ประสิทธิภาพการเสริมไอโอดีนในข้าว

นางสาวชุติมา อัศวเสถียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0489-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21560817

EFFICIENCY OF IODINE FORTIFICATION OF RICE

Miss Chutima Aussawasathein

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 2000

ISBN 974-13-0489-7

431631

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการเสริมไอโอดีนในข้าว
โดย	นางสาว ชุติมา อัศวเสถียร
สาขา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

ชุติมา อัศวเสถียร : ประสิทธิภาพการเสริมไอโอดีนในข้าว. (EFFICIENCY OF IODINE FORTIFICATION OF RICE) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรรณา ตุลยธัญ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 125 หน้า. ISBN 974-13-0489-7.

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดการการเสริมไอโอดีนในระดับแปลงปลูกข้าว และการเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบ เบื้องต้นศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบใช้สารเคมีและตัวอย่างจำนวนมาก (Macro scale) เทียบกับการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบใช้สารเคมีและตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย (Micro scale) พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale มี %Recovery ในการวิเคราะห์ 85.99% ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Micro scale มี %Recovery 76.70% และการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale ในนมมีความถูกต้องและความแม่นยำ เท่ากับ 94.69±5.62% และ 5.70% ตามลำดับ ส่วนการศึกษาผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการฉีดพ่นธาตุ KI ต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์แพร่ 1 และ ข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 โดยแปรอัตราปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 0, 16 และ 32 กิโลกรัมต่อไร่ และแปรการฉีดพ่น KI เป็นการไม่ฉีดพ่น KI (ตัวควบคุม), ฉีดพ่น KI เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะแตกหน่อจนถึงก่อนระยะผสมเกสร และฉีดพ่น KI เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะกำเนิดช่อรวงจนถึงระยะผสมเกสร พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในข้าว 2 พันธุ์ทั้งข้าวกล้องและข้าวสารเพิ่มขึ้น ส่วนการฉีดพ่นธาตุ KI มีผลต่อการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์ และทำให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวกล้องเป็น 6.62 ถึง 7.23 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และในข้าวสารเป็น 4.89 ถึง 5.04 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง โดยข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 มีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าข้าวพันธุ์แพร่ 1

สำหรับการเสริมไอโอดีนในข้าวโดยการเคลือบ แปรสารเคลือบเป็นเจลแป้งข้าว 2 ชนิด และสารสะลายเจลพอลิเมอร์ (Methylcellulose ร่วมกับ Hydroxypropylmethylcellulose) และความเข้มข้นของสารเคลือบ 3 ระดับ คือ 1, 3 และ 5% (w/w) พบว่า การเสริมไอโอดีนในข้าวคลองหลวง 1 โดยการเคลือบ มีไอโอดีน 32.88 ถึง 40.37 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง โดยข้าวคลองหลวง 1 ที่เคลือบด้วยสารละลายเจลพอลิเมอร์ 3% มีปริมาณไอโอดีนสูงสุด ส่วนการเคลือบข้าวแพร่ 1 ด้วยสารละลายเจลพอลิเมอร์ 5% ทำให้มีปริมาณไอโอดีนสูงสุด (47.93 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และการล้างข้าวมีผลทำให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ลดลง โดยข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 ที่เคลือบด้วยสารละลายเจลพอลิเมอร์มีเปอร์เซ็นต์ไอโอดีนคงอยู่ (83.09 ถึง 94.25%) มากกว่าการใช้เจลแป้งข้าวทั้ง 2 ชนิด (Recovery เท่ากับ 61.21 ถึง 86.89%) ส่วนข้าวแพร่ 1 ที่เคลือบด้วยเจลแป้งข้าวทั้ง 2 ชนิด มีเปอร์เซ็นต์ไอโอดีนคงอยู่ (82.63 ถึง 99.01%) มากกว่าข้าวที่เคลือบด้วยการใช้สารละลายเจลพอลิเมอร์ (Recovery เท่ากับ 77.95 ถึง 88.34%) และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวเคลือบทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าข้าวที่เคลือบด้วยเจลแป้งข้าวทั้ง 2 ชนิด มีคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงกว่าข้าวที่เคลือบด้วยสารละลายเจลพอลิเมอร์

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....ชุติมา อัศวเสถียร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4072243123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: IODINE / RICE / FORTIFICATION

CHUTIMA AUSSAWASATHEIN : EFFICIENCY OF IODINE FORTIFICATION OF RICE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VANNA TULYATUN, THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF. SAKDA JONGKAEWWATTANA, 125 pp. ISBN 974-13-0489-7.

