การเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กโดยการเคลือบบนเมล็ดข้าว

นางสาว ธนานันต์ โรจนศศิธรา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-2204-4
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FORTIFICATION OF IODINE ZINC AND IRON BY COATING ON RICE GRAIN

Miss Thananunt Rojanasasithara

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 974-17-2204-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กโดยการเคลือบบนเมล็ดข้าว
โดย	นางสาว ธนานันต์ โรจนศศิธรา
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. รมณี สงวนดีกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนานันต์ โรจนศศิธรา : การเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กโดยการเคลือบบนเมล็ดข้าว (FORTIFICATION OF IODINE ZINC AND IRON BY COATING ON RICE GRAIN) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรรณา ตุลยธัญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 125 หน้า. ISBN 974-17-2204-4.

งานวิจัยนี้ศึกษาการเสริมแร่ธาตุ ได้แก่ ไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในข้าวโดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ โดยศึกษาวิธีการเคลือบแร่ธาตุบนเมล็ดข้าว เปรียบเทียบวิธีการเคลือบเพียง 1 ครั้งกับการเคลือบหลายชั้น พบว่า การเคลือบเพียงครั้งเดียวจะทำให้เมล็ดข้าวแตกหักและเกิดรอยร้าวน้อยที่สุด การเสริมไอโอดีนและสังกะสีในข้าว แปรพันธุ์ข้าวที่ใช้ คือ พันธุ์คลองหลวง1 (ข้าวเจ้า) และพันธุ์แพร่1 (ข้าวเหนียว) และชนิดพอลิเมอร์ 4 ชนิดคือ flour ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว starch ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ข้าวที่เคลือบด้วย flour จะมีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าข้าวที่เคลือบด้วย starch และข้าวพันธุ์คลองหลวง1 ที่เคลือบด้วยเจลพอลิเมอร์ชนิดต่างๆมีปริมาณสังกะสีสูงกว่าข้าวเคลือบพันธุ์แพร่1($p \leq 0.01$) โดยข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลองมีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 46.73–50.67 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และสังกะสีในช่วง 5.48-6.42 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ ข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่เคลือบด้วย flour ข้าวเจ้า มีร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนหลังล้างสูงที่สุด ($p \leq 0.01$) และมีร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีน(94.16%)ปริมาณสังกะสี(96.65%)หลังหุงสูงสุด ตลอดระยะเวลาเก็บ 10 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง ข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลองมีปริมาณไอโอดีน (40.19-51.41 ไมโครกรัม/ข้าว 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และสังกะสี (4.79-6.69 มิลลิกรัม/ข้าว 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

การเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในข้าวพันธุ์คลองหลวง1 ที่เคลือบด้วย flour ข้าวเจ้า นั้น เมื่อข้าวผ่านการล้าง และการหุง พบว่า ร้อยละการคงเหลือของแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนั้นค่อนข้างสูงคืออยู่ในช่วง 88.15-93.80 % ตลอดระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณของไอโอดีน สังกะสี และเหล็กที่มีในข้าวยังอยู่ในช่วงที่ต้องการ (1ใน 3 เท่าของ Thai RDA) และเมื่อทำการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่เสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กมีคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงยอมรับปานกลางถึงยอมรับมาก

ส่วนการเสริมแร่ธาตุในเมล็ดข้าวโดยการฉีดพ่น จะมีการสูญเสียสังกะสีในระหว่างขั้นตอนการผลิต (ขั้นตอนการฉีดพ่น) เมื่อเปรียบเทียบกับการเคลือบธรรมดา ดังนั้นควรเติมสังกะสีเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 หรือในปริมาณ 120% ของ 1 ใน 3 Thai RDA เพื่อให้ข้าวมีปริมาณสังกะสีตามต้องการ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต...ธนานันต์ โรจนศศิธรา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4372277823 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: IODINE / ZINC / IRON / RICE / POLYMER COATING / FORTIFICATION
THANANUNT ROJANASASITHARA : FORTIFICATION OF IODINE ZINC AND IRON BY COATING ON RICE GRAIN. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VANNA TULYATHAN, THESIS COADVISOR : ASST. PROF. SAKDA JONGKAEWWATTANA, 137 pp.ISBN 974-17-2204-4.

This research investigated the processes for fortification of multiple trace elements (iodine, zinc and iron) on rice grains by coating with natural polymers. Two methods of fortification (namely single coating and multiple coating) were compared. It was found that single coating was better than multiple coating method because the former resulted in less broken rice grain. Iodine and zinc were fortified on two varieties of rice grains (Klongluang1 (KL1) and Prae1 (PR1)). Four types of natural edible polymers were used i.e., normal rice flour, normal rice starch, glutinous rice flour and glutinous rice starch. The results showed that KL1 and PR1 coated with rice flour contained higher iodine content than those coated with rice starch. Enriched KL1 rice had more zinc content than enriched PR1 rice ($p \leq 0.01$). The average iodine and zinc contents of all fortified rices were 46.73-50.67 μg/100g rice on dry weight basis (dwb) and 5.48-6.24 mg/100g rice (dwb), respectively. KL1 coated with non-glutinous rice flour had the highest percentage retention of iodine ($p \leq 0.01$) after rinsing with water. When the fortified rices were cooked, KL1 coated with non-glutinous rice flour had the highest percentage retention of iodine (94.16%) and zinc (96.65%). After 10-month storage at room temperature, every fortified rice samples had iodine 40.19 –51.41 μg/100g rice dwb and zinc 4.79-6.99 mg/100g rice dwb.

