมโครกรัม ต่อข้าว 100 กรัม ซึ่งคิดเป็นความเข้มข้นของไอโอดีนเป็น 10 และ 20 เท่าของที่ใช้ในการเคลือบ เพราะวิธีการเสริมไอโอดีนแตกต่างกัน จึงต้องทำการปรับให้เหมาะสม

การผลิตข้าวนึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นดังนี้ (รูปที่ 3.1)

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนหลักในการผลิตข้าวนึ่ง

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้แตกต่างกัน ขั้นตอนในการผลิตจึงต่างกันด้วย โดยการผลิตข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ ใช้วิธี Modern method (Kar et al., 1999) ส่วนข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบใช้วิธีของ Abrol (Kar et al., 1999) โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวนึ่งจากข้าวเปลือก และข้าวกล้อง

* เติมสารละลาย KIO_3 ที่ระดับต่าง ๆ ในขั้นตอนนี้

3.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของข้าวนึ่งที่ผลิตได้

1) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยวิธีอบแห้งในตู้อบลมร้อน ดัดแปลงจากวิธีของ AACC 44-15A (1995) แสดงดังภาคผนวก ข.1
2) วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วย Kjeldahl method ดัดแปลงจากวิธีของ AACC 46-13 (1995) หรือ AOAC 960.52 (1995) และคำนวณปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Juliano (1972) แสดงดังภาคผนวก ข.2
3) วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Macro scale (ชุติมา อัศวเสถียร, 2543) แสดงดังภาคผนวก ข.3
4) วิเคราะห์ปริมาณอมัยโลสและอมัยโลเพคติน โดยใช้เทคนิค Simplified amylose assay (Juliano,1971) แสดงดังภาคผนวก ข.4
5) วิเคราะห์ค่า Alkali digestion ดัดแปลงจากวิธีของ งามชื่น คงเสรี และคณะ (2542) แสดงดังภาคผนวก ข.5
6) วัดค่าสีในระบบ Hunter (L a b) ด้วยเครื่องวัดสีMinolta-C300 ในแต่ละซ้ำทำการวัดสี 3 จุดแล้วคำนวณค่าดัชนีความขาว (White index) ตามวิธีของ Chen, Lu และ Lii (1999)

$$\text{ดัชนีความขาว} = \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$$

7) วัดสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Perdon และคณะ, 1999) แสดงดังภาคผนวก ข.6
8) ศึกษาโครงสร้างผลึก (crystalline structure) ด้วย X-ray Diffraction Powder Technique และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964) แสดงดังภาคผนวก ข.7

ข้อ 1) - 6) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of varience) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวนึ่งที่ผลิต

นำตัวอย่างข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตได้ บรรจุถุงพลาสติกทั่วไป เก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 เดือน โดยจะพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ทำการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Macro scale (ชุติมา อัศวเสถียร, 2543)แสดงดังภาคผนวก ข.3 สุ่มตัวอย่างทุกเดือน เป็นเวลา 8 เดือน
2) วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (วิธีการสกัดไขมันดัดแปลงจาก Yasumatsu และ Moritaka, 1964; Vasanthan และ Hoover, 1992 ส่วนวิธีการวิเคราะห์ใช้วิธีของ Low และ Ng, 1987) แสดงดังภาคผนวก ข.8 สุ่มตัวอย่างทุก 2 เดือน เป็นเวลา 8 เดือน
3) วัดค่าสีในระบบ Hunter (L a b) ด้วยเครื่องวัดสี Minolta-C300 ในแต่ละซ้ำทำการวัดสี 3 จุดแล้วคำนวณค่าดัชนีความขาว(Chen et al., 1999) สุ่มตัวอย่างทุกเดือน เป็นเวลา 8 เดือน
4) ประเมินผลทางประสาทสัมผัส จำนวน 2 ครั้ง เดือนที่ 0 และเดือนที่ 5 โดยใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝนจำนวน 20 คน และใช้แบบทดสอบชนิด Quantitative Descriptive Analysis with Scoring test ตัวอย่างแบบสอบถามแสดงในภาคผนวก ค โดยประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น ความเกาะตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวม

3.3 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้ากับข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

งานวิจัยในส่วนนี้ ต้องการที่จะเปรียบเทียบข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน กับข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า เพื่อจะได้นำไปปรับปรุงข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนให้มีคุณภาพต่อไปในอนาคต ข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 1 ตัวอย่าง คือ ข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's และคุณสมบัติที่ประเมินมีดังนี้

1) วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Macro scale (ชุติมา อัศวเสถียร, 2543) แสดงดังภาคผนวก ข.3
2) วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (วิธีการสกัดไขมันดัดแปลงจาก Yasumatsu และ Moritaka, 1964; Vasanthan และ Hoover, 1992 ส่วนวิธีการวิเคราะห์ใช้วิธีของ Low และ Ng, 1987) แสดงดังภาคผนวก ข.8
3) วัดค่าสีในระบบ Hunter (L a b) ด้วยเครื่องวัดสี Minolta-C300 ในแต่ละซ้ำทำการวัดสี 3 จุดแล้วคำนวณค่าดัชนีความขาว (Chen et al., 1999)
4) วิเคราะห์ปริมาณ Reducing sugar ในข้าว (AOAC 1995) แสดงดังภาคผนวก ข.9
5) ประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยพิจารณาการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้ผู้ทดสอบชิมแบบกึ่งฝึกฝน จำนวน 13 คน และใช้แบบทดสอบแบบ Multiple test โดยใช้ตัวอย่างข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้าเป็นตัวอย่างอ้างอิง และคัดเลือกข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตได้ในแผนการทดลองข้อ 2 มา 4 ตัวอย่างในการทดสอบ ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ค วางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Varience) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่า Least Significant Difference (LSD) เพื่อหาความแตกต่างของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตได้กับตัวอย่างอ้างอิง ในด้าน สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส

ข้อ (1) - (4) เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งที่ผลิตได้ 12 ผลิตภัณฑ์ตามแผนการทดลองข้อ 2 กับผลิตภัณฑ์ที่มีขายทางการค้า 1 ผลิตภัณฑ์ ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomize Design ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of varience) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์การทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้อง ความแม่นยำและ %Recovery ของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน

4.1.1 วิเคราะห์หาความถูกต้อง และความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro Scale ใช้ตัวอย่างน้ำนมตรา Alacta-NF และสารละลาย KIO_3 ที่ทราบปริมาณไอโอดีนที่แน่นอน

การวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในอาหารมีหลายวิธีด้วยกัน ชุติมา อัศวเสถียร (2543) ได้ทำการเปรียบเทียบเทคนิคการวิเคราะห์ไอโอดีน ระหว่างแบบใช้สารเคมีและตัวอย่างจำนวนมาก (Macro scale) และแบบใช้สารเคมีและตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย (Micro scale) ในนมผงที่ทราบปริมาณไอโอดีนที่แน่นอน (Standard Reference Material 1549) พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale มี %Recovery ในการวิเคราะห์สูงกว่า %Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Micro scale ดังนั้นตลอดการทดลองจะทำการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale

ความถูกต้อง (accuracy) ของการวิเคราะห์สาร หมายถึง ค่าที่วิเคราะห์ได้ต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของสารนั้น ความแม่นยำ (precision) หมายถึงค่าที่วิเคราะห์ได้ในการวิเคราะห์ซ้ำของสารตัวอย่างเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน (Pomeranz และ Meloan, 1994) โดยใช้สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำ

จากการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro Scale ในนม Alacta-NF (ANF)ที่มีการระบุปริมาณไอโอดีนบนกล่อง และในสารละลาย KIO_3 ที่ทราบปริมาณไอโอดีนที่แน่นอน โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 9 ซ้ำ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในนม ANF มีความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 99.39 และความแม่นยำซึ่งแสดงด้วย %CV คิดเป็นร้อยละ 7.05 ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในสารละลาย KIO_3 มีความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 97.07 และความแม่นยำ (%CV) คิดเป็นร้อยละ 4.83 จะเห็นได้ว่าความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ไอโอดีน มีความถูกต้องใกล้เคียงร้อยละ 100 และมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน(%CV) น้อยกว่าร้อยละ 10 ซึ่งถือว่ายอมรับได้ (Pomeranz and Meloan, 1994)

ตารางที่ 4.1 ความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale ในน้ำนม ANF ที่มีปริมาณไอโอดีน 11.67 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

ปริมาณไอโอดีน (μg/100 ml)	ความถูกต้อง* (%)	ปริมาณไอโอดีน (μg/100 ml) Mean ± SD	%CV* *	ความถูกต้อง (%) Mean ± SD
10.62	91.40	11.59 ± 0.8181	7.05	99.39 ± 7.01
10.14	86.92			
12.06	103.38			
11.82	101.33			
12.54	107.50			
11.88	101.81			
11.01	94.35			
12.37	106.00			
11.92	102.15			

* % ความถูกต้อง = (ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้ / ปริมาณไอโอดีนที่ระบุบนกล่อง)×100

** % CV = (SD×100)/Mean

ตารางที่ 4.2 ความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale ในสารละลาย KIO_3 ที่มีปริมาณไอโอดีน 40 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

ปริมาณไอโอดีน (μg/100 ml)	ความถูกต้อง* (%)	ปริมาณไอโอดีน (μg/100 ml) Mean ± SD	%CV* *	ความถูกต้อง (%) Mean ± SD
39.86	99.68	38.83±1.88	4.83	97.07±4.69
42.25	105.63			
39.47	98.68			
40.09	100.2			
38.05	95.13			
38.36	95.90			
36.55	91.37			
36.11	90.28			
38.71	96.78			

* % ความถูกต้อง = (ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้ / ปริมาณไอโอดีนที่ระบุบนกล่อง)×100

** % CV = (SD×100)/Mean

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 % Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro Scale ใช้ตัวอย่างน้ำนมตรา Alacta-NF ที่เติมสารละลาย KIO_3 ซึ่งทราบปริมาณไอโอดีนที่แน่นอน

จากการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนทั้งหมดในน้ำนม ANF ซึ่งเติมสารละลาย KIO_3 ที่มีความเข้มข้นของไอโอดีน 40 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาณไอโอดีนทั้งหมดจะเท่ากับ 11.67+ 40 = 51.67 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เมื่อทำการวิเคราะห์ 9 ซ้ำได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในน้ำนมที่เติมสารละลาย KIO_3 ที่มี Recovery คิดเป็นร้อยละ 95.73 และมีความถูกต้องและความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 96.69 และ 3.96 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 % Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน * แบบ Macro scale

ปริมาณไอโอดีน (μg/100 ml)	ความถูกต้อง (%)	ปริมาณไอโอดีน (μg/100 ml) Mean ± SD	%CV	% Recovery	ความถูกต้อง (%) Mean ± SD
52.19	101.01	49.96±1.98	3.96	95.73	96.69 ±3.83
51.79	100.23				
50.99	98.68				
50.10	96.96				
52.27	101.14				
48.57	94.00				
48.86	94.56				
48.14	93.16				
46.78	90.54				

* ทำการวิเคราะห์ไอโอดีนจำนวน 9 ครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

4.2.1 การวิเคราะห์ทางเคมีของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

เมื่อผลิตข้าวนึ่งแล้ว นำข้าวนึ่งที่ผลิตได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณอมัยโลสและ ปริมาณไอโอดีน แสดงดังตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้น, โปรตีน และอมัยโลสในตัวอย่างข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน ที่ใช้พันธุ์ข้าวชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

ปัจจัย			ปริมาณความชื้น*, ร้อยละ (Mean ± SD)	ปริมาณโปรตีน* , ร้อยละ (Mean ± SD)	ปริมาณอมัยโลส*, ร้อยละ (Mean ± SD)
ชัยนาท1	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	11.56±0.92	9.28±0.42	28.26 ± 1.12
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัม/100กรัม	10.657±0.43	9.35±0.44	26.17 ± 0.25
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัม/100กรัม	11.20±0.45	9.43±0.20	29.70 ± 1.98
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	11.11±0.38	9.33±0.03	27.44 ± 0.98
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัม/100กรัม	11.35±1.15	9.29±0.07	27.87 ± 1.31
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัม/100กรัม	11.03±0.78	9.28±0.29	26.17 ± 2.84
พลายงาม	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	11.25±1.18	7.07±0.32	30.87± 1.20
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัม/100กรัม	10.67±0.54	7.18±0.21	31.74±1.39
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัม/100กรัม	11.25±0.39	7.15±0.11	29.57±2.87
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	11.22±0.79	8.00±0.51	28.00 ± 1.73
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัม/100กรัม	10.95±0.60	7.11±0.15	31.64 ± 3.24
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัม/100กรัม	10.42±0.26	7.23±0.28	27.72 ± 4.23

*ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ ,โปรตีนมีหน่วยเป็น ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง, อมัยโลสมีหน่วยเป็นร้อยละ (ความชื้นร้อยละ 14)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน ที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

ปัจจัย			ปริมาณไอโอดีน* (ไมโครกรัมต่อข้าว100กรัมน้ำหนักแห้ง) (Mean ± SD)
ชัยนาท1	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	6.59±1.72
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	11.61±2.44
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	20.55±3.81
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	11.57±3.26
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	90.79±3.43
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	91.54±7.26
พลายงาม	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	7.19±1.83
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	7.29±1.57
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	8.22±2.47
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	10.05±2.77
		เสริม ไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	98.35±4.65
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ100กรัม	95.18±8.33

*ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

นำข้อมูลจากจากตารางที่ 4.4 และ 4.5 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณความชื้น โปรตีน อมัยโลส และไอโอดีน ของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดวัตถุดิบและระดับความเข้มข้นของไอโอดีนต่างกัน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณอมัยโลส และปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

SOV	ปริมาณความชื้น	ปริมาณโปรตีน	ปริมาณอมัยโลส	ปริมาณไอโอดีน
พันธุ์ข้าว (A)	ns	**	*	ns
ชนิดของข้าว(B)	ns	ns	ns	**
A*B	ns	ns	ns	ns
ความเข้มข้น (C)	ns	ns	ns	**
A*C	ns	ns	ns	ns
B*C	ns	*	ns	**
A*B*C	ns	ns	ns	ns

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

(1) ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นในข้าวนึ่งที่ผลิตได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 10.65-11.56 (ตารางที่ 4.4) ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่จะสามารถการเก็บรักษาข้าวไว้ได้นาน (งามชื่น คงเสรี, 2542) เพราะปริมาณความชื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 14 จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีของข้าวนึ่งที่ผลิตได้ให้ช้าลง (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

(2) ปริมาณโปรตีน

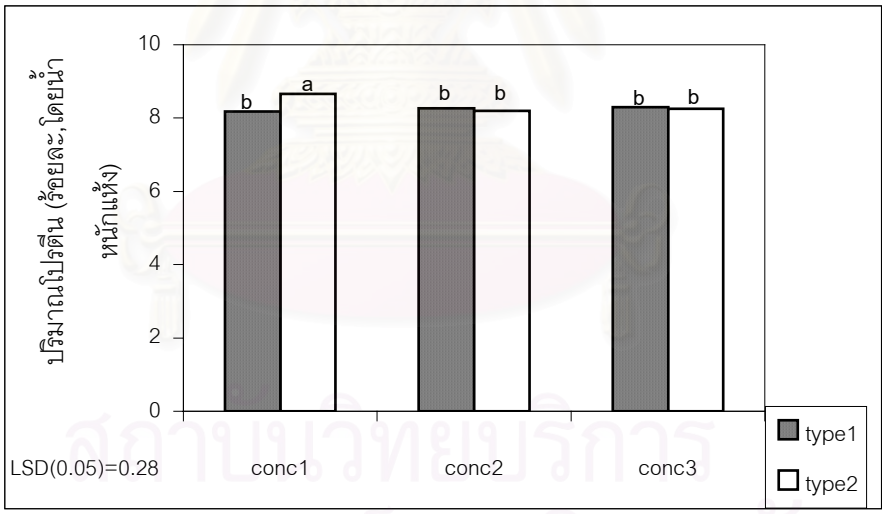
พันธุ์ข้าว มีผลต่อปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณสูงกว่าข้าวพันธุ์พลายงาม (ตารางที่ 4.7) และอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของข้าวและความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลาย KIO_3 มีผลต่อปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.1) ตัวอย่างที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบและไม่เสริมไอโอดีนมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด แต่แตกต่างจากตัวอย่างอื่นเพียงเล็กน้อย เพราะค่าที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างมีค่าน้อยมาก (LSD=0.28) แต่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของข้าวและความเข้มข้นไอโอดีนมีผลต่อปริมาณโปรตีนไม่ชัดเจนเท่ากับผลจากพันธุ์ข้าว

ปริมาณโปรตีนในข้าวนึ่งที่วิเคราะห์ได้ สอดคล้องกับรายงานของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) (Villareal et al., 1991) ซึ่งศึกษาปริมาณโปรตีนในข้าว 11 สายพันธุ์ พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ย (ร้อยละ) คือ 9.64 ± 1.48 และ ข้าวสารมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ย 8.81± 1.19

ตารางที่ 4.7 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

พันธุ์ข้าว	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)
ชัยนาท 1	9.33 a
พลายงาม	7.29 b
LSD(0.01)	0.85

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)



[type1= ข้าวเปลือก, type2=ข้าวกล้อง , conc1=ไม่ได้เสริมไอโอดีน, conc2=เสริม 500μg/100g และconc3= เสริม 1000 μg/100g ตามลำดับ]

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

รูปที่ 4.1 อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นไอโอดีน ต่อปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

(3) ปริมาณอมัยโลส

ข้าวนึ่งที่ผลิตได้มีปริมาณ อมัยโลสต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) เนื่องจากพันธุ์ข้าวเท่านั้น โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์พลายงาม ต่างก็จัดอยู่ในข้าวประเภทที่มีอมัยโลสสูง (ตารางที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับเอกสงวน ชูวิสิฐกุล (2542) และงามชื่น คงเสรี (2542) ที่รายงานว่าข้าว พันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์พลายงาม จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีอมัยโลสสูง (ปริมาณอมัยโลส มากกว่าร้อยละ 25 ขึ้นไป)

ตารางที่ 4.8 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณอมัยโลสในข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

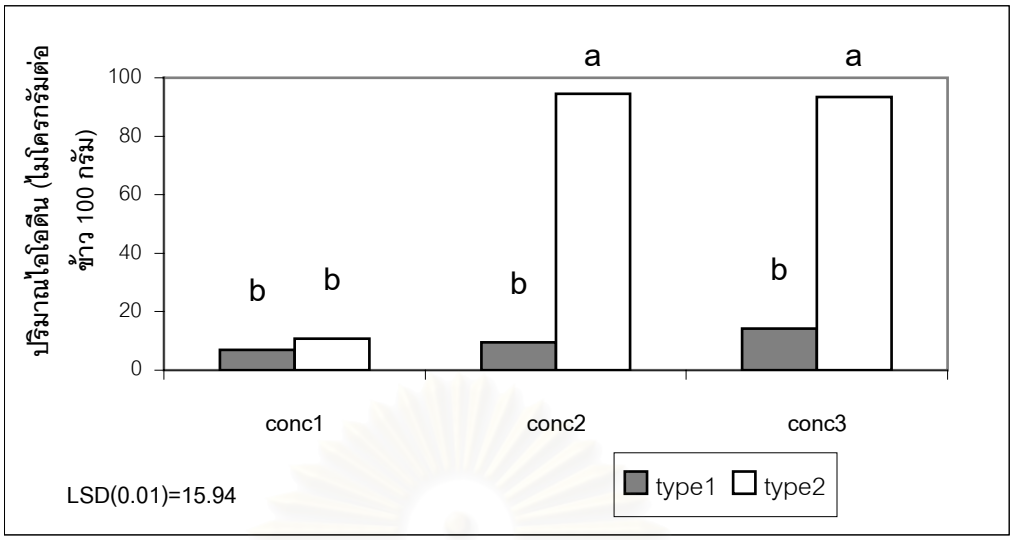
พันธุ์ข้าว	ปริมาณอะมัยโลส (ร้อยละ)
พันธุ์ชัยนาท 1	27.60 b
พันธุ์พลายงาม	29.92 a
LSD(0.05)	1.13