This research investigated the possibilities of fortification of iodine in rice by spraying aqueous KI on to rice plants and by coating the rice with hydrocolloids. The first experiment compared the methods for the determination of iodine between macro scale and micro scale technique. The macro scale gave higher recovery (85.99%) of iodine than micro scale (76.70%). Determination of iodine in milk samples by macro scale technique had a precision and accuracy of 5.70% and 94.69%, respectively. Experiment on the effect of levels of nitrogen fertilizer (0, 16 and 32 kgN/rai) and spraying KI periods (spraying at tillering stage and panicle initiation stage) on two rice cultivars (Klongluang 1 and Prae 1) showed that nitrogen and protein contents of the rice cultivars (husked rice and milled rice) were increased. Spraying KI significantly ($p \leq 0.01$) increased nitrogen contents in husked rice of both varieties. Iodine content in husked rice were 6.62 to 7.23 μg/100g rice (dwb) and in milled rice were 4.89 to 5.04 μg/100g rice (dwb). Klongluang 1 rice contained higher iodine content than Prae 1 rice.

Fortification of iodine in rice by coating with two types rice flour gel and one mixed polymer gel (methylceliulose and hydoxypropylmethylcellulose) at three concentrations (1, 3 and 5% w/w) were examined. It was found that Klongluang 1 and Prae 1 coated with the polymer gel at 3 and 5% levels contain higher iodine content (40.37 and 47.93 μg/100g dwb, respectively) than rice coated with rice flour gels. Effect of rinsing on iodine content of coated rices were also studied. It was found that Klongluang 1 coated with the polymer gel resulted in more iodine recovery (83.09 to 94.25%) than coated with both rice flour gels (61.21 to 86.89%recovery), while Pae 1 coated with both rice flour gels showed highest iodine recovery. The sensory evaluation of cooked rice revealed that coated rice with rice flour gels had better score in acceptance than coated rice with polymer gel.

Department Food Technology
Field of study Food Technology
Academic year 2000

Student's signature..... Chutima Aussawasathein
Advisor's signature..... Vanna Tulyatun
Co-advisor's signature..... Sakda Jongkaewwattana

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ อำนาจ คอวนิช รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา เป็นอย่างสูงที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ให้แก่ศิษย์ และแนะแนวการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความเอาใจใส่ ดูแล และความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล และอาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลามาตรวจสอบ กลั่นกรอง และแก้ไขให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณอาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล และอาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้ใช้เครื่อง fluidized bed dryer

ขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าของงานวิจัยนี้

ขอบพระคุณดร.ศักดา พรึงลำภู และพี่ๆนักวิจัย ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาอำนวยความสะดวก ติดต่อให้ใช้สถานที่และเครื่องมือในการวิเคราะห์ไอโอดีน และให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ไอโอดีนอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

ขอบพระคุณแพทย์หญิงแสงโสม สีนะวัฒน์ ผู้อำนวยการกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์ KIO_3 และขอขอบพระคุณคุณนันทยา จงใจเทศ เจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญการวิเคราะห์ไอโอดีนในอาหาร กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขที่ให้คำแนะนำ และสอนการวิเคราะห์ไอโอดีนแก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณบริษัท Dow Chemical ที่อนุเคราะห์สารพอร์ลิเมอร์ (Methocel A15 และ Methocel F50)

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ซึ่งอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอบใจพี่ เพื่อน และน้องๆปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านเป็นอย่างดี และสำหรับผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือซึ่งผู้วิจัยมิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และคุณป้า รวมทั้งขอบใจพี่และน้องของผู้วิจัย ซึ่งให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา ซึ่งความพยายามและความดีในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และคุณป้าที่เคารพ