Non-glutinous rice flour was chosen for coating of iodine, zinc and iron on KL1. Effects of rinsing and cooking on percentage retention of trace elements in the fortified rice were investigated. It was found that fortified rice retained high trace elements content (88.15-93.80%) after rinsing and cooking. The results showed that the chosen process of fortification by coating was efficient. After 6-month storage at room temperature, iodine, zinc and iron contents were in the required range (1/3 of Thai RDA). Sensory tested by twenty panelists showed that the fortified rice products were rated in the range of moderate to high acceptance level .

Enrichment by spraying method was also studied. It was found that substantial zinc loss was resulted during the production (spraying step); therefore, higher amount of zinc must be added into the polymer formulation when compared with the normal coating process.

Department of Food Technology	Student's signature Thananunt Rojanasasithara
Field of study Food Technology	Advisor's signature Vanna T.
Academic year 2002	Co-Advisor's signature Sakda Jongkaewwattana

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และอาจารย์ อำนาจ คอวนิช ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา เป็นอย่างสูงที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และแนะแนวการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความเอาใจใส่ ดูแล และความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล และ อาจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลามาตรวจสอบ กลั่นกรอง และแก้ไขให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธประสาทความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณ วิทยา จงแก้ววัฒนา ที่กรุณาให้ความรู้และช่วยเหลือในการใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer

ขอขอบพระคุณ คุณ อานันท์ ผลวัฒนะ และ สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้าว รวมทั้ง ขอขอบพระคุณ กลุ่มโรงสีเจียเม้ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุข้าวในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่าน ซึ่งอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบใจเพื่อน และพี่ๆปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านเป็นอย่างดี และสำหรับผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือซึ่งผู้วิจัยมิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วัจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัยขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณป้า รวมทั้งขอขอบใจพี่ของผู้วิจัยซึ่งให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ซ

สารบัญรูป.....ฎ

บทที่

1. บทนำ.....1

2. วารสารปริทัศน์.....4

3. การดำเนินงานวิจัย.....30

4. ผลและวิจารณ์การทดลอง.....45

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....87

รายการอ้างอิง.....90

ภาคผนวก.....96

ภาคผนวก ก รายละเอียดของวัตถุดิบและสารประกอบไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก.....97

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน.....100

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี.....104

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก.....106

ภาคผนวก จ วิธีการสกัดสตาร์ช.....108

ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น.....109

ภาคผนวก ช วิธีการล้างข้าว.....110

ภาคผนวก ซ วิธีการหุงข้าว.....111

ภาคผนวก ฌ แบบทดสอบที่ใช้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....112

ภาคผนวก ญ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....115

ภาคผนวก ฎ นิยามศัพท์เฉพาะ.....121

ภาคผนวก ฏ รูปภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....122

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....125

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความต้องการไอโอดีน เหล็กและสังกะสีประจำวันสำหรับคนไทย.....6

2.2 สมบัติทางเคมีของสารประกอบไอโอดีน.....9

2.3 คุณลักษณะของ heme iron และ non-heme iron.....12

2.4 คุณลักษณะของสารประกอบเหล็กที่ใช้ในอาหาร.....15

2.5 คุณลักษณะของสังกะสีรูปแบบต่างๆ.....20

2.6 ร้อยละองค์ประกอบของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร แกลบ รำ ศัพภะ และ polish.....24

2.7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว.....25

4.1 ความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์ไอโอดีน แบบ Macro scale.....46

4.2 % Recovery ในการวิเคราะห์ไอโอดีน แบบ Macro scale.....47

4.3 ความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์สังกะสี.....48

4.4 %Recovery ในการวิเคราะห์สังกะสี.....49

4.5 ความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์เหล็ก.....50

4.6 % Recovery ในการวิเคราะห์เหล็ก.....51

4.7 องค์ประกอบของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และแพร่1.....55

4.8 องค์ประกอบของแป้งข้าวที่ใช้เป็นสารพอลิเมอร์ในการเคลือบ.....56

4.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความชื้น Aw ปริมาณไอโอดีน ปริมาณสังกะสี และค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี.....57

4.10 ผลของพอลิเมอร์ต่อปริมาณไอโอดีนที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบ.....57

4.11 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบ.....58

4.12 ค่าความชื้น Aw และค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังเคลือบ.....60

4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีน และปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังการล้าง.....61

4.14 ร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนและสังกะสีในข้าวเสริมไอโอดีน และสังกะสีหลังล้าง.....62