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

(4) ปริมาณไอโอดีน

ชนิดของข้าว ความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลาย KIO_3 และอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของข้าวและความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลาย KIO_3 มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวนึ่งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.2

ชนิดของข้าวได้แก่ ข้าวกล้องและข้าวเปลือก มีปริมาณไอโอดีนที่แตกต่างกัน โดยข้าวกล้องจะมีปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยสูงกว่าข้าวเปลือก โดยเฉพาะข้าวกล้องที่แช่สารละลาย KIO_3ที่มีไอโอดีน 500 และ1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม และความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลาย KIO_3 ที่ใช้สำหรับแช่ก็มีผลต่อปริมาณไอโอดีน โดยข้าวตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย KIO_3ที่มีไอโอดีน 500 และ1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมนั้นมีปริมาณไอโอดีนมากกว่าข้าวที่ไม่ได้แช่ในสารละลาย KIO_3 โดยเฉพาะข้าวกล้องจะเห็นผลชัดเจน (ตารางที่ 4.5)



[type1= ข้าวเปลือก, type2=ข้าวกล้อง , conc1=ไม่ได้เสริมไอโอดีน, conc2=เสริม 500μg/100g และconc3= เสริม 1000 μg/100g ตามลำดับ]

a,b กราฟแท่งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

รูปที่ 4.2 อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของข้าวและความเข้มข้นของไอโอดีน ต่อปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนทั้ง 2 พันธุ์

เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสารละลาย KIO_3 ที่ใช้แช่ คือ ที่มีไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม และ 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม พบว่าข้าวที่แช่สารละลายทั้ง 2 ความเข้มข้นนี้ มีปริมาณไอโอดีนไม่แตกต่างกัน โดยในข้าวเปลือกที่แช่ในสารละลาย KIO_3 ที่มีไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม มีปริมาณไอโอดีน 9.45 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ขณะที่ข้าวเปลือกที่แช่ละลาย KIO_3 ที่มีไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม มีปริมาณ 14.38 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ส่วนข้าวกล้องที่แช่ในสารละลาย KIO_3 ทั้ง 2 ระดับนั้น มีปริมาณไอโอดีน 94.57 และ 93.36 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ แสดงว่าข้าวกล้องดูดซึมไอโอดีนเข้าสู่เมล็ดได้ดีกว่าข้าวเปลือก แต่อย่างไรก็ตาม ข้าวนึ่งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย KIO_3 ทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น ก็มีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าข้าวนึ่งที่ไม่ได้เสริมไอโอดีน

การที่ข้าวกล้องมีความสามารถดูดซึมสารละลายไอโอดีนจากน้ำที่ใช้แช่เข้าสู่เมล็ดได้มากกว่าข้าวเปลือกนั้น สอดคล้องกับรายงานของ Kar et al. (1999) ซึ่งได้ทดลองแช่ข้าวเปลือก (paddy) และข้าวกล้อง (คณะผู้วิจัยใช้คำว่า dehusked rice) ในน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70^{0} C แล้วทิ้งให้เย็น พบว่าข้าวเปลือกมีความชื้น 26.5 % หลังจากแช่ 1 ชั่วโมง ขณะที่ข้าวกล้องมีความชื้น 33 % และคณะผู้วิจัยได้ทดลองผลิตข้าวกล้องนึ่งที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าหลังจากขั้นตอน

แช่ข้าว และนึ่งข้าวแล้ว ข้าวกล้องมีปริมาณความชื้นได้สูงสุดถึง 66 % ซึ่งสูงกว่าข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้น55 %

ข้าวกล้องนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผ่านการแช่ในสารละลาย KIO_3 ที่มีไอโอดีน 500 และ1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม มีปริมาณไอโอดีนสูงที่สุด คือ 94.57 และ 93.36 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไอโอดีนที่ร่างกายต้องการต่อ1วัน ตามที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดคือ 150 ไมโครกรัมต่อวัน คิดเป็น 63.05 % และ 62.24 % ตามลำดับ ซึ่งปริมาณข้าวสารเฉลี่ยที่บริโภคเท่ากับ 308 กรัมต่อวัน (Florentino and Pedro, 1998) ดังนั้นปริมาณข้าวสารที่บริโภคต่อ 1 มื้อมีปริมาณประมาณ 100 กรัม เมื่อรับประทานข้าวกล้องนึ่งเสริมไอโอดีน 1 มื้อ ก็ทำให้ได้รับไอโอดีนเกือบเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายใน 1 วัน ส่วนที่เหลืออาจได้รับไอโอดีนเพิ่มจากการรับประทานอาหารอย่างอื่นอีกเพียงเล็กน้อย

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

นำข้าวนึ่งที่ผลิตได้ มาวิเคราะห์ทางกายภาพ ได้แก่ ค่าดัชนีความขาว และค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.9 และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ แสดงผลดังตารางที่ 4.10 โครงสร้างผลึกของข้าวนึ่งแสดงในรูปที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ค่าดัชนีความขาวและค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง[1] ของตัวอย่างข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน ที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

ปัจจัย			ค่าดัชนีความขาว* (Mean ± SD)	ค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง (Mean ± SD)
ชัยนาท1	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	58.15±2.60	4.5±0.50
		เสริม 500 ไมโครกรัม	56.89±1.86	3.8±0.76
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	57.89±1.07	4.5±0.50
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	54.15±2.71	5.2±0.29
		เสริม 500 ไมโครกรัม	54.97±1.29	5.2±0.29
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	54.19±0.42	5.3±0.29
พลายงาม	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	63.69±5.34	6.2±0.29
		เสริม 500 ไมโครกรัม	61.44±1.72	6.2±0.29
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	63.67±1.62	6.3±0.29
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	56.75±1.69	5.9±0.85
		เสริม 500 ไมโครกรัม	56.43±0.19	6.4±0.36
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	55.78±1.93	6.5±0.12

[1]ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

*ค่าที่ได้จากการคำนวณ, ดัชนีความขาว = $100- \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าดัชนีความขาว และค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง ของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

SOV	ค่าดัชนีความขาว	ค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง
พันธุ์ข้าว (A)	*	**
ชนิดของข้าว(B)	**	ns
A*B	ns	ns
ความเข้มข้น (C)	ns	*
A*C	ns	ns
B*C	ns	ns
A*B*C	ns	ns

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) , ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

(1) ผลการวัดสีและค่าดัชนีความขาว

การวัดสีของข้าวเปลือกนึ่งและข้าวกล้องนึ่งเสริมไอโอดีน จากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์พลายงาม ด้วยเครื่องวัดสี Minolta-CR 300 โดยใช้ระบบ Hunter (L a b) โดยแต่ละซ้ำวัดสี 3 จุด(บนกองเมล็ดข้าวที่วางใน petri dish) แสดงคุณภาพด้วยดัชนีความขาว (Degree of Whiteness) (Chen et al., 1999) ได้ผลดังตารางที่ 4.9

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าดัชนีความขาวของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน จากข้าว 2 พันธุ์ (ตารางที่ 4.10) พบว่า ชนิดของข้าว มีผลต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยข้าวกล้องมีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าข้าวเปลือก (ตารางที่ 4.11) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า ข้าวกล้องนึ่งได้จากการแช่ข้าวกล้องในน้ำ ซึ่งข้าวกล้องยังมีชั้น aleurone layer ติดอยู่ การสัมผัสกับน้ำที่ใช้แช่ข้าวโดยตรงเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการละลายน้ำของรงควัตถุที่มีในชั้น aleurone layer ออกมา แล้วถูกดูดซึมเข้าไปในเมล็ดได้ และเมื่อนำไปขัดสีก็ไม่สามารถขัดให้ขาวได้ ส่วนข้าวเปลือกนึ่งนั้น ก็เกิดจากการนำข้าวเปลือกไปแช่ในน้ำเช่นกัน แต่เปลือกข้าวจะไปปิดกั้นทำให้น้ำไม่สามารถเข้าไปละลายรงควัตถุในชั้น aleurone layer ได้มากนัก จึงเกิดการดูดซึมรงควัตถุเข้าสู่เมล็ดน้อยกว่า เมื่อผ่านการสีเปลือกออกและขัดสี ข้าวที่ได้จึงมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่า ซึ่ง Kar et al. (1999) รายงานว่าเมื่อแช่

ข้าวกล้องและข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ข้าวกล้องจะมีปริมาณความชื้น 30 % ส่วนข้าวเปลือกจะมีปริมาณความชื้น 22.5% แสดงว่าข้าวกล้องดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าข้าวเปลือก และเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำ (water uptake) ระหว่างข้าวเปลือกกับเนื้อเมล็ดภายในเปลือก (enclosed dehusked rice) หลังจากแช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70 °C แล้วทิ้งให้เย็น พบว่าเมื่อแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของเนื้อเมล็ดภายในเปลือกมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกมาก แต่เมื่อระยะเวลาการแช่ผ่านไป 2 ชั่วโมงปริมาณความชื้นของเนื้อเมล็ดภายในเปลือกจะเท่ากับปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก แสดงว่าเปลือกข้าวเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าว ดังนั้นข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ จึงมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าการใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ

พันธุ์ข้าว มีผลต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าข้าวพันธุ์พลายงาม (ตารางที่ 4.12) อาจเนื่องมาจากข้าวพันธุ์พลายงามเป็นพันธุ์ข้าวขึ้นน้ำ เมล็ดมีท้องไข่ (White belly) ซึ่งจะมีลักษณะขาวขุ่นบริเวณตรงกลางหรือปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งเมล็ด ซึ่งเกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ ระหว่างกลุ่มของเม็ดสตาร์ชกับโปรตีน ทำให้เกิดช่องอากาศในเมล็ดเห็นเป็นสีขาวขุ่น (งามชื่น คงเสรี ,2542) แม้นำไปนึ่งแล้วแต่ก็ยังมีบางส่วนที่คงอยู่ ข้าวพันธุ์พลายงามจึงมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ตารางที่4.11 ผลของชนิดของข้าวต่อค่าดัชนีความขาว**ของข้าวกล้องและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีนจากข้าว 2 พันธุ์

ชนิดของข้าว	ค่าดัชนีความขาว**
ข้าวกล้อง	55.38[b]
ข้าวเปลือก	60.29[a]
LSD(0.01)	2.95

a,b ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ต่างกันในแนวนอนเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) สำหรับ พันธุ์ข้าว, และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)สำหรับชนิดของข้าว

** ค่าที่ได้จากการคำนวณ, ดัชนีความขาว = $100- \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$

ตารางที่4.12 ผลของพันธุ์ข้าวต่อค่าดัชนีความขาว**ของข้าวกล้องและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีนจากข้าว 2 พันธุ์

พันธุ์ข้าว	ค่าดัชนีความขาว**
พันธุ์ชัยนาท 1	55.68[b]
พันธุ์พลายงาม	59.61[a]
LSD(0.05)	3.12

a,b ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ต่างกันในแนวนอนเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับ พันธุ์ข้าว, และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)สำหรับชนิดของข้าว

** ค่าที่ได้จากการคำนวณ, ดัชนีความขาว = $100- \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$

(2) ค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง (Alkali Digestion)

พันธุ์ข้าวมีผลต่อค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) (ตารางที่ 4.10) โดยข้าวพันธุ์พลายงามมีค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่างสูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ดังตารางที่ 4.13 และความเข้มข้นไอโอดีนในสารละลาย KIO_3 มีผลต่อค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่างมากที่สุด (ตารางที่ 4.14)

การที่มีค่าการสลายตัวในด่างต่ำกว่า แสดงว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท1 จะมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงกว่าข้าวพันธุ์พลายงาม และจากตารางที่ 4.14 ตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่มีไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม จะมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำกว่าอีก 2 ระดับความเข้มข้น แต่อย่างไรก็ตาม ในทุกตัวอย่างมีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่างอยู่ช่วง 3.8 -6.5 (ตารางที่ 4.9) ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิแป้งสุกระดับต่ำถึงปานกลาง โดยระดับต่ำคือมีอุณหภูมิต่ำกว่า 69 $^{\circ}C$ และระดับปานกลางคือมีอุณหภูมิในช่วง 70-74 $^{\circ}C$ (งามชื่น คงเสรี,2542) จากนั้นจึงนำแป้งข้าวนึ่งมาหาอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลาติไนเซชันด้วยเครื่อง Brabender Viscograph ที่ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 10 (ตารางที่ 4.15) พบว่าข้าวนึ่งโดยทั่วไปยกเว้นข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ เมื่อแช่ข้าวในสารละลายที่มีไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มีอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลาติไนเซชันในช่วงเดียวกับที่ไม่ได้แช่ในสารละลายที่มีไอโอดีน ส่วนตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่มีไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มีอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลาติไนเซชันลดลง

ตารางที่ 4.13 ผลของพันธุ์ข้าวต่อค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง ของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีนระดับต่าง ๆ

พันธุ์ข้าว	ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง**
ชัยนาท 1	5 [b]
พลายงาม	6 [a]
LSD(0.01)	0.43

**การให้คะแนนค่าการสลายเมล็ดในด่าง, 1-3= เมล็ดไม่เปลี่ยนถึงเมล็ดพองตัว, 4-5= เมล็ดพองตัวมีแป้งกระจายออก ถึงเมล็ดแตกปริและมีแป้งกระจายออก, 6-7= เมล็ดสลายรวมกับแป้งถึงเมล็ดสลายเป็นแป้งใส; โดย 6-7 =อุณหภูมิแป้งสุกระดับต่ำ, 4-5=อุณหภูมิแป้งสุกระดับปานกลาง, 1-3=อุณหภูมิแป้งสุกระดับสูง

a,b ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 4.14 ผลของระดับความเข้มข้นของไอโอดีน ต่อค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง

ระดับความเข้มข้นสารละลาย (C*)	ค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง**
C1	5 [b]
C2	5 [b]
C3	6 [a]
LSD(0.05)	0.24

*C1= ไม่ได้แช่ในสารละลาย KIO_3 , C2= แช่ในสารละลาย KIO_3ที่มีไอโอดีน 500 μg ต่อข้าว 100 กรัม , C3= แช่ในสารละลาย KIO_3ที่มีไอโอดีน 1000 μg ต่อข้าว 100 กรัม

**การให้คะแนนค่าการสลายเมล็ดในด่าง, 1-3= เมล็ดไม่เปลี่ยนถึงเมล็ดพองตัว, 4-5= เมล็ดพองตัวมีแป้งกระจายออก ถึงเมล็ดแตกปริและมีแป้งกระจายออก, 6-7= เมล็ดสลายรวมกับแป้งถึงเมล็ดสลายเป็นแป้งใส; โดย 6-7 =อุณหภูมิแป้งสุกระดับต่ำ, 4-5=อุณหภูมิแป้งสุกระดับปานกลาง, 1-3=อุณหภูมิแป้งสุกระดับสูง

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

ตารางที่ 4.15 อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลาติไนเซชันที่วัดด้วยเครื่อง Brabender viscograph

ปัจจัย			อุณหภูมิเริ่มต้น (^{o}C)
ชัยนาท1	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	87.6
		เสริม 500 ไมโครกรัม	92.3
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	84.5
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	89.7
		เสริม 500 ไมโครกรัม	88.1
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	93.7
พลายงาม	ข้าวเปลือก	ไม่เสริมไอโอดีน	83.0
		เสริม 500 ไมโครกรัม	85.0
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	84.0
	ข้าวกล้อง	ไม่เสริมไอโอดีน	90.7
		เสริม 500 ไมโครกรัม	88.0
		เสริม 1000 ไมโครกรัม	87.8

จากสมบัติทางเคมีและกายภาพที่วิเคราะห์ได้ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่าง ๆ จากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson (ตารางที่ 4.16) พบว่าการเสริมไอโอดีนมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความขาวเท่านั้น ปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับการสลายตัวในด่าง ปริมาณอมัยโลส และค่าดัชนีความขาว ส่วนปริมาณอมัยโลสมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับค่าดัชนีความขาว และค่าการสลายตัวในด่าง

(1) ปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์ในทิศตรงกันข้ามกับค่าการสลายตัวในด่าง (-0.77) ดังนั้นข้าวนึ่งที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีค่าการสลายตัวในด่างต่ำ หรือ มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงกว่าข้าวนึ่งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ เพราะโปรตีนจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช และยังไปเพิ่มประจุบนผิวเม็ดสตาร์ชทำให้อัตราการเกิดเจลาติไนเซชั่นลดลง (Bechtel and Pomeranz, 1978) และโปรตีนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอมัยโลส (-0.43) ซึ่งต่างก็เป็นองค์ประกอบที่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวเป็นหลัก Juliano et al. (1964 อ้างถึงใน ตติยะ สีหร่าย ,2538) รายงานว่า ปริมาณอมัยโลสในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณโปรตีน และตติยะ สีหร่าย (2538) พบว่าปริมาณอมัยโลสของข้าวพันธุ์ ก.ข.1 ซึ่งเป็นข้าวกลุ่มที่มีปริมาณอมัยโลสสูง มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณโปรตีน แต่ในข้าวกลุ่มที่มีปริมาณอมัยโลสต่ำกลับไม่พบความสัมพันธ์เช่นนี้

(2) ปริมาณไอโอดีนและปริมาณโปรตีน มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับดัชนีความขาว แต่ปริมาณอมัยโลสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าดัชนีความขาว (ตารางที่ 4.16) การที่มีปริมาณโปรตีนมาก อาจทำให้เกิด browning จากปฏิกิริยา Maillard เนื่องจากผลของความร้อนในขั้นตอนการผลิตข้าวนึ่ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล และกรดอะมิโนเนื่องจากเอนไซม์ ทำให้สีของข้าวนึ่งเข้มกว่าเดิม เป็นผลให้ดัชนีความขาวลดลง (Luh and Mickus, 1980) การเกิดสีน้ำตาลของข้าวนึ่งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความร้อน ระยะเวลาที่ข้าวสัมผัสกับความร้อนชื้นขณะแช่ และระดับความรุนแรง(severity) ของการนึ่ง (Elbert, 2001; Robert et al., 1954; Jayanarayanan, 1965)