ชุติมา อัศวเสถียร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฎ
สารบัญภาพ.....ฒ
บทที่
1 บทนำ.....1
2 วารสารปริทัศน์.....3
2.1 ความสำคัญของธาตุไอโอดีน.....3
2.2 ความต้องการและแหล่งของไอโอดีนในอาหาร.....5
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของร่างกายที่ดูดซึมไอโอดีนไปใช้ (Iodine bioavailability).....8
2.4 การดูดซึมและการเก็บสารไอโอดีนในร่างกาย.....9
2.5 รูปแบบของไอโอดีนที่ใช้ในอาหาร.....10
2.6 การเสริมไอโอดีนในอาหาร.....13
2.7 ข้าว.....15
2.7.1 โครงสร้างเมล็ดข้าว.....15
2.7.1.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ดหรือแกลบ (hull).....16
2.7.1.2 เปลือกหุ้มผล.....16
2.7.1.3 เมล็ด.....16
2.7.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าว.....18
2.7.3 การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว.....22
2.7.3.1 การขัดขาวข้าว (milling).....22
2.7.3.2 การล้างข้าว.....22
2.7.3.3 การหุงต้ม.....22
2.7.3.4 การเก็บรักษา.....23

หน้า

2.7.4 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว.....26
2.7.5 กรรมวิธีการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่.....27
2.7.5.1 การทำเมล็ดข้าวเทียม.....27
2.7.5.2 การเคลือบสารเคมีที่มีคุณค่าทางอาหารบนเมล็ดข้าวสาร.....27
2.8 สมบัติของสารพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบในงานวิจัยนี้.....28
2.8.1 แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....28
2.8.2 Methylcellulose และHydroxypropylmethylcellulose.....31
3 การดำเนินงานวิจัย.....34
3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน.....39
3.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale เทียบกับ Micro scale.....39
3.1.2 การทดลองหาความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro scale.....42
3.1.3 การทดลองหา%Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro scale.....42
3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดการเสริมจุลธาตุในระดับแปลงเพาะปลูก.....43
3.3 ศึกษาความการเสริมจุลธาตุในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบเมล็ดข้าวด้วยสารพอลิเมอร์.....44
3.3.1 การเตรียมสารเคลือบพวกเจลแป้งข้าวและเจลแป้งข้าวเหนียว.....45
3.3.2 การเตรียมสารเคลือบพวกสารละลายเจลพอลิเมอร์.....45
3.3.3 การเคลือบข้าว.....46
3.3.4 ประเมินคุณภาพของข้าวเคลือบหุงสุกทางประสาทสัมผัส.....47
4 ผลการทดลอง.....48
4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale เทียบกับ Micro scale....48
4.2 ผลการทดลองหาความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro scale.....50
4.3 ผลการทดลองหา%Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro scale.....52

หน้า

4.4 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการฉีดพ่นธาตุโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่อปริมาณไนโตรเจน โปรตีน และไอโอดีนของข้าวกล้อง 2 พันธุ์.....53
4.5 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการฉีดพ่นธาตุโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่อปริมาณไนโตรเจน โปรตีน และไอโอดีนของข้าวสาร 2 พันธุ์.....60
4.6 ผลของการเสริมจุลธาตุไอโอดีนในเมล็ดข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 โดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์.....67
4.7 ผลของการเสริมจุลธาตุไอโอดีนในเมล็ดข้าวพันธุ์แพร่ 1 โดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์.....76
5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....85
5.1 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale เทียบกับ Micro scale.....85
5.2 การหาความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro scale.....86
5.3 การหา%Recovery ไอโอดีนในการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro scale.....87
5.4 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการฉีดพ่นธาตุโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่อปริมาณไนโตรเจน โปรตีน และไอโอดีนของข้าวกล้อง 2 พันธุ์.....88
5.5 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการฉีดพ่นธาตุโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่อปริมาณไนโตรเจน โปรตีน และไอโอดีนของข้าวสาร 2 พันธุ์.....89
5.6 ผลของการเสริมจุลธาตุไอโอดีนในเมล็ดข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 โดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์.....91
5.7 ผลของการเสริมจุลธาตุไอโอดีนในเมล็ดข้าวพันธุ์แพร่ 1 โดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์.....93
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....98
รายการอ้างอิง.....101
ภาคผนวก.....109
ภาคผนวก ก รูปภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....110
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น.....114
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน.....115
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน.....120