4.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีน และปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังการหุง.....63

ตารางที่ หน้า

4.16 ร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนและสังกะสีในข้าวเสริมไอโอดีน
และสังกะสีหลังหุง.....64
4.17 สมดุลมวลของปริมาณสังกะสีในขั้นตอนการผลิตข้าวเสริมสังกะสีโดยการฉีดพ่น.....82
4.18 ปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบ หลังล้าง และหลังหุง.....84
4.19 ร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณสังกะสีในข้าวเสริมสังกะสีหลังการล้างและหุง.....85
4.20 ปริมาณความชื้น ค่าสี (L a b) และค่าดัชนีความขาวของข้าวที่ไม่เสริม
และเสริมสังกะสี.....86
ญ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความชื้นของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี
ที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....115
ญ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมไอโอดีนและ
สังกะสีที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....115
ญ.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและ
สังกะสีที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....116
ญ.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและ
สังกะสีที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....116
ญ.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณ
ไอโอดีนในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังล้างที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าว
และชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....117
ญ.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณ
สังกะสีในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังล้างที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าว
และชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....117
ญ.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณ
ไอโอดีนในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุงที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าว
และชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....118
ญ.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณ
สังกะสีในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุงที่มีการจัดการด้านพันธุ์ข้าว
และชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่างกัน.....118

ตารางที่ หน้า

ญ.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความชื้นของข้าวเสริมสังกะสี
โดยวิธีการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีต่างๆ.....119
ญ.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมสังกะสี
โดยวิธีการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีต่างๆ.....119
ญ.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมสังกะสี
โดยวิธีการฉีดพ่นที่ ระดับความเข้มข้นของสังกะสีต่างๆ.....119
ญ.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมสังกะสี
โดยวิธีการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีต่างๆ หลังผ่านการล้าง.....120
ญ.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมสังกะสี
โดยวิธีการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีต่างๆ หลังผ่านการหุง.....120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กลไกการสร้างฮอร์โมนไธร็อกซินและไตรไอโอโดไธโรนีน.....5
2.2 โรคคอพอกซึ่งเกิดจากการขาดธาตุไอโอดีน.....7
2.3 กลไกการดูดซึมเหล็กของร่างกาย.....11
2.4 กลไกการดูดซึมสังกะสีในร่างกาย.....17
2.5 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....22
3.1 การเสริมไอโอดีนและสังกะสีในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบด้วยเจลพอลิเมอร์.....32
3.2 การเสริมไอโอดีน เหล็ก และสังกะสีในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบด้วยเจลพอลิเมอร์.....33
3.3 วิธีการเสริมสังกะสีในเมล็ดข้าวโดยการฉีดพ่น.....34
3.4 วิธีการเคลือบข้าวด้วยสารละลายเจลพอลิเมอร์.....38
4.1 ลักษณะ surface area และ cross section ของเมล็ดข้าวพันธุ์คลองหลวง1 ที่แปรจำนวนครั้งในการเคลือบ.....52
4.2 ลักษณะ surface area และ cross section ของเมล็ดข้าวพันธุ์แพร่1 ที่แปรจำนวนครั้งในการเคลือบ.....53
4.3 ปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี หลังการเคลือบ.....58
4.4 ปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี หลังการเคลือบ.....59
4.5 ผลของพันธุ์ข้าวต่อร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุง.....63
4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน.....66
4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน.....66
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน.....67
4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน.....67
4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน.....68
4.11 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....69
4.12 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....69
4.13คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความเลื่อมมันของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....70

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

4.14 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะตัวของข้าวพันธุ์คลองหลวง1
และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....71
4.15 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์คลองหลวง1
และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....71
4.16 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของข้าวพันธุ์คลองหลวง1
และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....72
4.17 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับข้าวพันธุ์คลองหลวง1
และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....73
4.18 ปริมาณจุลธาตุในข้าวที่ไม่เสริมและเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กที่เหลืออยู่หลังล้าง
(ก) ปริมาณไอโอดีน (ข) ปริมาณสังกะสี (ค) ปริมาณเหล็ก.....74
4.19 ปริมาณจุลธาตุในข้าวที่ไม่เสริมและเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กที่เหลืออยู่หลังหุง
(ก) ปริมาณไอโอดีน (ข) ปริมาณสังกะสี (ค) ปริมาณเหล็ก.....76
4.20 ปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน.....77
4.21 ปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน.....78
4.22 ปริมาณเหล็กของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน.....78
4.23 ค่า water activity ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน.....79
4.24 ปริมาณความชื้นของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน.....79
4.25 ค่าดัชนีความขาว(white index) ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน...79
4.26 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก.....80
ฎ.1 หม้อเคลือบข้าว.....122
ฎ.2 เตาเผา (Muffle furnace).....123
ฎ.3 เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge, KUBOTA 5200).....123
ฎ.4 UV-Visible Shimadzu 240 Spectrophotometer.....124
ฎ.5 Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer
รุ่น ICP_OES JY2000S.....124