(3) ค่าการสลายตัวในด่างมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอมัยโลส (0.37) หรือกล่าวได้ว่าข้าวที่มีอมัยโลสสูงจะมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ซึ่งไม่สอดคล้องกับ Tester และ Morrison (1990) ที่รายงานว่าข้าวที่มีอมัยโลสสูงจะมีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่นสูง เนื่องจากข้าวตัวอย่างที่ใช้ในการผลิตข้าวนึ่งเป็นข้าวในกลุ่มที่มีปริมาณอมัยโลสสูงทั้งพันธุ์ชัยนาท 1 (ร้อยละ 27.6) และพันธุ์พลายงาม(ร้อยละ29.9) ถือว่าเป็นช่วงอมัยโลสที่แตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าข้าวที่มีอมัยโลสสูงจะให้ข้าวนึ่งที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ควรทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณอมัยโลสแตกต่างกันในช่วงที่กว้างมากขึ้นจึงจะสรุปได้ นอกจากนี้การที่ข้าวผ่านการนึ่งมาแล้วนั้นย่อมมีผลต่อค่าการสลายตัวในด่างอย่างแน่นอน อาจทำให้ได้ค่าการสลายตัวในด่างที่แตกต่างจากข้าวที่ไม่ได้นึ่ง เช่น งานวิจัยของ Pillaiya et al.(1994) ที่ศึกษาผลของการทำข้าวนึ่งด้วยทราย (sand parboiling) ที่อุณหภูมิของทรายต่างกัน โดยวัดระดับการเกิดเจลาติไนเซชันด้วยค่าการขยายตัวในด่าง ซึ่งใช้สารเคมีเหมือนกับการวิเคราะห์ค่าการสลายตัวในด่าง เพียงแต่จะทำการวัดการขยายตัวของเมล็ดข้าวทางด้านกว้างเมื่อแช่ในด่างเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบเป็นร้อยละกับความกว้างเมื่อยังไม่ได้แช่ พบว่าเมื่ออุณหภูมิของทรายเพิ่มขึ้น ร้อยละการขยายตัวทางด้านกว้างจะมากขึ้นด้วย แสดงว่าข้าวมีระดับการเกิดเตลาติไนเซชันมากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปว่าค่าการสลายตัวในด่างของข้าวนึ่งสัมพันธ์กับปริมาณอมัยโลสไม่ได้

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson ระหว่างสมบัติต่าง ๆ ของข้าวนึ่งที่ผลิต [a]

	โปรตีน	ไอโอดีน	การสลายตัวในด่าง	อมัยโลส	ดัชนีความขาว
ไอโอดีน	-0.08	0.00			
การสลายตัวในด่าง	-0.77***	0.28	0.00		
อมัยโลส	-0.43**	-0.03	0.37*	0.00	
ดัชนีความขาว	-0.53**	-0.48**	0.25	0.38*	0.00

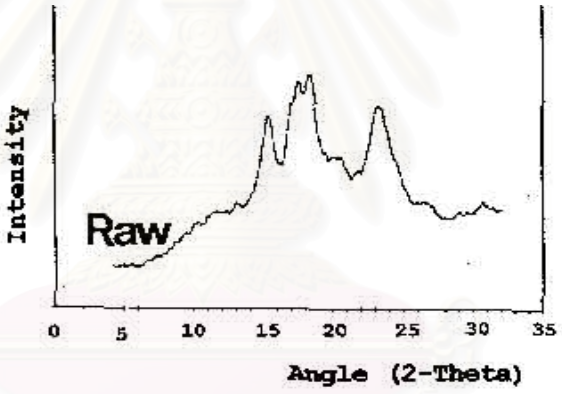
[a] n=36, *, ** และ *** มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ และ $p \leq 0.001$ ตามลำดับ

(3) โครงสร้างผลึกของข้าวนึ่ง

รูปแบบผลึกของข้าวที่ไม่ได้นึ่งแสดงในรูปที่4.3 และผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกจาก x-ray diffractometer (รูปที่ 4.4) พบว่าข้าวนึ่งทุกตัวอย่างที่ผลิตได้มีผลึก type A ซึ่งเป็นรูปแบบผลึกที่พบในข้าวและธัญพืชทั่วไป โดยจะมี peak ที่ 15,17,18, 20 และ 23 ^{o} 2θ (Zobel, 1964; Ong and Blanshard,1995)

Ong และ Blanshard (1995) รายงานว่า การที่ผลึกในข้าวนึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตข้าวนึ่งที่ใช้ โดยเกิดผลึกชนิดผสม type A+V ซึ่งเป็นผลจากการจับตัวของอมัยโลสกับไขมัน เป็นส่วนใหญ่ ข้าวนึ่งทางการค้าหลายตัวอย่างที่ Ong และ Blanshard ได้ศึกษาพบว่ายังมีโครงสร้างผลึก type A เข้มกว่า type V สาเหตุที่ยังพบว่ามีผลึก type A เหลืออยู่ มี 2 สาเหตุที่อาจเป็นไปได้ คือ เกิดจากการได้รับความร้อนไม่เพียงพอต่อการหลอมละลายผลึกทั้งหมด หรือ เกิดจาก recrystallization ของสตาร์ชในส่วนอสันฐาน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยเฉพาะในช่วงการทำแห้ง ซึ่งผลจาก x-ray diffraction pattern ไม่สามารถระบุได้ว่ามาจากสาเหตุใด ดังนั้นจึงทำการศึกษาลักษณะ birefringence ของเม็ดแป้งของข้าวนึ่งเพิ่ม โดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านแสงโพลาไรซ์ ที่กำลังขยาย 40 เท่า

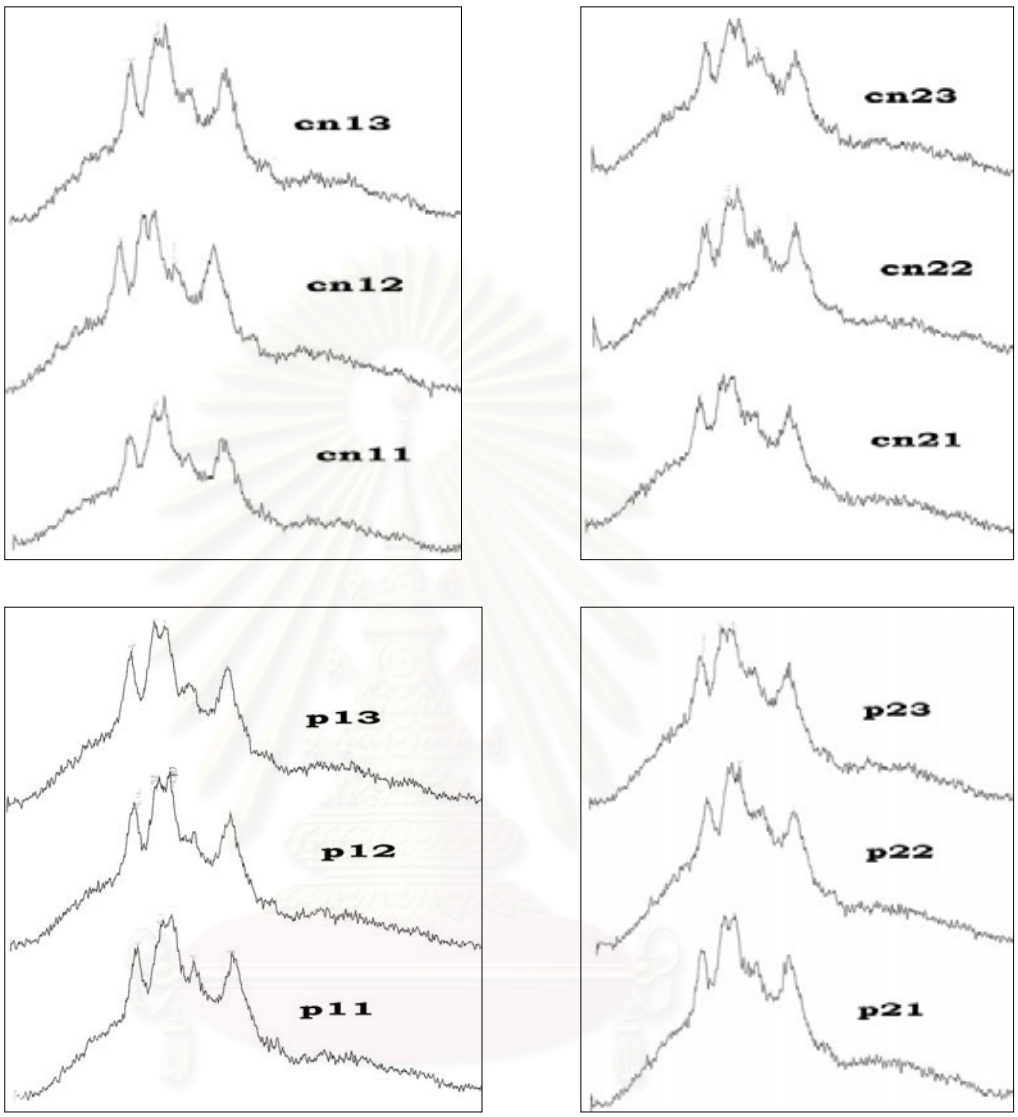
ผลการทดสอบส่องแป้งข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนทุกตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านแสงโพลาไรซ์ (รูปที่ 4.5) พบว่ายังคงพบลักษณะ birefringence อยู่ในทุกตัวอย่าง แต่ด้วยเม็ดแป้งข้าวมีขนาดเล็ก 3-8 ไมครอน (Araullo et al., 1976) และแป้งข้าวนึ่งไม่ได้ผ่านการสกัดเป็นสตาร์ช รูปของเม็ดแป้งจึงไม่ชัดเจนนัก แต่ก็สามารถเห็นลำแสงลอดออกมา จึงคัดเลือกรูปที่ชัดเจนแสดงในรูปที่ 4.5 ดังนั้นการทดลองนี้ช่วยยืนยันได้ว่า การที่พบผลึก type A ในข้าวนึ่งทุกตัวอย่าง เกิดจากการที่ได้รับความร้อนไม่เพียงพอต่อการที่แป้งในข้าวนึ่งจะเกิดการเจลาติไนซ์ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า การทำข้าวนึ่งวิธีนี้ มีระดับการนึ่ง (severity of parboiling) ที่ต่ำ หรืออาจเรียกว่าเป็น Partial / Surface parboiled rice คือ ข้าวที่เกิดการเจลาติไนซ์เพียงผิวของเมล็ด และมีสีขาวขุ่นที่บริเวณกลางเมล็ดอยู่ (Luh and Mickus, 1980) ซึ่งเป็นผลมาจากขั้นตอนการผลิต



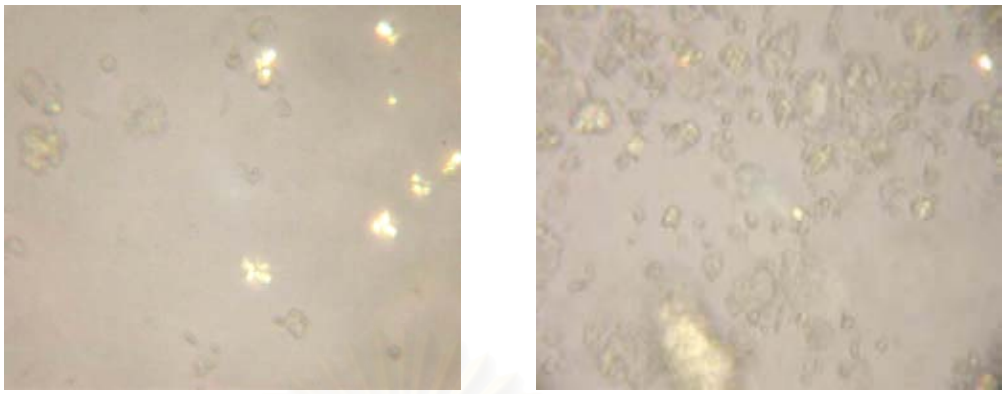
รูปที่ 4.3 x-ray diffraction pattern ของข้าวที่ไม่ได้นึ่ง

(Ong และ Blanshard ,1995)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 x-ray diffraction pattern ของข้าวนึ่ง
{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}



รูปที่ 4.5 ลักษณะ birefringence ที่เหลืออยู่ในข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านแสงโพลาไรซ์ ที่กำลังขยาย 40 เท่า

4.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพการหุงของข้าวนึ่ง

(1) ค่า Firmness และ ค่า Stickiness ของข้าวสุก

ข้าวนึ่งหุงสุกทุกตัวอย่างมีค่า Firmness สูง โดยพบว่าตัวอย่างที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบจะให้ข้าวนึ่งสุกมีค่า Firmness สูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ ส่วนค่า Stickiness มีค่าน้อยมากในทุกตัวอย่าง (ตารางที่ 4.17) ซึ่งสอดคล้องกับ Sowbhagya และ Ali (1991) ที่ทำการเปรียบเทียบผลของการนึ่งด้วยวิธีต่าง ๆ (ข้าวนึ่งธรรมดา ข้าวนึ่งภายใต้ความดัน และข้าวนึ่งด้วยทรายเผา) ต่อเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งหุงสุก พบว่าข้าวนึ่งจากทุกวิธีมี %Firmness สูงกว่าข้าวที่ไม่ได้นึ่ง การที่มีค่า Stickiness ต่ำ อาจเกิดจากการที่พันธุ์ข้าวที่ใช้ผลิตเป็นข้าวอมัยโลสสูง ซึ่งโดยปรกติเมื่อสุกจะมีความเกาะตัวกันต่ำเนื่องจากโมเลกุลอมัยโลสมีส่วนที่เป็นกิ่งอยู่ในปริมาณน้อยจึงไม่เกาะตัวมากนัก (งามชื่น คงเสรี, 2542)

ตารางที่ 4.17 ค่าfirmness และค่า Stickiness ของข้าวนึ่งหุงสุกที่วัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer

ปัจจัย			ค่า Firmness* (N • s) (Mean ± SD)	Stickiness* (N • s) (Mean ± SD)
ข้าวพันธุ์ชัยนาท1	ข้าวเปลือกนึ่ง	ไม่ได้เสริมไอโอดีน	87.67± 1.59	0.082±0.07
		เสริมไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	85.67± 5.67	0.044±0.005
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	73.26 ± 5.98	0.035±0.018
	ข้าวกล้องนึ่ง	ไม่ได้เสริมไอโอดีน	108.58± 9.67	0.055±0.018
		เสริมไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	101.02 ± 4.77	0.039±0.028
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	121.02± 5.76	0.036±0.042
ข้าวพันธุ์พลายงาม	ข้าวเปลือกนึ่ง	ไม่ได้เสริมไอโอดีน	66.90± 1.80	0.035±0.038
		เสริมไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	73.68±7.78	0.04±0.031
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	68.27±7.97	0.084±0.089
	ข้าวกล้องนึ่ง	ไม่ได้เสริมไอโอดีน	107.15± 4.79	0.22±0.15
		เสริมไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	111.60± 7.93	0.071±0.015
		เสริมไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม	101.13± 9.44	0.064±0.013

*ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน จากข้าว 2 พันธุ์ ในระยะเวลา 8 เดือน

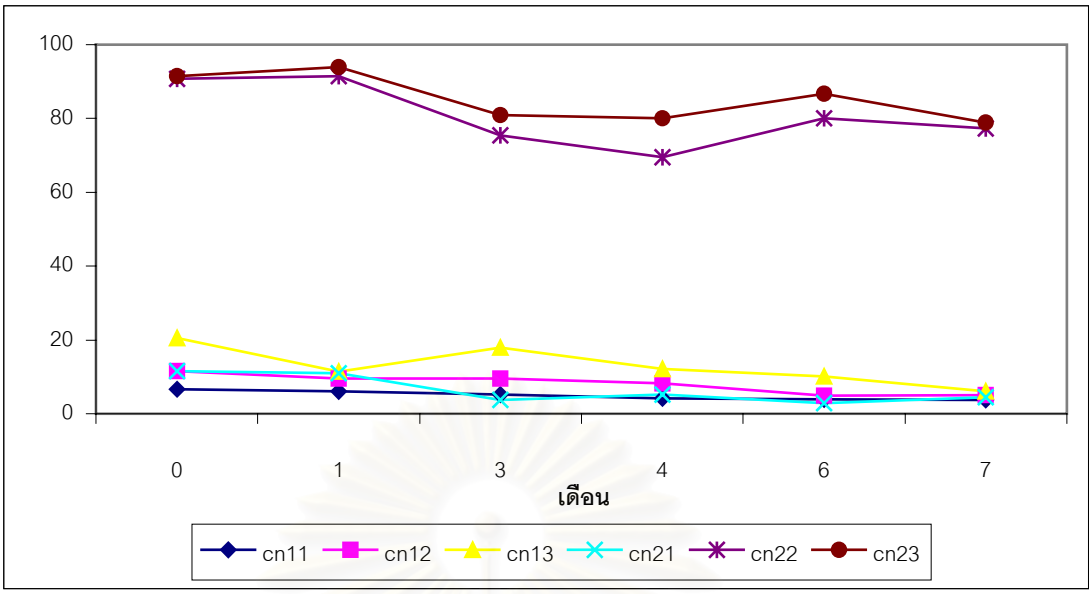
(1) ปริมาณไอโอดีน

ตัวอย่างข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งจากพันธุ์ชัยนาท1 แสดงในรูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงในทุกตัวอย่าง เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ และแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นไอโอดีน 500 และ 1000 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม (cn22 และ cn23) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณไอโอดีนหลังจากเสริมสูง พบว่าปริมาณไอโอดีนลดลงเล็กน้อย โดยในเดือนที่ 7 ปริมาณไอโอดีนลดลงจากปริมาณเริ่มต้นประมาณร้อยละ 15 และร้อยละ 14 ตามลำดับ

ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน พันธุ์พลายงาม ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.7) เมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ และแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นไอโอดีน 500 และ 1000 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม (p22 และ p23) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณไอโอดีนหลังจากการเสริมสูง พบว่าปริมาณไอโอดีนลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยในเดือนที่ 7 ปริมาณไอโอดีนลดลงจากปริมาณเริ่มต้นประมาณร้อยละ 23 และร้อยละ 10 ตามลำดับ

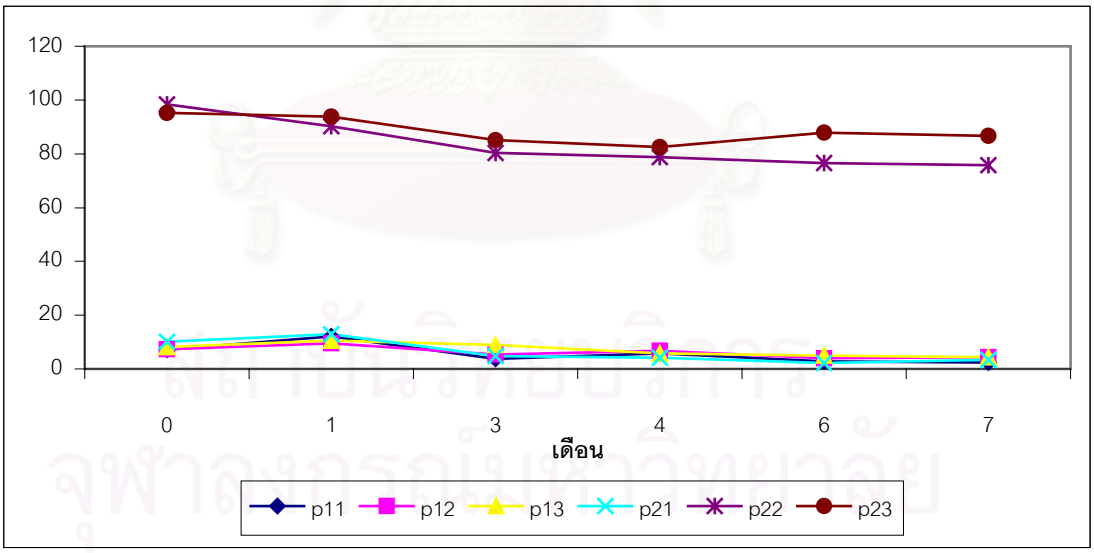
การลดลงของปริมาณไอโอดีน อาจเกิดเนื่องจากการเก็บในสภาวะที่ไม่ได้บรรจุในถุงป้องกันอากาศและความชื้น และเก็บที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งบางครั้งอาจร้อนเกิน 33 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดมากมาย จึงเป็นผลให้ปริมาณไอโอดีนลดลงได้ โดย Kik (1945 อ้างถึงใน ชุติมา อัศวเสถียร ,2543) ทดลองเก็บข้าวสารที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลา 2 และ 6 เดือน พบว่าปริมาณวิตามินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาเท่ากัน พบว่าเกิดการสูญเสียไธอะมิน ไรโบเฟลวิน และไนอะซินร้อยละ 24.9, 5.3 และ 3.9 ตามลำดับ