หน้า

ภาคผนวก จ วิธีการล้างข้าว.....122
ภาคผนวก ฉ แบบทดสอบที่ใช้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส
ของข้าวเคลือบหุงสุก.....123
ประวัติผู้วิจัย.....125

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 ปริมาณไอโอดีนที่ควรได้รับในแต่ละวันสำหรับคนไทย....6

2.2 แหล่งไอโอดีนในอาหาร....7

2.3 ความสามารถในการละลายน้ำของไอโอดีนและสารประกอบไอโอดีน ที่อุณหภูมิต่างๆ....11

2.4 สมบัติทางเคมีของสารประกอบไอโอดีน....12

2.5 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว....19

2.6 Mineral content of husked and polished rice....20

2.7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวนึ่ง (parboiled rice)ที่หุงสุก....21

2.8 การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าวที่ผ่านการหุงต้มข้าวแบบ เช็ดน้ำและไม่เช็ดน้ำ....23

2.9 การสูญเสียไอโอดีนในระหว่างการประกอบอาหาร....24

2.10 ปริมาณไอโอดีนที่สูญเสียไปในระหว่างการประกอบอาหารด้วยวิธีต่างๆ....25

2.11 Chemical compositions of methlycellulose and hydroxypropylmethlycellulose....33

3.1 Specification of Methocel* A15....35

3.2 Specification of Methocel* F50....35

3.3 สารพอลิเมอร์และตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลอง....45

4.1 ค่าการดูดกลืนแสง (OD) ของสารละลาย KI ที่ความเข้มข้นต่างๆสำหรับ สร้างกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale และ Micro scale....49

4.2 ความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale ในสารละลาย KIO_3 ที่มีปริมาณไอโอดีน 40 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร....50

4.3 ความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale ในน้ำนม ANF ที่มีปริมาณไอโอดีน 11.67 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร....51

4.4 %Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale....52

4.5 ร้อยละความชื้นของข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 และพันธุ์แพร่ 1 53

4.6 ปริมาณไนโตรเจน โปรตีน และไอโอดีน (dry weight basis) ในตัวอย่างข้าวกล้อง 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน....54

หน้า

4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไนโตรเจนของข้าวกล้อง 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน.....55
4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณโปรตีน ของข้าวกล้อง 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน.....55
4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไอโอดีนของข้าวกล้อง 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน.....56
4.10 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน ต่อปริมาณไนโตรเจนในข้าวกล้อง 2 พันธุ์.....56
4.11 ผลของการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่อปริมาณไนโตรเจนในข้าวกล้อง 2 พันธุ์.....57
4.12 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน ต่อปริมาณโปรตีนในข้าวกล้อง 2 พันธุ์.....58
4.13 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณไอโอดีนในข้าว (ข้าวกล้อง).....59
4.14 ผลของการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวกล้อง 2 พันธุ์.....59
4.15 ปริมาณไนโตรเจน โปรตีน และไอโอดีน (dry weight basis) ในตัวอย่างข้าวสาร 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน.....60
4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไนโตรเจนของข้าวสาร 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน.....61
4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณโปรตีนของข้าวสาร 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน.....62
4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไอโอดีนของข้าวสาร 2 พันธุ์ ที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่างกัน.....62
4.19 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน ต่อปริมาณไนโตรเจนในข้าวสาร 2 พันธุ์.....63
4.20 ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน ต่อปริมาณโปรตีนในข้าวสาร 2 พันธุ์.....64
4.21 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร.....64
4.22 ผลของการฉีดพ่นโปตัสเซียมไอโอไดด์ต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวสาร 2 พันธุ์.....65
4.23 ปริมาณความชื้น ปริมาณไอโอดีนเริ่มต้น และปริมาณไอโอดีนหลังการล้างข้าวคลองหลวง 1 ที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ.....68
4.24 ค่าสี L, a, b และค่าดัชนีความขาวของข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง 1.....69
4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไอโอดีนของข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง 1 ที่เคลือบด้วยเจลแป้งข้าว และสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....70

หน้า

4.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไอโอดีนของข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง 1 ที่เคลือบด้วยเจลแป้งข้าว และสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ หลังการล้าง.....70
4.27 ปริมาณไอโอดีนที่คงอยู่หลังการล้างของข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง 1.....71
4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยค่าดัชนีความขาวของข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง 1.....72
4.29 ผลของชนิดสารเคลือบต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง 1.....72
4.30 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง 1.....73
4.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยด้านสี กลิ่น ความเกาะตัว ความนิ่ม รสชาติ และความชอบรวมของของข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 เคลือบที่หุงสุก.....75
4.32 ปริมาณความชื้น ปริมาณไอโอดีนเริ่มต้น และปริมาณไอโอดีนหลังการล้างข้าวแพร่ 1 ที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ.....77
4.33 ค่าสี L, a, b และค่าดัชนีความขาวของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1.....78
4.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไอโอดีนของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1 ที่เคลือบด้วยเจลแป้งข้าว และสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....78
4.35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้านปริมาณไอโอดีนของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1 ที่เคลือบด้วยเจลแป้งข้าว และสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ หลังการล้าง.....79
4.36 ปริมาณไอโอดีนที่คงอยู่หลังการล้างของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1.....80
4.37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยค่าดัชนีความขาวของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1.....81
4.38 ผลของความเข้มข้นของสารเคลือบต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1.....81
4.39 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1.....82
4.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยด้านสี กลิ่น ความเกาะตัว ความนิ่ม รสชาติ และความชอบรวมของของข้าวพันธุ์แพร่ 1 เคลือบที่หุงสุก.....83
4.41 ผลของชนิดสารเคลือบต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ของข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ 1 หุงสุก.....84
5.1 เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนในข้าวกล้องและข้าวสารทั้ง 2 พันธุ์ที่เสริมไอโอดีนโดยการจัดการเสริมไอโอดีนในระดับแปลงเพาะปลูกกับข้าวสารโดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์.....95

หน้า

5.2 เปรียบเทียบปริมาณไอโอดีนในข้าวกล้องและข้าวสารทั้ง 2 พันธุ์ที่เสริมไอโอดีนโดยการจัดการเสริมไอโอดีนในระดับแปลงเพาะปลูกกับข้าวสารโดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์หลังการล้าง.....96

5.3 ปริมาณไอโอดีนที่จะได้รับจากการบริโภคข้าวเสริมไอโอดีนชนิดต่างๆ ในปริมาณ 300 กรัมข้าวดิบต่อวัน.....97

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
2.1	Formation of Iodotyrosine, Thyroxine and Triiodothyronine in the Thyriod gland	4
2.2	Iodine bioavailability ของเด็กที่ได้รับข้าวและมันสำปะหลังเป็นอาหาร	9
2.3	สูตรโครงสร้างของ diiodotyrosine, triiodothyronine และ thyroxine	10
2.4	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	15
2.5	ลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึก (1) และส่วนอสัณฐาน (2)	18
2.6	โครงสร้างของอะมิโลส	28
2.7	โครงสร้างของอะมิโลเพกติน	29
2.8	ระยะในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง	30
2.9	กลไกการพองตัวและการคืนตัวของแป้ง	30
2.10	สูตรโครงสร้างของ methylcelloluse	31
2.11	สูตรโครงสร้างของ methocel* A	32
2.12	สูตรโครงสร้างของ methocel* F	32
3.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale และ Micro scale	40
4.1	เปอร์เซ็นต์ Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีนแบบ Macro scale เทียบกับ Micro scale	48
4.2	กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนแบบ Macro scale เทียบกับ Micro scale	49
4.3	แสดงลักษณะของเมล็ดข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 เสริมไอโอดีนโดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆที่มีความเข้มข้นของสารเคลือบ 5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวพันธุ์คลองหลวง 1ปกติ (control)	67
4.4	แสดงลักษณะของเมล็ดข้าวพันธุ์แพร่ 1 เสริมไอโอดีนโดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆที่มีความเข้มข้นของสารเคลือบ 5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวพันธุ์แพร่ 1 ปกติ (control)	76
ก. 1	เครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) KUBOTA 5200	110
ก. 2	เครื่องทำแห้งแบบเป่าด้วยลมร้อน (Fluidized bed dryer)	111
ก. 3	เตาเผา Fisher Scientific Isotemp Muffle furnace	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ก. 4 เครื่องผสม Hand homogenizer Ystral Gmbhd-7801.....113

ค. 1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน.....118