แต่โดยเฉลี่ยแล้วเมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ และแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นไอโอดีน 500 และ 1000 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ของข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่าเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 8 เดือน มีไอโอดีนเหลืออยู่ในช่วง 75.8-86.7 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ซึ่งยังเป็นปริมาณที่สูงกว่า 1 ใน 3 ของปริมาณไอโอดีนที่ร่างกายต้องการใน 1 วัน (50 ไมโครกรัม)



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อ100 กรัม) ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1



{ p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อ100 กรัม) ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงาม

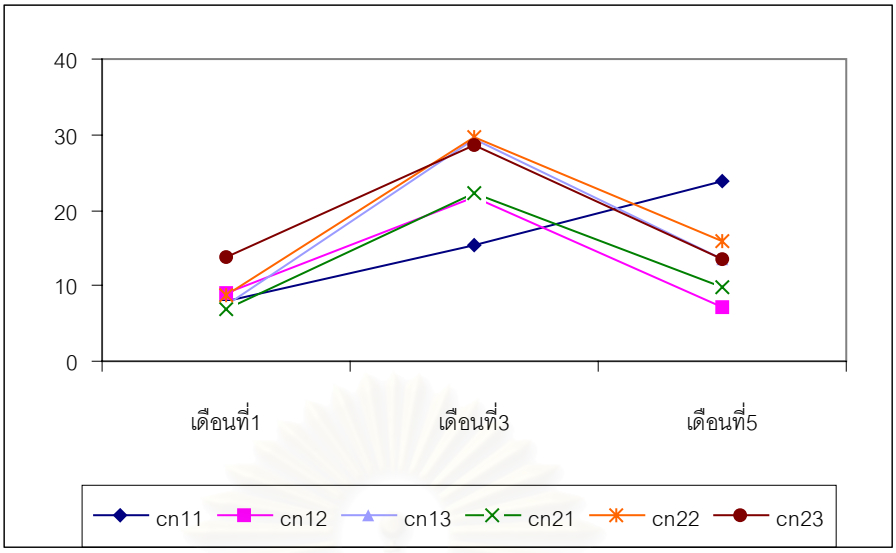
(2) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV)

การเปลี่ยนแปลงค่า PV ของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อพิจารณาในเดือนที่ 3 ค่า PV จะมากกว่า 20 milliequivalent ต่อกิโลกรัม ในเกือบทุกตัวอย่าง ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนของไขมันในเมล็ดข้าว (Low and Ng, 1987) ถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับไม่ได้ และหลังจากเดือนที่ 3 ค่าเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลง

ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่า PV ของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน พันธุ์พลายงาม แสดงในรูปที่ 4.9 พบว่า โดยส่วนใหญ่ในเดือนที่ 3 ค่า PV จะมากกว่า 20 milliequivalent ต่อกิโลกรัม แต่ตัวอย่างที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ ที่ไม่ได้แช่ในสารละลายไอโอดีน (p11) และที่แช่ในสารละลายที่มีไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม (p12) ยังมีค่า PV ต่ำกว่า 20 milliequivalent ต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มว่าหลังจากเดือนที่ 3 ค่าเปอร์ออกไซด์จะลดลง

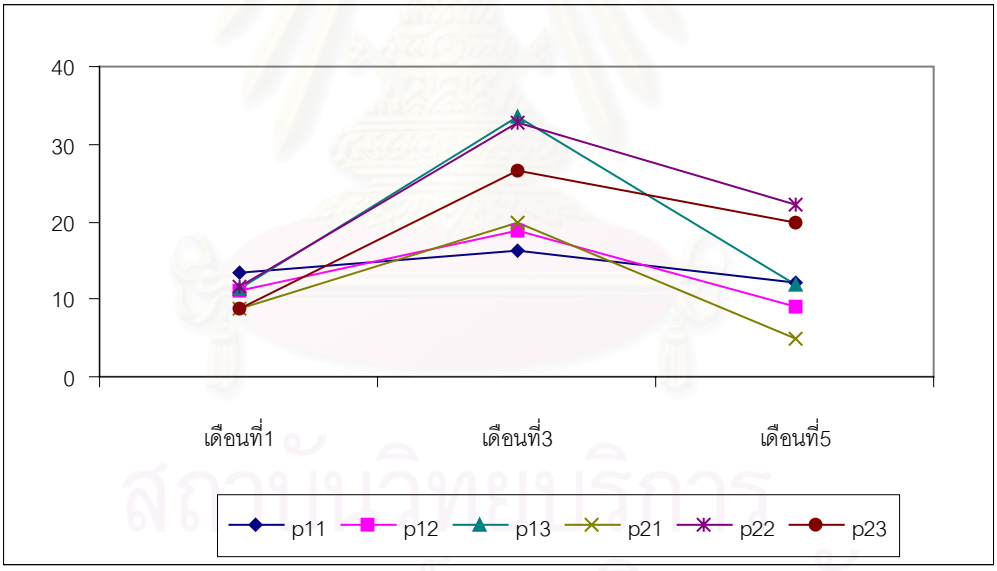
การเปลี่ยนแปลงค่า PV ใช้วัดปริมาณน้ำมันที่จะเกิดขึ้น และมีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนได้ ซึ่งการเก็บตัวอย่าง จะเก็บแบบเปิด คือไม่ได้บรรจุในถุงที่กันความชื้น หรือกันอากาศ แต่เก็บในที่มืด อุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจจะร้อนกว่าปกติ Araullo et al. (1976) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงค่า PV จะให้กราฟเป็นลักษณะเหมือนระฆังคว่ำ คือในช่วงแรกเป็นช่วง induction แล้วค่าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ได้กลิ่นหืน หลังจากนั้นค่าจะลดลงเรื่อย ๆ ในการเก็บแบบเปิดในที่มืด อุณหภูมิ 38^{0} C ค่า PV สูงที่สุดในระยะเวลาที่เก็บไปแล้วประมาณ 100 วัน ซึ่งเป็นสภาวะการเก็บที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้มาก การเก็บแบบเปิด หรือแบบปิด มีผลแตกต่างกันน้อยกว่า การเก็บในที่มืด หรือที่สว่าง โดยพบว่าแสงมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยามาก ส่วนอุณหภูมิในเก็บจะมีผลเล็กน้อย

การที่ตัวอย่างส่วนใหญ่มีแนวโน้มค่า PV ลดลงในเดือนที่ 5 อาจเกิดจากเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา autoxidation ที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนนั้น อยู่ในช่วงสลายตัวเพราะทำปฏิกิริยาจนหมด ซึ่งเมื่อค่า PV เลยช่วงที่มีค่าสูงที่สุดแล้ว จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ (Fennema, 1996)



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าว กล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม, 2=500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พันธุ์ชัยนาท 1



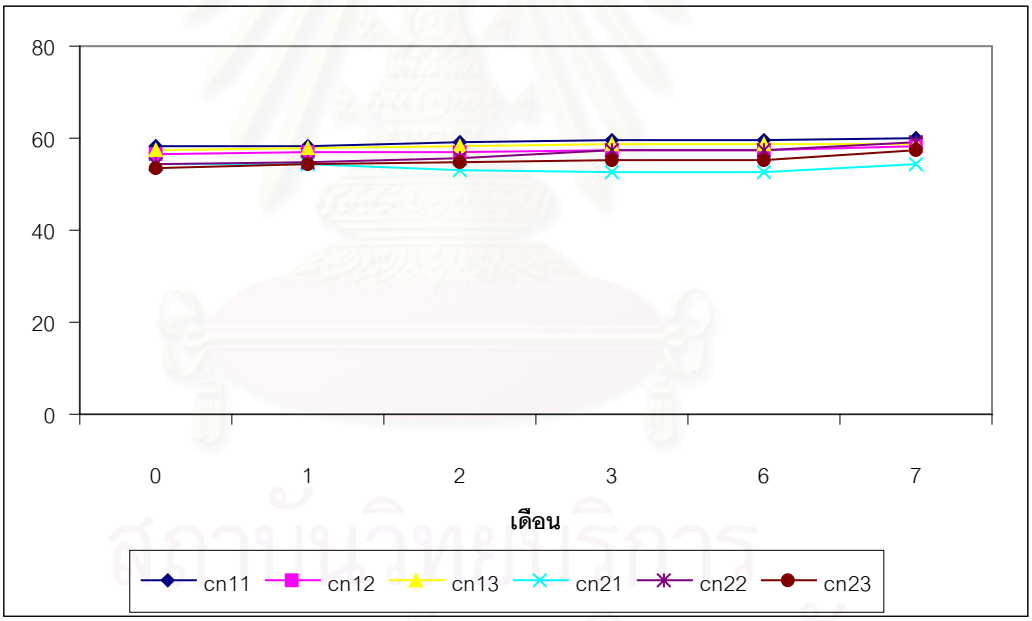
{ p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg)ของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พันธุ์พลายงาม

(3) ค่าดัชนีความขาว (Whiteness)

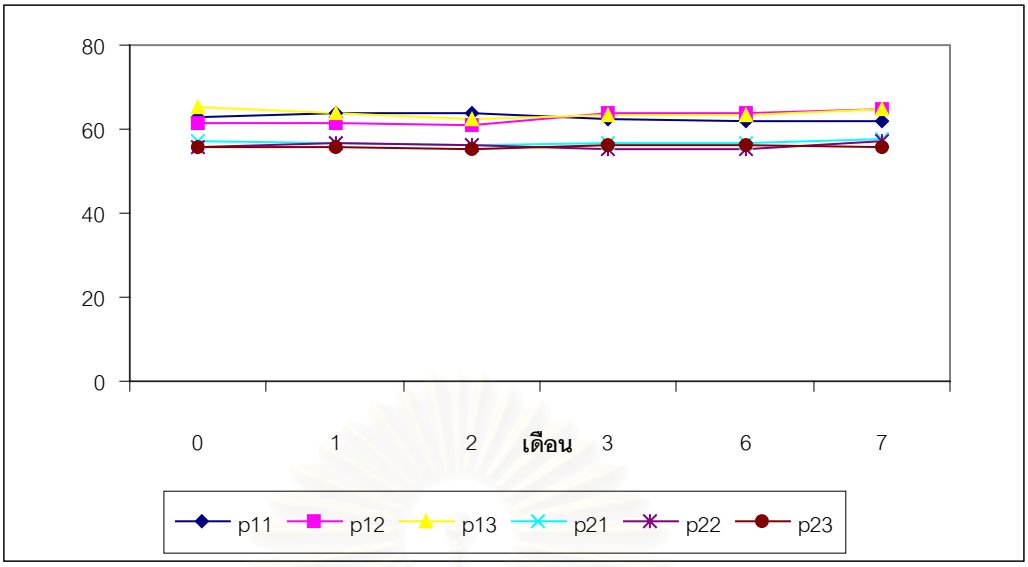
การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาวของข้าวกล้องนึ่ง และข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน พันธุ์ชัยนาท 1 แสดงในรูปที่ 4.10 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในทุกตัวอย่าง โดยข้าวตัวอย่างที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบมีค่าดัชนีความขาวมากกว่าข้าวที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ

ส่วนการเปลี่ยนแปลงของข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่ง เสริมไอโอดีน พันธุ์พลายงาม แสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ มีค่าดัชนีความขาวสูงกว่า และมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ข้าวที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ แต่ส่วนใหญ่ค่าดัชนีความขาวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 7 เดือน Araullo et al. (1976) รายงานว่าเมื่อเก็บข้าวนึ่งในที่มืด อุณหภูมิ 38^0 C ข้าวนึ่งมีสีเปลี่ยนน้อยมาก



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งพันธุ์ชัยนาท 1



{ p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.11 ค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งพันธุ์พลายงาม เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 8 เดือน

(4) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 5

1. คะแนนด้านสี (รูปที่ 4.12) ข้าวทุกตัวอย่างมีคะแนนด้านสีอยู่ในช่วง 2-4 คือมีสีเหลืองอ่อนถึงปานกลาง โดยข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ มีคะแนนด้านสีลดลงในเดือนที่ 5 ส่วนตัวอย่างอื่นมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

2. คะแนนด้านกลิ่น (รูปที่ 4.13) คะแนนด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 3-4 เป็นส่วนใหญ่ แต่ในตัวอย่างข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ มีคะแนนด้านกลิ่นลดลงในเดือนที่ 5 โดยอยู่ในช่วงคะแนนที่มีกลิ่นแปลกปลอมเล็กน้อย

3. คะแนนด้านความเกาะตัว รูปที่ 4.14 ตัวอย่างข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบมีความเกาะตัวลดลงในเดือนที่ 5 ขณะที่ข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงามมีความเกาะตัวมากขึ้น โดยเฉลี่ยทุกตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยในช่วง1-3 คือ ร่วนไม่เกาะตัวกันถึงเกาะตัวกันเล็กน้อย

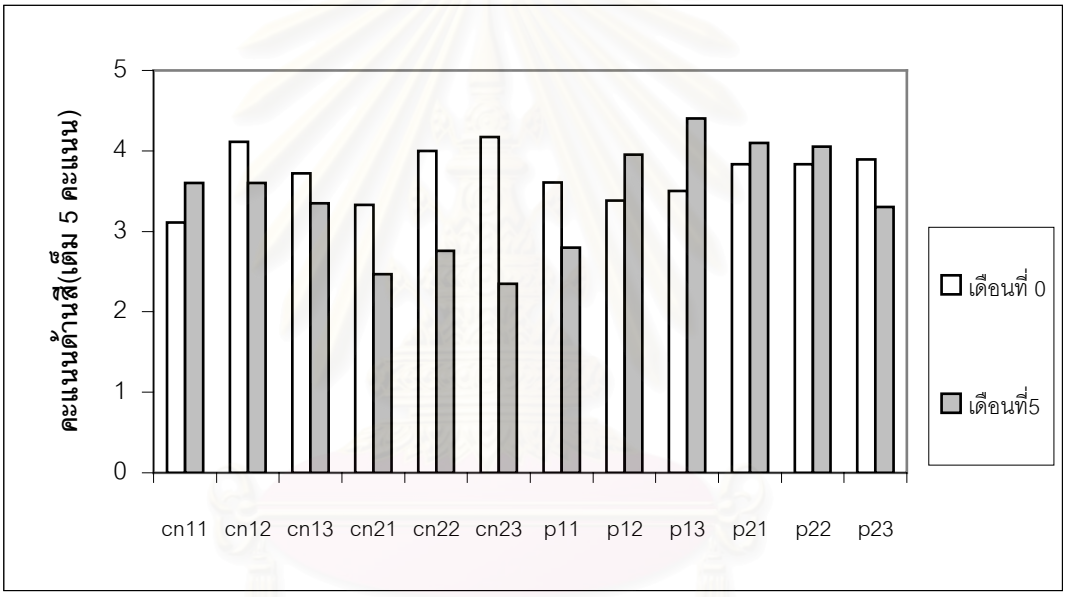
4. คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งทุกตัวอย่างมีคะแนนอยู่ในช่วง 2-3 คือแข็งเล็กน้อย (รูปที่ 4.15) คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของเดือนที่ 0 กับเดือนที่ 5 แตกต่างกันน้อยมาก

5. คะแนนด้านรสชาติ (รูปที่ 4.16) คะแนนด้านรสชาติของข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1โดยเฉลี่ยประมาณ 3 คะแนน คือ มีรสชาติผิดปรกติเล็กน้อย ขณะที่ข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงามมี

คะแนนด้านรสชาติเฉลี่ยประมาณ 4 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับที่มีรสชาติเหมือนข้าวเจ้าสุกปรกติ และคะแนนของเดือนที่ 0 และเดือนที่ 5 แตกต่างกันน้อยมากในทุกตัวอย่าง

6. คะแนนด้านความชอบรวม (รูปที่ 4.17) ข้าวนึ่งส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยประมาณ 4 คะแนนคือผู้ทดสอบบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ ขณะที่ข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงามที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบมีคะแนนเฉลี่ยประมาณ 5 คะแนน คือ ผู้ทดสอบชอบเล็กน้อย เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 5 เดือน คะแนนด้านความชอบรวมมีค่าเปลี่ยนแปลงจากเดือนที่ 0 น้อยมาก

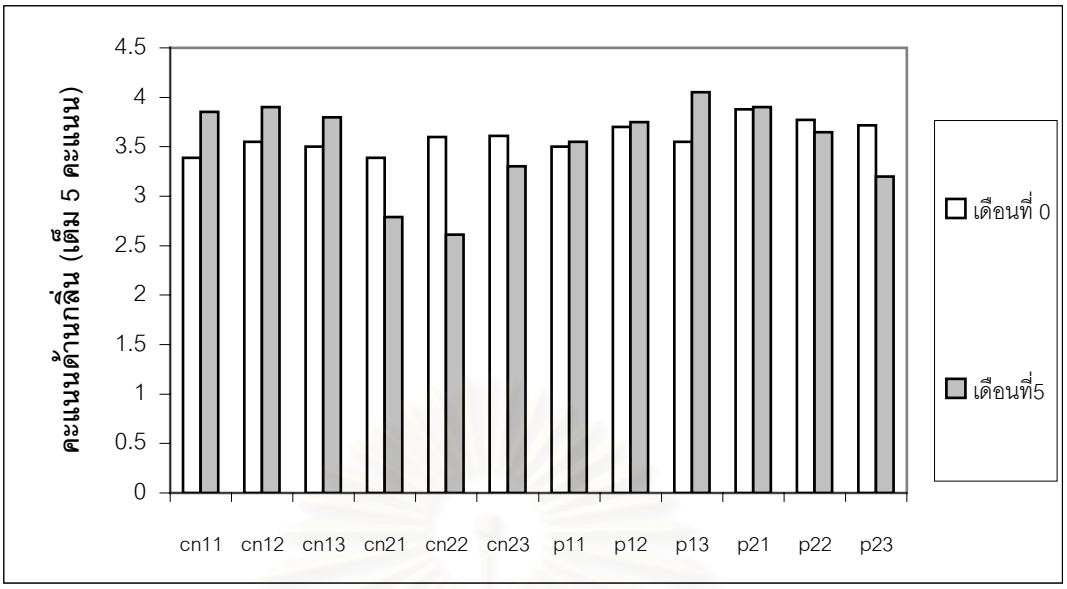
ข้าวนึ่งที่ผลิตได้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น ความเกาะตัว เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมไม่แตกต่างกันมากนัก โดยข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงามที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบมีคะแนนด้านความชอบรวมสูงกว่า และมีกลิ่นผิดปรกติน้อยกว่า ตัวอย่างอื่นเล็กน้อย



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

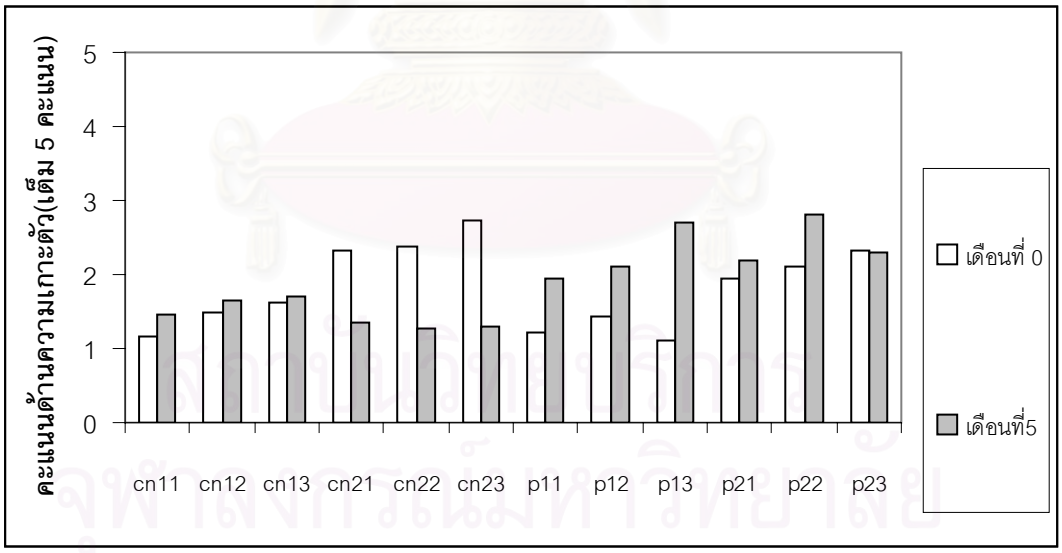
รูปที่4.12 คะแนนด้านสีของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



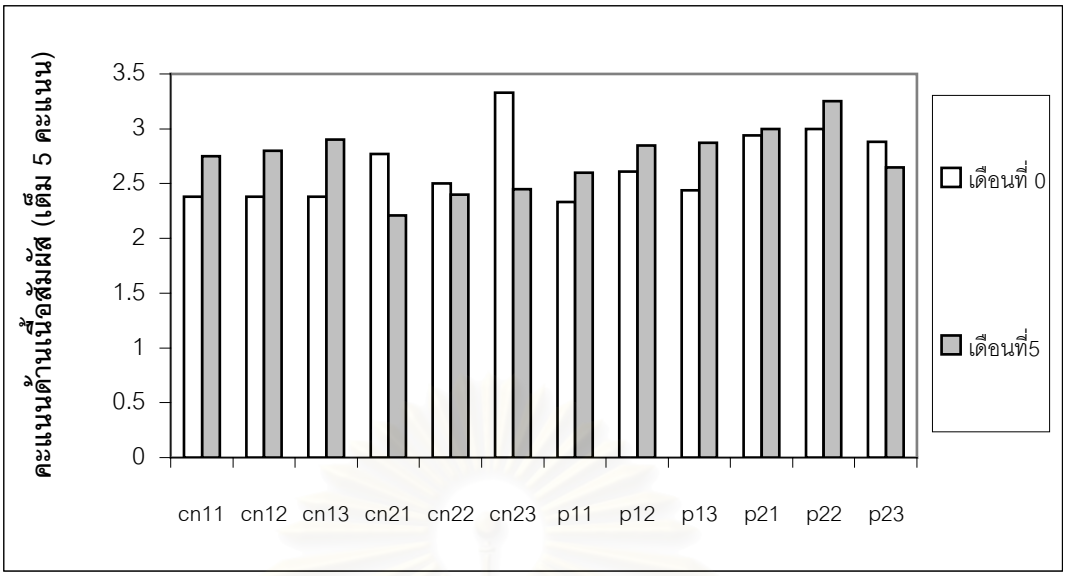
{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่4.13 คะแนนด้านกลิ่นของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5



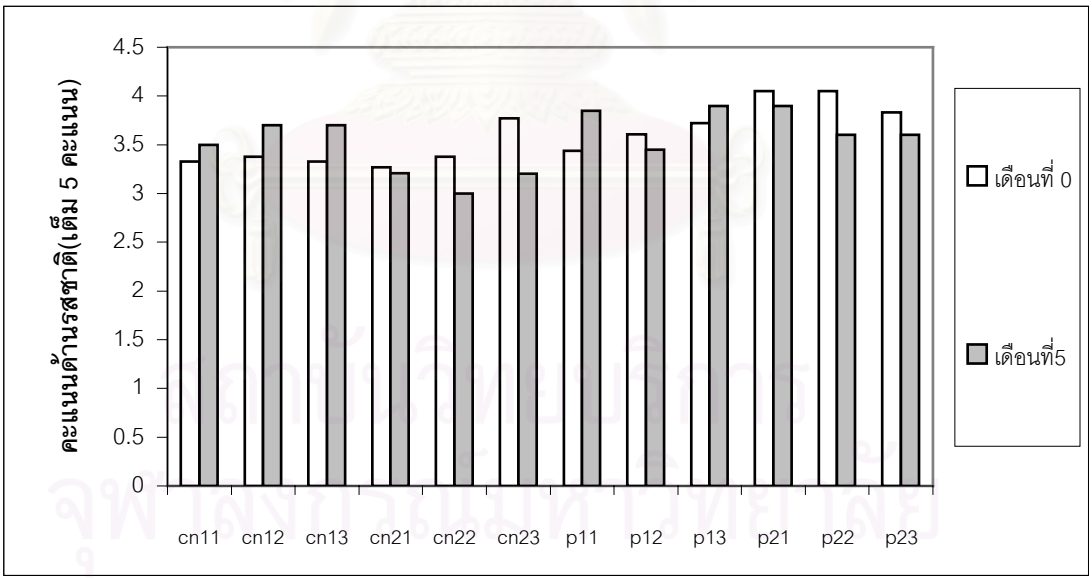
{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่4.14 คะแนนด้านความเกาะตัวของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5



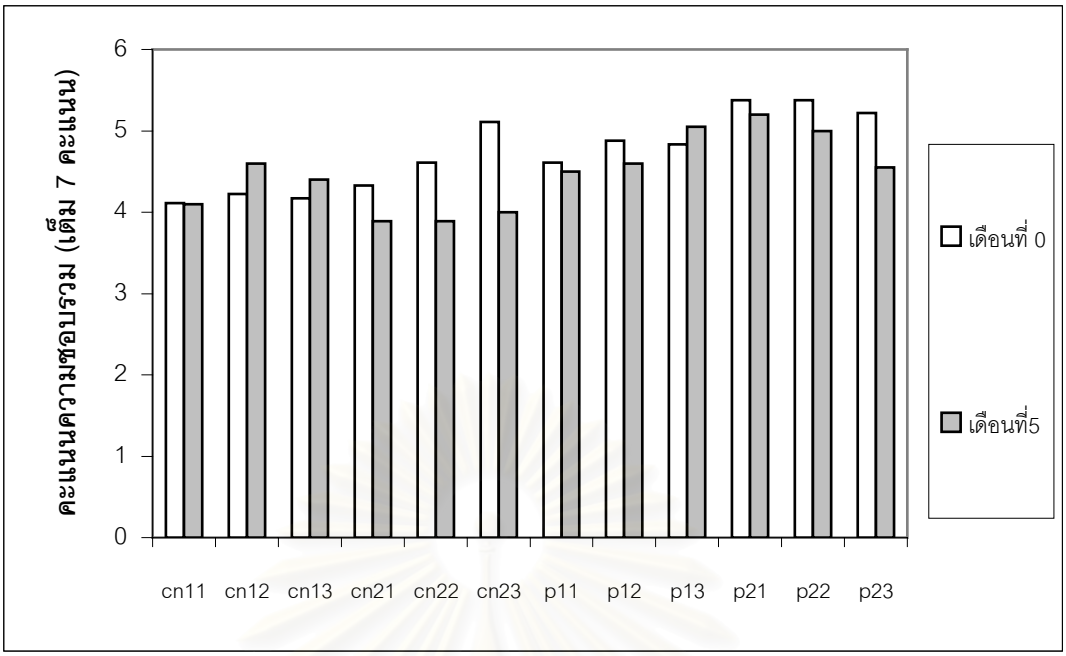
{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่4.15 คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่4.16 คะแนนด้านรสชาติของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่4.17 คะแนนด้านความชอบรวมของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนในเดือนที่0 และเดือนที่5

4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้ากับข้าวนึ่งที่ผลิต 12 ตัวอย่าง

จากการประเมินผลสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้ากับข้าวนึ่งที่ผลิต 12 ตัวอย่าง พบว่าข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้าตรา Uncle Ben's และตัวอย่างข้าวนึ่งที่ผลิต 12 ตัวอย่าง มีปริมาณไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าดัชนีความขาวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งที่ผลิตแตกต่างกัน 13 ตัวอย่าง

SOV	ไอโอดีน	ค่าเปอร์ออกไซด์	น้ำตาลรีดิวซ์	ดัชนีความขาว
ตัวอย่างข้าวนึ่ง	**	**	**	**

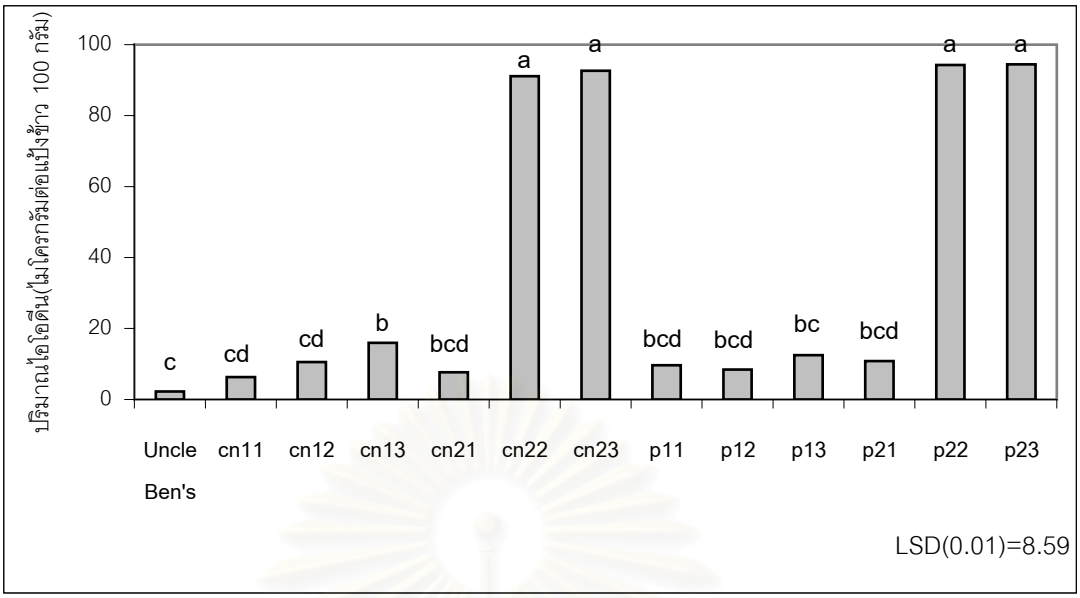
**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

(1) ข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's มีปริมาณไอโอดีนน้อยกว่าข้าวนึ่งที่ผลิตได้ทั้ง 12 ตัวอย่าง (รูปที่ 4.18) เนื่องจากข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's ไม่ได้เสริมไอโอดีน จึงมีปริมาณไอโอดีนน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's กับตัวอย่างข้าวนึ่งที่ไม่ได้แช่ในสารละลายที่มีไอโอดีน ก็พบว่าข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's มีปริมาณไอโอดีนต่ำกว่า อาจเนื่องจากข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's ได้ผ่านกระบวนการผลิตข้าวนึ่งที่มีความรุนแรง (severity) สูงกว่าวิธีการผลิตข้าวนึ่งที่ใช้ผลิตข้าว 12 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีดั้งเดิม การที่ข้าวผ่านการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดการสูญเสียไอโอดีน Goindi et al. (1995) รายงานว่า ข้าวเมื่อผ่านการหุงจนสุกจะมีการสูญเสียปริมาณไอโอดีนประมาณ 32 % และวิธีหุงก็มีผลต่อปริมาณไอโอดีนด้วย วิธี Pressure cooking จะทำให้เกิดการสูญเสียไอโอดีนสูงกว่าวิธีนึ่งธรรมดา (Steaming) ซึ่งสนับสนุนการที่พบว่าข้าวนึ่งนึ่งตรา Uncle Ben's มีปริมาณไอโอดีนต่ำกว่าตัวอย่างข้าวนึ่งที่ไม่ได้แช่ในสารละลายที่มีไอโอดีน

(2) ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's มีค่าสูงกว่าตัวอย่างข้าวนึ่งที่ผลิตได้ทั้ง 12 ตัวอย่าง (รูปที่ 4.19 และ 4.20) อาจเกิดจากการเว้นระยะเวลาหลังจากผลิตเสร็จถึงขั้นการวิเคราะห์ของตัวอย่างข้าวนึ่ง 12 ตัวอย่างกับของข้าวตรา Uncle Ben's ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเมล็ด นอกจากนี้วิธีการผลิตที่ต่างกันก็อาจมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้เช่นกัน

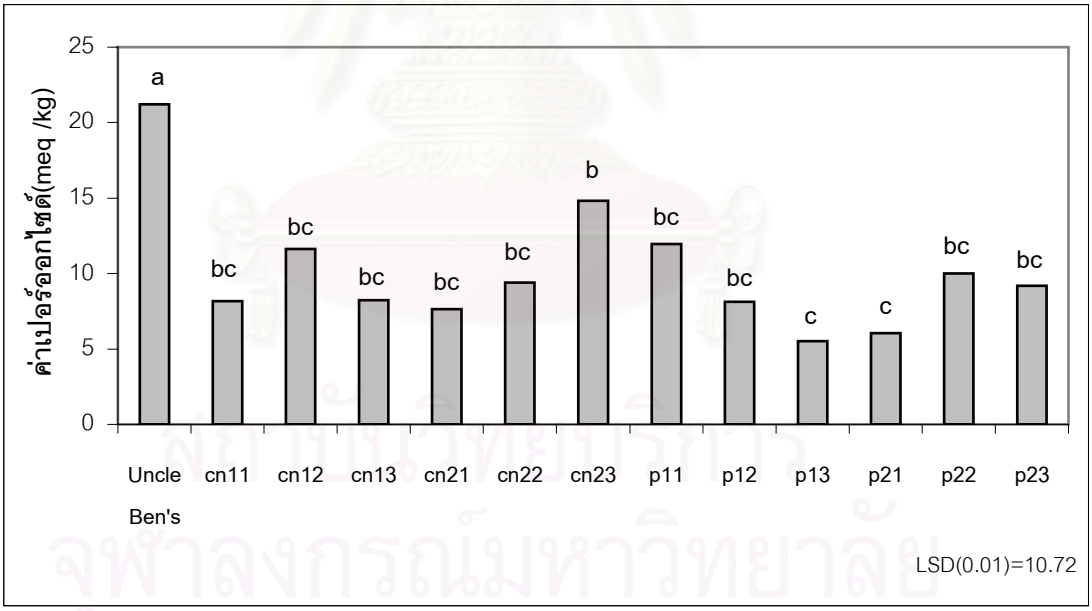
โดยข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's มีค่าเปอร์ออกไซด์ (21.21 meq/kg) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (35.25 มิลลิกรัมน้ำตาลมอลโตสต่อแป้งข้าว 10 กรัม) สูงกว่าข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตทุกตัวอย่าง (ค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 5.5-14.81 meq/kg และน้ำตาลรีดิวซ์ 14.5-24.75 มิลลิกรัมน้ำตาลมอลโตสต่อแป้งข้าว 10 กรัม) ค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's สูงกว่า 20 meq/kg ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนของไขมันในเมล็ดข้าว (Low and Ng, 1987)

(3) ค่าดัชนีความขาวอยู่ในช่วง 53.09-65.14 (รูปที่ 4.21) โดยตัวอย่างที่มีค่าดัชนีความขาวอยู่ในกลุ่มเดียวกับข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's คือ ตัวอย่างข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ และข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงามที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ



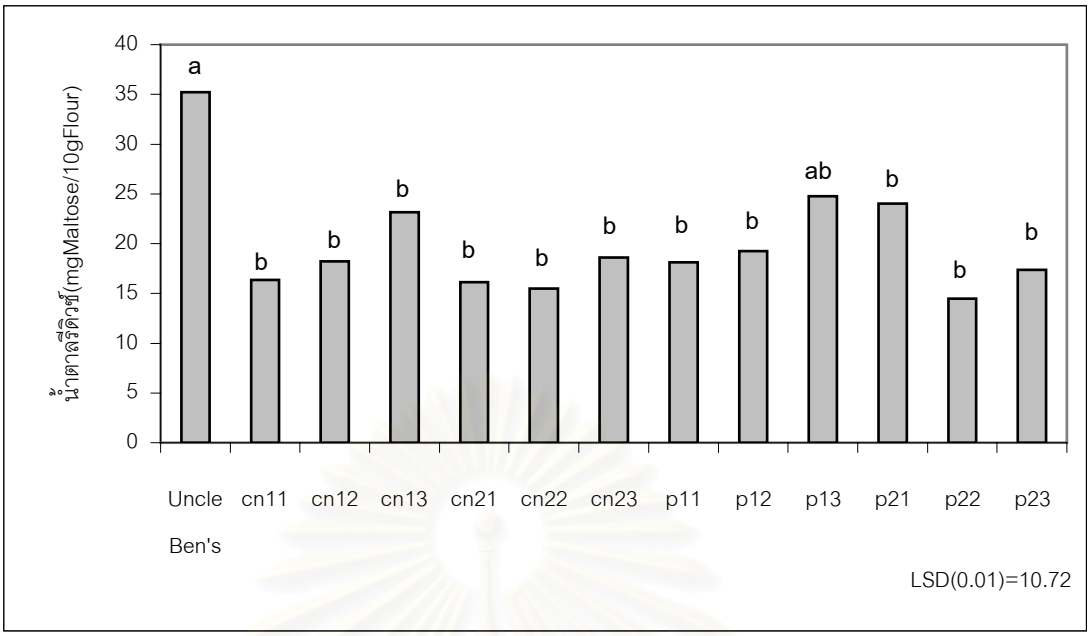
{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.18 ปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า



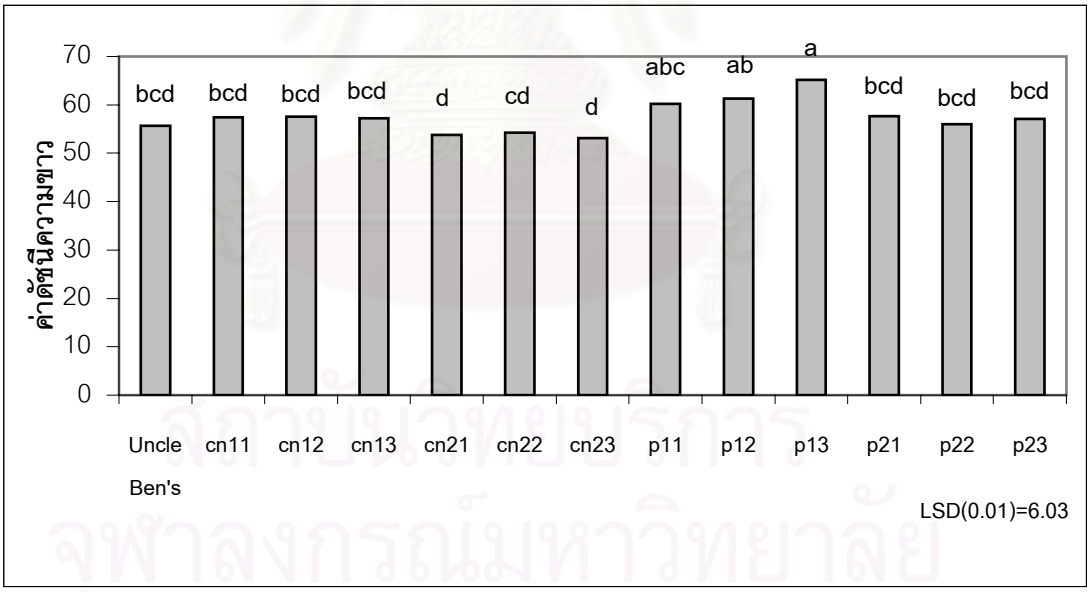
{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.19 ค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

รูปที่ 4.20 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า



{cn=พันธุ์ชัยนาท 1, p=พันธุ์พลายงาม; ตัวเลขตัวแรกแทนชนิดวัตถุดิบ (1=ข้าวเปลือก,2=ข้าวกล้อง); ตัวเลขต่อมาแทนระดับความเข้มข้นไอโอดีน (1=ไม่ได้เสริม,2= 500μg/100g และ 3=1000μg/100g)}

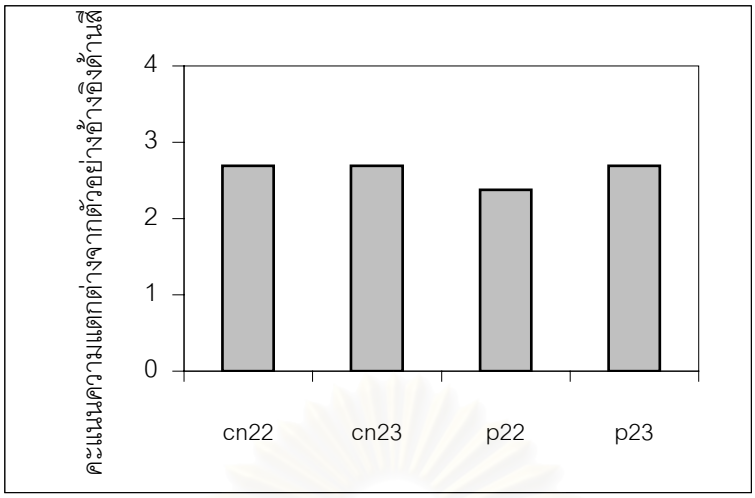
รูปที่ 4.21 ค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนและข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า

(4) การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบแบบ Multiple test ใช้ตัวอย่างข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's เป็นตัวอย่างอ้างอิง และคัดเลือกตัวอย่างข้าวนึ่งจากการทดลองในช่วงแรก 4 ตัวอย่าง คือข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพลายงาม ที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ และเสริมไอโอดีนระดับความเข้มข้นไอโอดีนในสารละลาย 500 และ 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม เพราะผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตอนต้น ได้รับการยอมรับที่ดี และเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณไอโอดีนหลังการเสริมสูง โดยให้ผู้ทดสอบพิจารณาระดับความแตกต่างของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนกับข้าวนึ่ง Uncle Ben's ในด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส

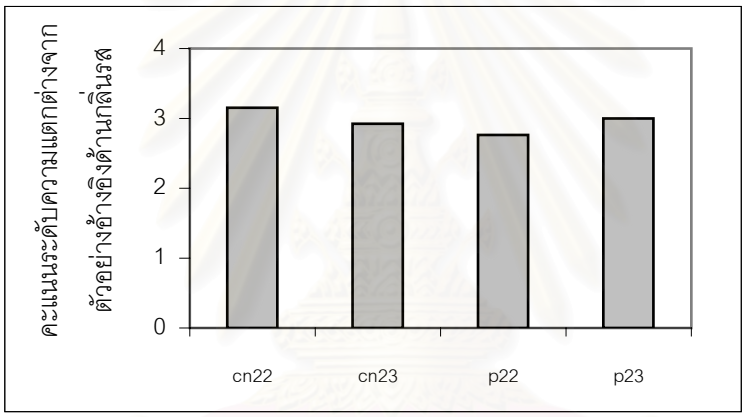
ผลการทดสอบพบว่า คุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนทั้ง 4 ตัวอย่าง มีความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิงเท่า ๆ กัน คือมีสีอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อยถึงปานกลาง (ระดับคะแนนช่วง 2-3) (รูปที่ 4.22) มีกลิ่นรสอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย (ระดับคะแนน 3) (รูปที่ 4.23) ส่วนคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (รูปที่ 4.24) มีค่าในช่วงเนื้อสัมผัสอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย (ระดับคะแนน 3) ถึงไม่แตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิง (ระดับคะแนน 4)

จากผลการวิเคราะห์ด้านสมบัติต่าง ๆ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนทั้ง 12 ตัวอย่าง มีสมบัติทางเคมีแตกต่างจากข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's อย่างชัดเจน ส่วนค่าดัชนีความขาวมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Multiple test ก็พบว่าตัวอย่างที่เลือกมาทดสอบไม่แตกต่างจากกัน คือมีความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิง(ข้าวนึ่งตรา Uncle Ben's) เท่ากัน ดังนั้นในการผลิตข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนโดยใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ จะให้ผลการทดสอบด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ดังนี้คือ มีสีอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงปานกลาง มีกลิ่นรสอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย และมีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิง

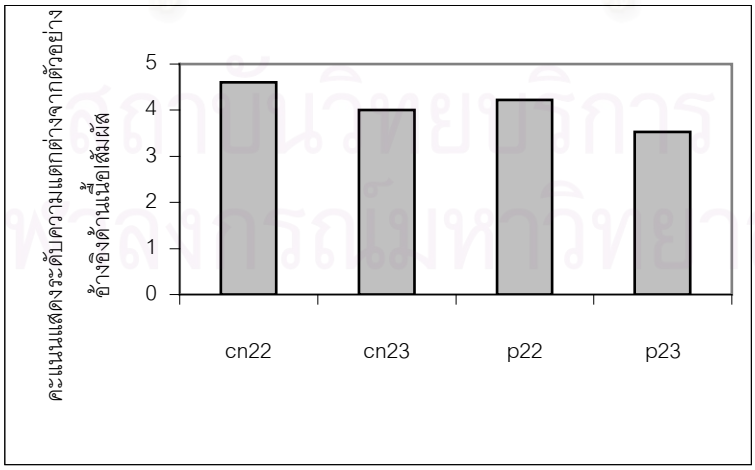
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 คะแนนแสดงระดับความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิงด้านสี (4=ไม่แตกต่าง)



รูปที่ 4.23 คะแนนแสดงระดับความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิงด้านกลิ่นรส (4=ไม่แตกต่าง)



รูปที่ 4.24 คะแนนแสดงระดับความแตกต่างจากตัวอย่างอ้างอิงด้านเนื้อสัมผัส (4=ไม่แตกต่าง)

ดังนั้นข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่คัดเลือกมา 4 ตัวอย่าง มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายทางการค้า อาจต้องปรับปรุงด้านสี และรสชาติให้ใกล้เคียงอีก แต่การที่มีสีและกลิ่นรสอ่อนกว่าข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า อาจเป็นข้อดีในการที่จะทำให้ผู้บริโภคในประเทศไทยยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนได้ เพราะคนไทยไม่เคยชินกับกลิ่นรสของข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนนอกจากมีปริมาณไอโอดีนสูง คือมีไอโอดีนอยู่ในช่วง 91.14-94.5 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ซึ่งอยู่ในช่วง 2 ใน 3 ของปริมาณไอโอดีนที่ร่างกายควรได้รับใน 1 วัน

ค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน

ค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตข้าวนึ่งเสริมไอโอดีน จำนวน 1 กิโลกรัม (ไม่รวมค่าน้ำ ค่าไฟ และค่าแรง)

ค่าสารโพแทสเซียมไอโอเดต ราคา 800 บาทต่อกิโลกรัม ในการเสริมไอโอดีนโดยใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ ที่ระดับความเข้มข้นไอโอดีนในการเสริม 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม จะใช้สารโพแทสเซียมไอโอเดตเพียง 8.43 มิลลิกรัม คิดเป็นเงิน เพียง 1 บาท ต่อข้าว 1 กิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน โดยเทคนิค Macro scale พบว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในน้ำนม Alacta-NF มีความถูกต้องร้อยละ 99.39 $\pm$ 7.01 และความแม่นยำร้อยละ 7.05 ในสารละลาย KIO_3 มีความถูกต้องร้อยละ 97.07 $\pm$ 4.69 และความแม่นยำร้อยละ 4.83 ส่วน %Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีนเท่ากับ 95.73 แสดงว่าวิธีวิเคราะห์ไอโอดีนมีความแม่นยำและความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2. ความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าว ชนิดของข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นของไอโอดีน ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของข้าวนึ่ง มีดังนี้

2.1 พันธุ์ข้าวมีผลต่อปริมาณโปรตีน และอมัยโลส แต่ไม่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน โดยข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงาม แต่มีปริมาณอมัยโลสต่ำกว่าข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงาม

2.2 ปริมาณไอโอดีนจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัตถุดิบและความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลายที่ใช้แช่ข้าว โดยข้าวกล้องสามารถดูดซึมไอโอดีนจากสารละลายในน้ำที่ใช้แช่ข้าวเข้าสู่เมล็ดได้ดีกว่าการใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ แม้ว่าจะถูกนำไปขัดสีข้าวกล้องที่แช่ในสารละลายไอโอดีนที่ระดับความเข้มข้นไอโอดีนในสารละลาย 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ก็ยังมีปริมาณไอโอดีนเหลืออยู่ประมาณ 94 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม (ค่าเฉลี่ยจากข้าว 2 พันธุ์) การเสริมสารไอโอดีนในน้ำที่ใช้แช่ข้าวทั้งสองระดับความเข้มข้น ให้ข้าวนึ่งที่มีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าข้าวนึ่งที่ไม่ได้แช่ในสารละลาย แต่ที่ระดับความเข้มข้นไอโอดีนในสารละลาย 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ให้ข้าวนึ่งที่มีปริมาณไอโอดีนไม่แตกต่างจากที่ระดับความเข้มข้นไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม

2.3 ข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบมีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าข้าวนึ่งที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ และข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าดัชนีความขาว และค่าการสลายตัวในด่างต่ำกว่าข้าวนึ่งจากข้าวพันธุ์พลายงาม เมื่อระดับความเข้มข้นไอโอดีนในสารละลายที่ใช้แช่เพิ่มขึ้น ค่าการสลายตัวในด่างก็เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิแป้งสุกลดลง โดยข้าวนึ่งที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นไอโอดีน 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม จะมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำที่สุด

2.4 กระบวนการผลิตนี้ยังคงให้ข้าวนึ่งที่มีโครงสร้างผลึก type A อยู่ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของธัญพืช และเมื่อส่องกล้องจุลทรรศน์ยังคงพบลักษณะ birefringence เหลืออยู่บ้างในทุกตัวอย่าง แสดงว่าวิธีการผลิตที่ใช้ให้ความร้อนไม่รุนแรงพอที่จะทำลายโครงสร้างผลึกของสตาร์ชข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่ผลิตได้จึงเป็นแบบ Partial parboiled rice

2.5 การเปลี่ยนแปลงของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 8 เดือน ปริมาณไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ปริมาณที่เหลือในเดือนที่ 7 ยังสูงกว่า 1 ใน 3 ของปริมาณไอโอดีนที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในเดือนที่ 3 และค่าดัชนีความขาวไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก การทดสอบทางประสาทสัมผัสในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 5 มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในทุกด้านไม่แตกต่างกันมากนัก

3. การเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายทางการค้า ข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้ามีปริมาณไอโอดีนต่ำกว่าข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนทุกตัวอย่าง ค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวที่มีขายทางการค้ามีค่าสูงกว่าข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนทุกตัวอย่าง แต่ค่าดัชนีความขาวมีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อพิจารณาระดับความแตกต่างระหว่างข้าวที่มีขายทางการค้ากับข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนที่คัดเลือกมา 4 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างข้าวนึ่งที่มีคุณภาพดีที่สุด พบว่าทั้ง 4 ตัวอย่างที่คัดเลือกมามีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า แต่มีลักษณะด้านสี และกลิ่นรสที่อ่อนกว่าข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้าเล็กน้อย

การเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าวด้วยวิธีการทำข้าวนึ่ง โดยการใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ และความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลายที่ใช้แช่ 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม นอกจากให้ผลการเสริมที่มีประสิทธิภาพสูงแล้ว ยังมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีอีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวนึ่งที่มีขายทางการค้า ก็พบว่าไม่มีความแตกต่างมากนัก และยังสามารถเก็บไว้ได้นาน โดยที่ปริมาณไอโอดีนเปลี่ยนแปลงน้อย และผู้บริโภคยังให้การยอมรับ นอกจากนี้วิธีการผลิตยังประหยัดทั้งพลังงานและระยะเวลามากกว่าการใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ และในการเสริมไอโอดีนก็ใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ราคาจึงไม่สูงมากนัก

ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้ผลผลิตที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ควรศึกษาวิธีการทำข้าวนึ่งหลาย ๆ วิธี และควรศึกษาระดับความเข้มข้นไอโอดีนที่น้อยที่สุด ที่จะให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวนึ่งตามต้องการ เพื่อประหยัดสารเคมีที่ใช้ และทำให้การเสริมมีประสิทธิภาพมากขึ้น หรืออาจทดลองเสริมแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม
2. ควรทดลองเสริมไอโอดีนด้วยวิธีการทำข้าวนึ่ง ในข้าวเหนียว และข้าวที่มีปริมาณอมัยโลสต่ำบ้าง เพราะเป็นข้าวที่คนไทยนิยมบริโภค และในบริเวณที่มีประชากรขาดธาตุไอโอดีนอยู่เป็นจำนวนมาก มักเป็นประชากรที่นิยมบริโภคข้าวเหนียวเป็นหลัก
3. สามารถใช้ข้าวนึ่งเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ ควรศึกษาวิธีการนึ่ง หรือระดับความรุนแรงของการนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นอาหารของผู้ป่วยต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

งามชื่น คงเสรี. 2542. คุณภาพข้าวสุก. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการวิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร.

ชุติมา อัศวเสถียร. 2543. ประสิทธิภาพการเสริมไอโอดีนในข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฑิติกาน เมฆจรัสกุล. 2545. การเสริมธาตุเหล็กและธาตุเหล็กร่วมกับไอโอดีนในเมล็ดข้าวและแป้งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ตติยะ สีหร่าย. 2538. สมบัติทางชีวเคมีของข้าวไทย *Oryza sativa L.* ในสภาพการปลูกที่แตกต่างกันและความสัมพันธ์กับคุณภาพการสีและการหุง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปราณีต ผ่องแผ้ว, บรรณาธิการ. 2539. โภชนศาสตร์ชุมชน. กรุงเทพมหานคร: ลิฟวิ่งทรานส์มีเดีย.

วินัย ดะห์ลัน และศัลยา คงสมบูณณ์เวช. 2544. หลักการทางโภชนาการ : นิยาม ความหมาย ข้อกำหนด และข้อแนะนำทางโภชนาการ. ใน เอกสารการอบรมวิชาการด้านผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร. คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สายพิณ โชติวิเชียร, ปิยนิตย์ ธรรมาภรณ์พิลาศ และแสงโสม สีนะวัฒน์. 2546. การได้รับไอโอดีนจากแหล่งต่างๆของประชากรไทย[online]. แหล่งที่มา: http://www.anamai.mophgo.th/factsheet.htm.[22 มีนาคม 2546].

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2542. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แสงโสม สีนะวัฒน์. 2538. ผลการสำรวจการบริโภคอาหาร. รายงานการสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการของประเทศไทย ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

อนามัย, กรม. 2532. ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันและแนวทางการบริโภคอาหารสำหรับคนไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

อนามัย, กรม. 2535. งานควบคุมโรคขาดสารอาหารไอโอดีนในประเทศไทย อดีต-ปัจจุบันและอนาคต. กรุงเทพมหานคร: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

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

เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2542. พันธุ์ข้าวต้านโรค แมลง ไส้เดือนฝอย ทนดินเปรี้ยว ดินเค็มและทนแล้ง. ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี. สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร.

ภาษาอังกฤษ

AACC. 1995. Approved methods of the American association of cereal chemists. 9th ed. Minnisota:American Association of Cereal Chemists.

AOAC. 1995. Official method of analysis. 16th ed. Virginia:The Association of Official Agricultural Chemists.

Araullo, M. H., Padua, D. B., and Graham, M. 1976. Rice Postharvest Technology. International Development Center, Ottawa, Canada.

Bechtel, D. B., and Pomeranz, Y. 1978. Ultrastructure of the nature ungerminated rice (*Oryza Sativa*) caryopsis. The starchy endosperm. Am. J. Bot. 65: 648-690.

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.

Elbert, G. 2001. Effect of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. J. of Food Eng. 47(1): 37-41.

Ensminger, A. H., Ensminger, M. E., James, E. K., and John, R. K. Robson. 1994. Food and Nutrition Encyclopedia. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

Fennema, O. R. 1996. Food Chemistry. 3th ed. New York: Marcel Dekker.

Florentino, R. F., and Pedro, M. R. A. 1998. Update on rice fortification in the Philippines. Food and Nutrition Bulletin. 19(2): 149-153.

Grewel, P. K., and Saugha, J. K. 1990. Effect of processing on thiamin and riboflavin contents of some high-yielding rice varieties of Panjab. J. Sci. Food Agric. 52: 387-391.

Goindi, D. H., Kamarkar, M. G., Kapil, U., and Jagannathan, J. 1995. Estimation of loss of iodine during different cooking procedures. Asia Pacific J. of Clin Nutr. 4: 225-227.

Grist, D. H. 1975. Rice. 5th ed. London: Longman.

Hass, E. M. 2003. Excerpted from Staying Healthy with Nutrition: The Complete Guide to Diet and Nutritional Medicine[online]. Source :http://www.healthy.net/asp / templates /article.asp?PageType=article&ID=2074.htm.[March 2003].

Hettiarachchy, N. S., Gnanasambandam, R., and Lee, M. H. 1996. Calcium fortification of rice: Distribution and retention. J. Food Sci. 61: 195-197.

Hizukuri, S. 1996. Starch: Analitical aspects. In A.C. Eliasson(ed.). Carbohydrates in foods. Pp. 347-429. New York: Marcel Dekker.

Hoseney, R. C. 1994. Principles of Cereal Science and Technology. 2nd ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Hurrel, R. F. 1998. Improvement of trace element status throughfood fortification: Technological, biological and health aspects. Bibl.Nutr. Dieta. 54:40-57.

Jacobs, H., and Delcour, J. A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. J. Agric. Food Chem. 46(8): 2895-2905.

Jayanarayanan, E. K. 1965. Influence of processing condition on the browning of parboiled rice. Rice J. 68(12): 16-17.

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay of milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16(10): 334-340, 360.

Juliano, B. O. 1972. In the rice caryopsis and its composition. Pages 16-62. In D.F. Houston, ed. Rice: Chemistry and Technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Juliano, B. O. 1993. Rice in Human Nutrition. Philippines: International Rice Research Institute.

Kar, N., Jain, R. K., and Srivastav, P. P. 1999. Parboiling of dehusked rice. J. Food Eng. 39:17-22.

Kondo, K., Mitsuda, H., and Iwai, K. 1985. Rice enrishment and fortification. In B. O. Juliano (ed.) Rice: Chemistry and technology. 2nd ed. pp. 389-391 . St. Paul, Minn. Am. Assoc. Cereal Chem.

Kutsky, R. J. 1981. Handbook of Vitamins, Minerals and Hormones. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold.

Lai, H. M. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. Food Chem. 72:455-463.

Lamberg, B. A. 1993. Iodine deficiency disorders and endemic goitre. European J. of Clin.Nutr. 47: 1-8.

Low, T. K., and Ng, C. S. 1987. Determination of peroxide value. In H. Hasegawa(ed.), Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Marine Fisheries Research Department, Southeast Asia Fisheries Development Center, Singapore.

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.

Mcdowell, L. R. 1992. Minerals in Animals and Human Nutrition. San Diego: Academic Press.

Miah, M. A. K., Haque, A. Douglass, M. P., and Clarke, B. 2002. Parboiling of rice. Part II: Effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. Int. J. of Food Sci. Tech. 37:539-545.

Ong, M. H., and Blanshard, M. V. 1995. The significance of starch polymorphism in commercially produced parboiled rice. Starch. 47:7-13.

Padua, A. B., and Juliano, B. O. 1974. Effect of parboiling on thaiamin, protein and fat of rice. J. Sci. food Agric. 25:697-701.

Perdon, A. A., Siebenmorgen, T. J., Buescher, R. W., and Gbur, E. E. 1999. Starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. J. of Food Sci. 64(5):828-832.

Pillaiyar, P., Singaravadivel, K., and Desikachar, H. S. R. 1994. Quality changes in HTST processing of rice parboiling. J. Sci. Food Agric. 65: 229-231.

Pomeranz, Y., and Meloan, c. E. 1994. Food analysis: Theory and practice. 3rd ed. New York: Chapman & Hall.

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 Guilbot, J. A. 1974. Hydrolyzed starches, gel filtration, and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chem. 51:389-460.

Robert, R. L., Potter, A. L., Kester, E. B., and Keneaster, K. K. 1954. Effect of processing conditions on the expanded volume, color and soluble starch of parboiled rice. Cereal Chem. 31: 121-129.

Sowbhaga, C. M., and Ali, S. Z. 1991. Effect of presoaking on cooking time and texture of raw and parboiled rice . J. Food Sci. Technol. 28(2): 76-80.

Tester, R. E., and Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelationization of cereal starches. II. Waxy rice starches. Cereal Chem. 67(6): 558-563.

Van Ruiten, H. Th. L. 1979. Parboiling of paddy:its process, principles and applications. In a paper written for the university of agriculture (IPB), Bogor, Indonesia. Southeast asia coorperative post-harvest research and development programme.

Vasanthan, T., and Hoover, R. 1992. A comparative study of the composition of lipids associated ith starch granules from various botanical sources. Food Chem. 43:19-27.

Villareal, C. P., Maranville, J. W., and Juliano, B. O. 1991. Nutrient content and retention during milling of brown rices from the International Rice Research Institute. Cereal Chem. 68(4): 437-439.

Yasumatsu, K., and Moritaka, S. 1964. Fatty acid composition of rice lipid and their changes during storage. Agric. and Biol. Chem. 28(5):257-264.

Williams, S. R. 1998. Basic nutrition and diet therapy. 8th ed. St Louis, Toronto, Santa Clara. Times Mirror / Mosby College publishing.

White, A., Philip, ., and Smith, L. M. 1973. Principles of Biochemistry. 5th ed. New York: McGraw-Hill.

Zobel, H. F. 1964. X-ray analysis of granule starches. In R. L. Whistler (ed.), Methods in carbohydrate chemistry. Vol.4. pp. 109-113. New York: Academic Press.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของวัตถุดิบและโพแทสเซียมไอโอเดต

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1. ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวเจ้า ที่มีปริมาณอมัยโลสสูง เมล็ดข้าวมีรูปร่างเรียว ยาว เมื่อสุกจะมีความร่วน แข็ง ให้ผลผลิตต่อไร่สูง
2. ข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี เป็นข้าวเจ้า อยู่ในกลุ่มข้าวขึ้นน้ำ ส่วนใหญ่นิยมนำไปผลิตเป็นข้าวนึ่ง เนื่องจากข้าวมีคุณภาพการสีต่ำ เมล็ดมีรูปร่างเรียว ยาว และเป็นข้าวอมัยโลสสูง ให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ และในส่วนของข้าวท่อนจะนำมาแปรรูป เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน เป็นต้น
3. ข้าวกล้อง ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำข้าวนึ่ง หลังจากการนำเปลือกออกแล้ว จะคัดให้มีเมล็ดข้าวหักไม่เกินร้อยละ 5

โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) (The Merck index, 1996)

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์

ข.1 ปริมาณความชื้น

ดัดแปลงจากวิธีของ AACC 44-15A (1995) แบบขั้นตอนเดียว โดยใช้ขนาดถ้วยอลูมิเนียมต่างจากขนาดที่กำหนดไว้ และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้อบจาก 130±1 องศาเซลเซียส เป็น 100±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 ปิดฝาถ้วยอลูมิเนียม ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 40 นาที
4. บันทึกน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง
5. นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบต่ออีก 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) หรือ AOAC 960.25 (1995) และคำนวณปริมาณโปรตีนโดยใช้แฟคเตอร์ 5.95 (Juliano, 1972)

อุปกรณ์

เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Satorious รุ่น A200S

ชุดเครื่องย่อย BUCHI Digestion Unit B 324

ชุดเครื่องกลั่น BUCHI Distillation Unit K 424

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้น (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. เมธิลเรด-โบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ (ประกอบด้วยสารละลายเมธิลเรด 0.2% ในแอลกอฮอล์ และสารละลายโบรโมครีซอลกรีน 0.2% ในแอลกอฮอล์ ผสมกันในอัตราส่วน 5 : 1)

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง1.5 กรัม ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา (Selenium reagent mixture) 5 กรัม และกรดซัลฟุริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อย ซึ่งควบคุมอุณหภูมิการย่อย ทิ้งไว้จนตัวอย่างมีสีเขียวอ่อน ใช้เวลาประมาณ 45 นาที
4. ทิ้งให้ Kjeldahl tube เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเตรียมขวดรูปชมพู่ เติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วนำไปรองไว้ที่ปลาย condenser ของชุดเครื่องกลั่น
5. นำ Kjeldahl tube ตัวอย่างไปกลั่นด้วยชุดเครื่องกลั่น ซึ่งมีการควบคุมสภาวะการกลั่นดังนี้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 65 มิลลิลิตร, กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 70 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการกลั่น 5 นาที
6. ล้างปลายหลอด condenser ด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่รองรับสารที่กลั่นได้ แล้วนำสารละลายที่ได้ทั้งหมด ไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ได้จุดยุติที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

7. คำนวณปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนจากสูตร

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

ปริมาณโปรตีน (%) = ปริมาณไนโตรเจน (%) × 5.95

ข.3 ปริมาณไอโอดีน

ดัดแปลงจากวิธีของ Moxon และ Dixon (1980)

หลักการ

นำตัวอย่างข้าวไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace) เพื่อย่อยสารอินทรีย์ (Organic matter) ได้ไอโอดีนอยู่ในส่วนเถ้า ทำการสกัดไอโอดีนออกมาจากเถ้าด้วยน้ำ และนำไปทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน โดยใช้หลักการที่ไอโอดีนจะเร่งปฏิกิริยาการทำลายไทโอไซยาเนตโดยไนไตร์ท ซึ่งเป็นผลให้ความเข้มสีของ Iron (III) thyocyanate ลดลง

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Fisher Scientific Isotemp Muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain crucibles) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร พร้อมฝาปิด
3. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge, KUBOTA 5200)
4. เครื่องผสมสารเคมี (Thermolyne type 37600 mixer/vortex)
5. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย (UV-Visible 240 Shimadsu 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 เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต 0.23 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

4. สารละลายโซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$, AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 2.07 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดยละลายโซเดียมไนไตร์ท 2.07 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 วัน

5. สารละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต ($NH_4Fe(SO_4)_2.12H_2O$, AR grade) เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต 77 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนประมาณ 400 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริก (HNO_3, AR grade) เข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.42) ปริมาตร 167 $\pm$ 1 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร คนสารละลายให้เข้ากัน

การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 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 กรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้มา 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

3. การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมโดยใช้สารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้มา 5 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อป้องกันแสงและไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานเพื่อใช้เป็น Working Standard

เตรียมโดย ปิเปตสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรมา 0, 2, 4, 6, และ 8 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าขวดปรับปริมาตรให้สารละลายเข้ากัน จะได้สารละลายไอโอดีนมีความเข้มข้น 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 มิลลิลิตร ในตัวอย่างอาหาร ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างอาหารให้เข้ากับสารละลาย แล้วใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตรน้อยที่สุดล้างสารละลายที่ติดอยู่บนแท่งแก้วลงในถ้วยกระเบื้อง

3. นำตัวอย่างอาหารในถ้วยกระเบื้องเข้าอบที่อุณหภูมิ 100 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง

4. นำตัวอย่างอาหารออกจากตู้อบ แล้วนำไปเผาไล่ควันในตู้ดูดอากาศ จนไม่มีควัน จากนั้นปิดด้วยฝาปิดถ้วยกระเบื้อง นำตัวอย่างอาหารเข้าเตาเผาเริ่มจากอุณหภูมิห้อง จนถึง 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที เริ่มจับเวลาในการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้น ปิดเตาเผาและปล่อยตัวอย่างไว้ในเตาเผาอีกประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นจำตัวอย่างออกมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5. เติมซิงค์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตร ในตัวอย่างอาหารที่เผามาแล้ว 1 ครั้ง และใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างอาหารให้เข้ากับสารละลาย ล้างสารละลายที่ติดอยู่บนแท่งแก้วลงในถ้วยกระเบื้องด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตรน้อยที่สุด นำตัวอย่างอาหารเข้าอบที่อุณหภูมิ 100 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส และเผาอีกจนได้เถ้าที่สมบูรณ์

6. นำตัวอย่างเถ้าที่สมบูรณ์ มาล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตร 50 $\pm$ 0.5 มิลลิลิตร คนเถ้าให้ละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออนมากที่สุด แล้วเทใส่หลอดสำหรับเหวี่ยงแยกสาร จากนั้นนำสารละลายเถ้าไปเหวี่ยงแยกที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์

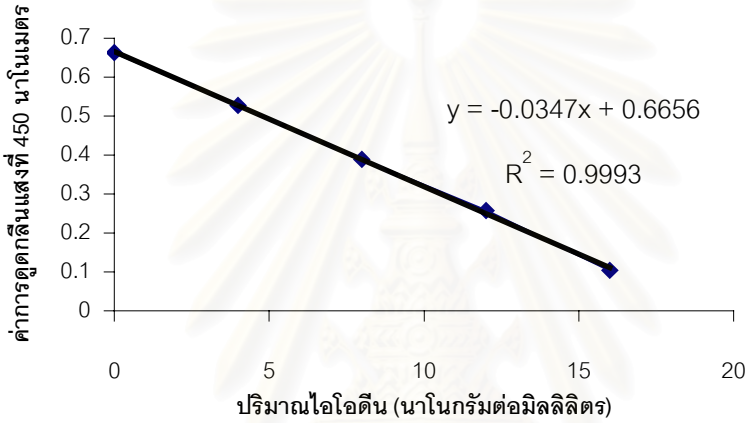
1. นำสารละลายส่วนใสด้านบนของสารละลายเถ้า สารละลายไอโอดีนมาตรฐาน และสารละลาย Blank มาอย่างละ 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร สารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต 1 มิลลิลิตร และสารละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex

2. นำสารละลายแต่ละหลอดมาเติมสารละลายโซเดียมไนไตร์ท หลอดละ 1 มิลลิลิตร โดยเว้นระยะเวลาในการเติมโซเดียมไนไตร์ทแต่ละหลอดให้เท่ากันคือ 30 วินาทีต่อการเติมโซเดียม

โซเดียมไนไตร์ทแต่ละหลอด เมื่อเติมโซเดียมไนไตร์ทแล้วให้ผสมสารละลายและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที เมื่อครบ 20 นาที ต้องทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละหลอดทันที

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร และเว้นระยะเวลาในการอ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแต่ละหลอดให้ห่างกัน 30 วินาที บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแต่ละหลอดที่อ่านได้

4. นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน ที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละครั้งมาสร้างกราฟมาตรฐาน แสดงในรูปที่ ข.1 และนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างมาเทียบหาความเข้มข้นของไอโอดีน (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) ต่อไป



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง 2 ครั้ง)

การคำนวณปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหาร

ปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหาร (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม) = [(C-B)×5]/W

เมื่อ C= ปริมาณไอโอดีนในสารละลายตัวอย่างอาหาร (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน หรือคำนวณจาก

C = [(Y- intercept)-OD]/slope

Y- intercept = ค่าการดูดกลืนแสงที่จุดตัดแกน Y (ng/ml)

OD = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง (ng/ml)

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

B= ค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในสารละลาย Blank (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร)

5 = ตัวคูณที่ได้จากการใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

W = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร (กรัม)

ข้อแนะนำในการวิเคราะห์ไอโอดีน

1. น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ดังนั้น ก่อนจะวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารชนิดใดก็ตาม ควรทราบปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหารนั้นอย่างคร่าว ๆ ก่อน ถ้าไม่ทราบควรลองสุ่มน้ำหนักตัวอย่างจากอาหารชนิดนั้น ๆ ในหลาย ๆ ระดับ เพื่อหาน้ำหนักของตัวอย่างที่เหมาะสม และสามารถอ่านค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงได้

2. น้ำกลั่นที่ใช้เป็นน้ำกลั่นชนิดปราศจากไอออน (deionized water) เพื่อลดการรบกวนของประจุต่าง ๆ ในสารละลายที่ใช้ และสารละลายตัวอย่างซึ่งมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างได้

ข.4 ปริมาณอมัยโลส

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

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectophotometer) JASCO รุ่น V-530
2. เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
3. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Satorious รุ่น A200S

สารเคมี

1. เอธิลแอลกอฮอล์ 95 %
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade) ความเข้มข้น 2 นอร์มัล
3. กรดเกลเซียลอะซิติก (CH_3COOH, AR grade) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล
4. อมัยโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Standard potato amylose) ของบริษัท Sigma Chemical
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน (I_2) 0.2000 g และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0000 g ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. บดเมล็ดข้าวให้เป็นแป้ง ชั่งแป้งมา 0.1000 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่แห้งสนิท

2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 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 กรดเกลเชียลอะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มัลปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร

5. ดูดน้ำแป้งตามข้อ 3 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรที่เตรียมไว้ในข้อ 4 แล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

6. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (ศูนย์)

7. ทำ blank โดยเติมกรดเกลเชียลอะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มัลปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

8. นำค่าการดูดกลืนแสงไปหาปริมาณ (ร้อยละ) อมัยโลส โดยเทียบจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

9. ปรับปริมาณอมัยโลสในแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้ให้เป็นที่ระดับความชื้น ร้อยละ 14.0 จากสูตร ปริมาณอมัยโลสในแป้งข้าวที่ความชื้นร้อยละ 14.0 $= \frac{A \times 86}{100-M}$

เมื่อ A = ปริมาณอมัยโลสในแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้ เป็นร้อยละ

M= ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้ เป็นร้อยละ

การสร้างกราฟมาตรฐาน

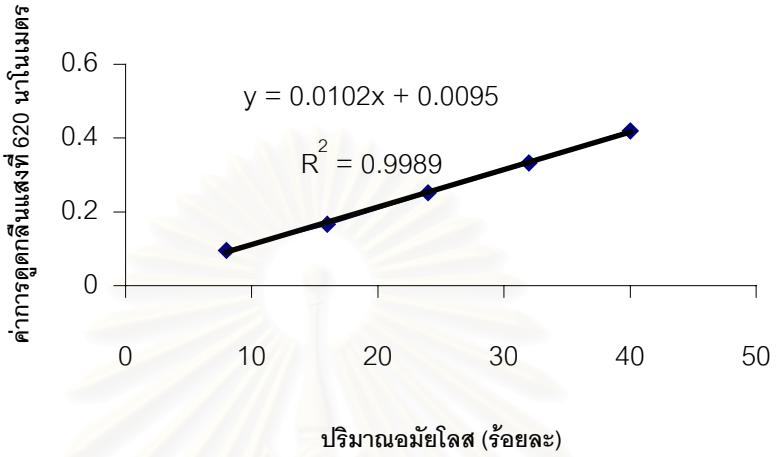
(1) ชั่งอมัยโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่แห้งสนิท แล้วดำเนินการเช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ในตัวอย่างข้อ 2-3 เป็นสารละลายมาตรฐาน

(2) เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลเชียลอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ในขวดที่ 2 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร ในขวดที่ 3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตรในขวดที่ 4 และปริมาตร 2 มิลลิลิตรในขวดที่ 5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีนขวดละ 2 มิลลิลิตร

(3) ดูดสารละลายมาตรฐานในข้อ 1 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณ อมัยโลสร้อยละ 8 16 24 32 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ (2) เติมน้ำ

กลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร หลังจากปรับเครื่องด้วย blank

(4) นำค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณอมัยโลสในสารละลายมาตรฐาน มาเขียนกราฟมาตรฐาน แสดงในรูป ข.2



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอมัยโลส (ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทำ 2 ซ้ำ)

ข.5 การสลายของเมล็ดในด่าง (Alkali digestion)

ดัดแปลงจากวิธีของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี โดย งามชื่น คงเสรี (2542)

อุปกรณ์

1. กล่องพลาสติก (petri dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.7 $\pm$ 0.05 % เตรียมโดยชั่งน้ำหนักสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, AR grade) 19.54 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มและทิ้งให้เย็นแล้ว และปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร (น้ำที่ต้มให้เดือดแล้วทิ้งให้เย็น โดยปิดฝาไม่ให้อากาศเข้า และนำมาใช้ทันที) เก็บสารละลายนี้นาน 24 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย

วิธีวิเคราะห์

1. สุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด ที่ไม่มีรอยแตกร้าว 6 เมล็ด (ทำ 2 ซ้ำ) ใส่ในกล่องพลาสติก
2. วางกล่องพลาสติกบนพื้นสีเข้ม (เพื่อช่วยประเมินค่าชัดเจนขึ้น)
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.7% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดฝา

4. ตั้งทิ้งไว้ 23 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
5. อ่านค่าการสลายของเมล็ดในด่าง จากตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 การให้คะแนนค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง และอุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization Temperature)

คะแนน	ลักษณะการสลายตัว	ระดับการสลายตัว	Gelatinization Temperature
1	เมล็ดไม่เปลี่ยนแปลง	ต่ำ	สูง (>74 °C)
2	เมล็ดพองตัว	ต่ำ	สูง(>74 °C)
3	เมล็ดพองตัว มีแป้งกระจายออกจากเมล็ดเป็นวงแคบ	ต่ำ-ปานกลาง	สูง-ปานกลาง
4	เมล็ดพองตัว มีแป้งกระจายออกจากเมล็ดเป็นวงกว้าง	ปานกลาง	ปานกลาง (70-74 °C)
5	เมล็ดแตกปริทางขวางหรือทางยาว แป้งกระจายออกจากเมล็ดเป็นวงกว้าง	ปานกลาง	ปานกลาง
6	เมล็ดสลายรวมกับแป้งที่กระจายออกมา	สูง	ต่ำ (< 69 °C)
7	เมล็ดสลายจนหมด แป้งใส	สูง	ต่ำ

ข.6 เนื้อสัมผัสของข้าวสุก

ดัดแปลงจากวิธีของ Perdon, Siebenmorgen, Buescher และ Gbur (1999)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-TX2 Texture Analyzer)
2. หัวกดชนิด P25 รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร
3. หม้อนึ่ง
4. ถ้วยอลูมิเนียม

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งข้าวและน้ำ โดยใช้อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ คือ 1ต่อ1.5 (โดยน้ำหนัก) ใส่ในถ้วยอลูมิเนียม

2. ต้มน้ำในหม้อนึ่งจนเดือด นำตัวอย่างที่เตรียมในข้อ 1 ใส่ในหม้อนึ่ง ปิดฝา นาน 20 นาที

ขั้นตอนการวัดเนื้อสัมผัส

1. หลังจาก calibrate เครื่องวัดเนื้อสัมผัส และหัวกดแล้ว วางเมล็ดข้าวสุก 3 เมล็ดที่กลางฐานรองรับหัวกด

2. สภาวะที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัส มีดังนี้

Mode: Measure Force in Compression

Option: Return to start

Pretest speed: 0.5 mm/s

Test speed: 0.5 mm/s

Post-test speed: 10.0mm/s

Strain: 90 %

3. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยทำการคำนวณค่าดัชนี Firmness จากพื้นที่ใต้กราฟ แรง-เวลา ในช่วงของการกด มีหน่วยเป็น Newton-sec (N-s)

ข.7 ศึกษาโครงสร้างผลึกของเมล็ดสตาร์ช โดยใช้ X-ray diffractometer และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964)

อุปกรณ์

1. X-ray diffractometer JOEL รุ่น JDX-8030

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างแป้งโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้แน่น

2. นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง X-ray diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที

3. สั่งให้เครื่องทำงาน และวัดค่าในช่วงที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม ดังนี้

Target :	Cu
kV:	45.0 kV
mA:	35.0 mA
Start angle:	5.00 deg.
Stop angle:	45.00 deg.
Step angle:	0.040 deg.
M. time:	1.50 sec.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.8 ค่าเปอร์ออกไซด์

อุปกรณ์

1. เครื่องระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator)
2. เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)

สารเคมี

1. สารละลายคลอโรฟอร์ม-เมธานอล (CM Mixture) อัตราส่วน 2: 1 โดยปริมาตร
2. สารละลายคลอโรฟอร์ม-กรดอะซิติก อัตราส่วน 2: 3 โดยปริมาตร
3. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI, AR grade) 100 กรัม ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มและทำให้เย็นแล้ว ปริมาตร 70 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดสีชา ให้เตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนการใช้งาน
4. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$, AR grade) ความเข้มข้น0.01 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 25 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร นำไปต้มให้เดือดอ่อน ๆ เป็นเวลา 5 นาที ยกลงเทใส่ขวดสีชาขณะร้อน เก็บสารละลายนี้ในที่มืดและเย็น เมื่อนำมาใช้ให้เจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นต้มใหม่จำนวน 10 เท่า
5. น้ำแป้ง ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 เตรียมโดยชั่ง Soluble starch 1.5 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 วินาที ยกลงทิ้งให้เย็น
6. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$, AR grade) อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl, AR grade)ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 8.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
8. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI, AR grade)

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (AOAC, 1995)

1. ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีจุกปิด
2. เติมน้ำที่ปราศจากคลอรีน 80 มิลลิลิตร ที่มีโพแทสเซียมไอโอไดด์อยู่ 2 กรัม
3. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล 20 มิลลิลิตร พร้อมกับแกว่งขวด แล้วปิดจุก เก็บในที่มืดทันทีเป็นเวลา 10 นาที
4. ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต เมื่อสารละลายในขวดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ให้เติมน้ำแป้งแล้วไตเตรตต่อไป จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี

5. คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตได้ตามสูตร

$$\text{ความเข้มข้น (นอร์มัล)} = \frac{\text{น้ำหนักโพแทสเซียมไดโครเมต (กรัม)} \times 1000}{\text{ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)} \times 49.032}$$

วิธีการสกัดไขมัน (ดัดแปลงจาก Yasumatsu และ Moritaka, 1964; Vasanthan และ Hoover, 1992)

1. นำแป้งที่ได้จากการบดข้าว ซึ่งอบไล่ความชื้นแล้วจำนวน 50 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติม CM Mixture ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ นำไปปั่นกวนด้วย magnetic stirrer ที่ตั้งความเร็วไว้ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. เท CM Mixture ที่ได้สกัดไขมันแล้วใส่ในบีกเกอร์ ใช้อลูมิเนียมฟอยด์ปิดปากบีกเกอร์

4. เท CM Mixture ใส่ในบีกเกอร์ใบเดิมที่มีตัวอย่างอีก 100 มิลลิลิตร ทำซ้ำตามข้อ 3

5. นำ CM Mixture ที่สกัดไขมันทั้งหมดไปใส่ในขวดก้นกลมแบน (boiling flask) ที่ผ่านการ อบและชั่งน้ำหนักขวดไว้แล้ว (ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน) นำไประเหย CM Mixture ออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส

6. นำขวดใส่ไขมันที่ระเหย CM Mixture แล้ว ไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักไขมัน (ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน)

7. นำไขมันที่สกัดได้ไปหาค่าเปอร์ออกไซด์

วิธีการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Low และ Ng, 1987)

1. เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม-กรดอะซิติก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่มีไขมัน แล้วแกว่งขวดเพื่อละลายไขมัน

2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว จำนวน 1 มิลลิลิตร ปิดปากขวดทันที นำไปเก็บในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที

3. เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วเขย่า

4. ไตเตรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน จึงเติมน้ำแป้งจำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสารละลายไม่มีสี

5. ทำ blank ตามวิธีข้างต้นแต่ไม่มีตัวอย่างไขมัน

6. คำนวณหาค่าเปอร์ออกไซด์ตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์ (milliequivalent / kg)} = \frac{(A - B) \times C \times 1000}{W}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

C คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มัล)

W คือ น้ำหนักไขมันตัวอย่าง (กรัม)

ข.9 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

วิธีวิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC 939.03 (1995)

สารเคมี

1. สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ เตรียมโดยเจือจางกรดอะซิติก (CH_3COOH, AR grade) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร โซเดียมอะซิเตทแอนไฮดรัส (anhydrous $NaCH_3COO$, AR grade) 4.1 กรัม และกรดซัลฟุริก (H_2SO_4, AR grade) ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. สารละลายโซเดียมทังสเตท ($Na_2WO_4.2H_2O$, AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดยละลายโซเดียมทังสเตท 12 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3. สารละลายอัลคาไลน์เฟอริกไซยาไนด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมเฟอริกไซยาไนด์ ($K_3Fe(CN)_6$, AR grade) ที่อบแห้งแล้ว 33 กรัม และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3, AR grade) 44 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายเกลือกรดอะซิติก เตรียมโดยเจือจางกรดอะซิติก(CH_3COOH, AR grade) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl, AR grade) 70 กรัม และ ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4.7H_2O$, AR grade) 40 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายสตาร์ช-โพแทสเซียมไอโอไดด์ เตรียมโดยเติม Soluble starch 2 กรัมลงในน้ำเย็นปริมาตรน้อย แล้วจึงเทลงในน้ำเดือด คนตลอดเวลา ทิ้งให้เย็น จากนั้นเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์(KI, AR grade) 50 กรัม แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

6. สารละลายมาตรฐานไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$, AR grade) 24.82 กรัม และ โซเดียมบอเรต ($Na_2B_4O_7.7H_2O$, AR grade) 3.8 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งน้ำหนักแป้งที่บดจากข้าวปริมาณ 5.675 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 หรือ 125 มิลลิลิตร เอียงขวดในแนวราบกับพื้น ให้แป้งตกไปรวมกันข้างขวด เติมแอลกอฮอล์ 5 มิลลิลิตร ให้แป้งเปียกติดที่ผนังขวด จากนั้นเอียงขวดในทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก เติมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร จนหมด แล้วจึงให้แป้งสัมผัสกับสารละลาย จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายโซเดียมทังสเตทปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทันที เขย่าให้เข้ากัน แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 4 ทิ้งสารที่กรองได้ 8-10 หยดแรก

สำหรับ blank เตรียมโดยผสมแอลกอฮอล์ 5 มิลลิลิตร สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมทังสเตท 2 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ และ blank ตัวอย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง (25×20mm)

2. เติมสารละลายอัลคาไลน์เฟอริกไซยาไนด์ 10 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน

3. นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดรุนแรง โดยให้น้ำในหลอดอยู่ต่ำกว่าน้ำในอ่าง 3-4 เซนติเมตร ต้มนาน 20 นาที จากนั้นทำให้เย็นโดยให้น้ำไหลผ่าน

4. เทสารละลายจากหลอดสู่ขวดรูปชมพู่ แล้วเติมสารละลายเกลือกรดอะซิติกปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในหลอดเพื่อล้างหลอด แล้วเทสารละลายลงในขวดรูปชมพู่ขวดเดิม เขย่าให้เข้ากัน

5. เติมสารละลายสตาร์ช-โพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

6. ไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งสีหายไป

7. คำนวนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จากผลต่างระหว่างปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรตได้ของ blank กับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรตได้ของตัวอย่าง แล้วนำไปเปิดจากตารางที่ ข.2 ซึ่งคำนวณเป็นปริมาณน้ำตาลมอลโตส ต่อแป้ง 10 กรัม

หมายเหตุ สำหรับ blank ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรตจนสีหายไปควรเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ถ้าการไตเตรตอยู่ในช่วง 10 $\pm$ 0.05 มิลลิลิตร ให้ถือว่าเป็นปริมาตรที่ equivalent กับปริมาตรของเฟอริกไซยาไนด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล แต่ถ้าการไตเตรตเกินช่วงนี้ ให้ใช้ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรตได้นั้น equivalent กับเฟอริกไซยาไนด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 0.1 Ferricyanide Maltose Conversion [a]

0.1N Ferricyanide Reduced,ml	Maltose per 10 g Flour, mg	0.1N Ferricyanide Reduced,ml	Maltose per 10 g Flour, mg
0.1	5	2.3	116
0.2	10	2.4	121
0.3	15	2.5	126
0.4	20	2.6	130
0.5	25	2.7	135
0.6	31	2.8	140
0.7	36	2.9	145
0.8	41	3.0	151
0.9	46	3.1	156
1.0	51	3.2	161
1.1	56	3.3	166
1.2	60	3.4	171
1.3	65	3.5	176
1.4	71	3.6	182
1.5	76	3.7	188
1.6	80	3.8	195
1.7	85	3.9	201
1.8	90	4.0	207
1.9	96	4.1	213
2.0	101	4.2	218
2.1	106	4.3	225
2.2	111	4.4	231

[a] These values are arbitrarily given for 10 g flour although determination is made on only 0.5 g flour

ที่มา ตารางที่ 939.09 (AOAC, 1995)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมไอโอดีนหุงสุก

ชื่อ ..... วันที่.....

โปรดพิจารณาคุณลักษณะและประเมินคุณภาพของตัวอย่างข้าวนึ่งหุงสุกต่อไปนี้ ทีละตัวอย่าง พร้อมทั้งให้คะแนนคุณลักษณะ และการยอมรับรวมของตัวอย่างตามเกณฑ์ที่กำหนด

คุณลักษณะ	รายละเอียด	รหัสตัวอย่าง ___ ___ ___ ___ ___
สี (5 คะแนน)	- สีเหลืองอ่อน (4-5) -สีเหลืองปานกลาง (2-3) -สีเหลืองเข้ม (1)	
กลิ่น (5 คะแนน)	-กลิ่นปรกติเหมือนข้าวเจ้าสุก (4-5) -กลิ่นแปลกปลอม*เล็กน้อย (2-3) -มีกลิ่นแปลกปลอมมาก (1)	
ความเกาะตัว (5 คะแนน)	-มีความเกาะตัวติดกันดี (4-5) -มีความเกาะตัวกันเล็กน้อย (2-3) -ร่วนไม่เกาะตัวกัน (1)	
เนื้อสัมผัส (5 คะแนน)	-นิ่มพอดี (4-5) -แข็งเล็กน้อย (2-3) -แข็งมาก (1)	
รสชาติ(5 คะแนน)	-รสชาติเหมือนข้าวเจ้าสุกปรกติ (4-5) -รสชาติผิดปรกติเล็กน้อย (2-3) -รสชาติผิดปรกติมาก (1)	
ความชอบรวม (7 คะแนน)	- ชอบมาก (7) -ชอบปานกลาง (6) -ชอบเล็กน้อย (5) -บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ (4) -ไม่ชอบเล็กน้อย (3) -ไม่ชอบปานกลาง (2) -ไม่ชอบมาก (1)	

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบทดสอบแบบ Multiple test

ชื่อ _____ วันที่ _____

โปรดพิจารณาให้คะแนนความแตกต่างของคุณลักษณะต่าง ๆ ของตัวอย่างข้าวนึ่งหุงสุกจากตัวอย่างข้าวนึ่งหุงสุกอ้างอิง (reference) ดังต่อไปนี้

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง ____ ____ ____ ____
1) สี 7= สีเข้มกว่าตัวอย่างอ้างอิงมาก 6= สีเข้มกว่าตัวอย่างอ้างอิงปานกลาง 5= สีเข้มกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย 4= สีไม่ต่างจากตัวอย่างอ้างอิง 3= สีอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย 2= สีอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงปานกลาง 1= สีอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงมาก	
2) กลิ่นรส 7= กลิ่นรสมากกว่าตัวอย่างอ้างอิงมาก 6=กลิ่นรสมากกว่าตัวอย่างอ้างอิงปานกลาง 5= กลิ่นรสมากกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย 4= กลิ่นรสไม่ต่างจากตัวอย่างอ้างอิง 3= กลิ่นรสอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย 2= กลิ่นรสอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงปานกลาง 1= กลิ่นรสอ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงมาก	
3) เนื้อสัมผัส 7= แข็งกว่าตัวอย่างอ้างอิงมาก 6= แข็งกว่าตัวอย่างอ้างอิงปานกลาง 5= แข็งกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย 4= สีไม่ต่างจากตัวอย่างอ้างอิง 3= อ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงเล็กน้อย 2= อ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงปานกลาง 1= อ่อนกว่าตัวอย่างอ้างอิงมาก	

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

Source	df	MS
Rep(A)	2	0.191
พันธุ์ข้าว (B)	1	0.334
A×B	2	0.216
ชนิดของวัตถุดิบ (C)	1	0.065
B×C	1	0.103
A×B×C	4	0.829
ความเข้มข้นไอโอดีน(D)	2	0.481
C×D	2	0.792
B ×D	2	0.023
B×C×D	2	0.241
A×B×C×D	16	0.516

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

Source	df	MS
Rep(A)	2	0.193
พันธุ์ข้าว (B)	1	37.414 **
A×B	2	0.066
ชนิดของวัตถุดิบ (C)	1	0.149
B×C	1	0.314
A×B×C	4	0.177
ความเข้มข้นไอโอดีน(D)	2	0.117
C×D	2	0.294 *
B ×D	2	0.159
B×C×D	2	0.158
A×B×C×D	16	0.051

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณอมัยโลสของของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

Source	df	MS
Rep(A)	2	4.299
พันธุ์ข้าว (B)	1	48.581*
A×B	2	0.519
ชนิดของวัตถุดิบ (C)	1	13.963
B×C	1	1.174
A×B×C	4	9.553
ความเข้มข้นไอโอดีน(D)	2	3.545
C×D	2	9.961
B ×D	2	12.978
B×C×D	2	3.258
A×B×C×D	16	3.893

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไอโอดีนของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

Source	df	MS
Rep(A)	2	21.827
พันธุ์ข้าว (B)	1	9.538
A×B	2	6.425
ชนิดของวัตถุดิบ (C)	1	28257.000 **
B×C	1	163.267
A×B×C	4	55.715
ความเข้มข้นไอโอดีน(D)	2	7778.820 **
C×D	2	6137.620 **
B ×D	2	26.677
B×C×D	2	66.426
A×B×C×D	16	19.132

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

Source	df	MS
Rep(A)	2	21.122
พันธุ์ข้าว (B)	1	140.344 *
A×B	2	2.680
ชนิดของวัตถุดิบ (C)	1	238.394 **
B×C	1	28.551
A×B×C	4	4.342
ความเข้มข้นไอโอดีน(D)	2	3.012
C×D	2	2.233
B ×D	2	5.277
B×C×D	2	3.072
A×B×C×D	16	2.895

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการสลายตัวในด่างของข้าวนึ่งที่ใช้พันธุ์ข้าว ชนิดของวัตถุดิบ และระดับความเข้มข้นไอโอดีนต่างกัน

Source	df	MS
Rep(A)	2	1.042
พันธุ์ข้าว (B)	1	20.400 *
A×B	2	0.017
ชนิดของวัตถุดิบ (C)	1	2.300
B×C	1	1.733
A×B×C	4	0.379
ความเข้มข้นไอโอดีน(D)	2	0.299 *
C×D	2	0.257
B ×D	2	0.257
B×C×D	2	0.049*
A×B×C×D	16	0.079

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ ง.7 การวิเคราะห์ความแปปรวนปริมาณไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าดัชนีความขาวของข้าวนึ่งที่ผลิตแตกต่างกัน

Source	df	MS			
		ไอโอดีน	ค่าเปอร์ออกไซด์	น้ำตาลรีดิวซ์	ดัชนีความขาว
ข้าวนึ่ง	12	3261.70**	34.532**	62.609**	21.594**
Error	13	8.145	6.061	12.657	4.012

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว จารุภัทร ลือชา เกิดวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ในปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย