บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน ปริมาณเหล็ก และปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำนม

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก ลงในข้าว เกณฑ์ที่สำคัญในการประเมินผลการทดลอง คือ ปริมาณของไอโอดีน สังกะสี และเหล็กที่มีอยู่ในข้าว ซึ่งแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวนั้นเป็นแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหารในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นการวิเคราะห์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความถูกต้อง ความแม่นยำ และ % recovery ของแร่ธาตุเหล่านี้ในอาหาร เพื่อเป็นการฝึกฝนความชำนาญของผู้วิจัยในการวิเคราะห์และทำให้ผลการทดลองที่ได้ออกมานั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

ความถูกต้องของการวิเคราะห์ (accuracy) หมายถึง ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของสารตัวอย่างนั้น ส่วนความแม่นยำ (precision) หมายถึง ค่าที่วิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำในตัวอย่างเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน (Pomeranz and Meloan, 1994) ซึ่งจะใช้สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation; %CV) เป็นดัชนีชี้บอกความแม่นยำในการวิเคราะห์ ในการทดลองส่วนนี้ได้ทำการศึกษาความถูกต้อง ความแม่นยำ และ % recovery ของไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก ในตัวอย่างน้ำนมรสจืด Alacta-NF ผลการทดลองดังแสดงต่อไป

4.1.1 ความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน

การเตรียมตัวอย่างอาหารเพื่อวิเคราะห์แร่ธาตุในอาหารนั้น ต้องกำจัดสารอินทรีย์ที่มีในตัวอย่างออกจนเหลือเพียงแร่ธาตุที่เป็นสารอนินทรีย์ โดยวิธีกำจัดสารอินทรีย์ในอาหารที่นิยมใช้ทั่วไปมี 2 วิธี คือ dry ashing และ wet digestion (Ihnat, 1984) ซึ่งวิธีการย่อยตัวอย่างทั้ง 2 วิธีสามารถใช้ได้กับแร่ธาตุทุกชนิด การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในการทดลองนี้ได้เลือกใช้วิธีการย่อยตัวอย่างแบบ dry ashing เนื่องจากสามารถกำจัดสารอินทรีย์ออกได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ผลมีความแม่นยำ (Marder et al., 1996; ชุติมา อัศวเสถียร, 2543)

ผลการวิเคราะห์ไอโอดีนตามวิธี Moxon และ Dixon (1980) โดยนำน้ำนมรสจืดตรา Alacta-NF ซึ่งมีปริมาณไอโอดีน 11.67 ไมโครกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร (คำนวณจากข้อมูลที่ระบุบนข้อมูลโภชนาการข้างกล่อง) แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์ไอโอดีน แบบ Macro scale

ตัวอย่าง	ปริมาณไอโอดีน (μg/100ml)	ปริมาณไอโอดีน (μg/100ml) Mean ± SD	%CV	%ความถูกต้อง Mean ± SD
ANF*	11.82 10.52 11.91 12.24 11.06 11.50 12.54 10.62 12.08 11.97	11.63 ± 0.69	5.89	99.62 ± 5.87

*วิเคราะห์ไอโอดีน 10 ครั้ง

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการวิเคราะห์ไอโอดีนในน้ำนมมีความถูกต้อง 99.62% และมีความแม่นยำ 5.89% ซึ่งความถูกต้องและความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นั่นคือมีความถูกต้องใกล้ 100% และความแม่นยำ (%CV) น้อยกว่า 10% (Pomeranz and Meloan,1994)

4.1.2 %Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน

ในการหา % Recovery ของการวิเคราะห์ไอโอดีนทำได้โดย นำน้ำนมรสจืดตรา Alacta-NF ซึ่งมีปริมาณไอโอดีน 11.67 ไมโครกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร ที่เติมสารละลาย KIO_3 (ความเข้มข้นของไอโอดีน 40 ไมโครกรัมต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ดังนั้นตัวอย่างมีปริมาณไอโอดีนทั้งหมด 11.67+40 = 51.67 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 % Recovery ในการวิเคราะห์ไอโอดีน แบบ Macro scale

ตัวอย่าง	ปริมาณไอโอดีน (μg/100ml)	ปริมาณไอโอดีน (μg/100ml) Mean ± SD	%CV	%Recovery	%ความถูกต้อง Mean ± SD
ANF+KIO_3*	47.08 45.95 42.72 46.12 48.70 47.09 49.67 47.09 42.07 44.98	46.15 ± 2.39	5.18	86.29	89.31 ± 4.62

*วิเคราะห์ไอโอดีน 10 ครั้ง

จากผลการวิเคราะห์ไอโอดีนในตัวอย่างน้ำนมที่มีการเติมสารละลาย KIO_3 พบว่า มีความถูกต้อง 89.31% มีความแม่นยำ 5.18% และ recovery 86.29% Pomeranz และ Meloan (1994) ได้กล่าวว่า ข้อมูลที่น่าเชื่อถือควรมี %ความถูกต้องใกล้ 100% และความแม่นยำ หรือ %CV ต่ำกว่า 10% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ และ %recovery มีค่าสูง แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์ไอโอดีนตามวิธี Moxon และ Dixon (1980) มีความน่าเชื่อถือและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ได้มีงานวิจัยหลายงานวิจัยใช้เทคนิคทาง atomic spectrometric method ในการวิเคราะห์แร่ธาตุในอาหาร ซึ่งเทคนิคที่นิยมใช้ คือ atomic absorption spectrophotometry (AAS) และ inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometry (ICP-AES) เนื่องจากมีความจำเพาะและความไว (specific and sensitivity) (Wolf and Harnly, 1984) ถึงแม้ว่า AAS จะมีความเฉพาะเจาะจง มี detection limit ที่ดี ความแม่นยำ (precision) สูง และมีราคาถูก แต่สามารถวิเคราะห์ได้ทีละธาตุ (single-element technique) ส่วน ICP-AES ก็มีความเฉพาะเจาะจง มี detection limit ที่ดี ความแม่นยำ (precision) สูง รวดเร็ว และในการวิเคราะห์

ตัวอย่างแต่ละครั้งสามารถวิเคราะห์ได้ทีละหลายธาตุ (multi-element technique) (Wolf and Harnly, 1984) เนื่องจากในงานวิจัยนี้ทำการเสริมแร่ธาตุหลายชนิด (multiple element) จึงเลือกใช้เทคนิค ICP-AES ในการวิเคราะห์ธาตุสังกะสีและเหล็ก เพื่อเป็นการยืนยันว่าเทคนิค ICP-AES เป็นเทคนิควิเคราะห์แร่ธาตุในอาหาร ที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือได้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาความถูกต้อง ความแม่นยำ และ %Recovery ของการวิเคราะห์สังกะสีและเหล็กในตัวอย่างน้ำนม Alacta-NF โดยใช้วิธีการย่อยตัวอย่างแบบ wet digestion ในการเตรียมตัวอย่างก่อนนำมาวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีและเหล็กด้วยเครื่อง ICP-AES

4.1.3 ความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี

ทำการศึกษาหาความถูกต้อง ความแม่นยำในการวิเคราะห์สังกะสี โดยนำตัวอย่างน้ำนมรสจืดตรา Alacta-NF ซึ่งมีปริมาณสังกะสี 0.8333 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร ใช้วิธีย่อยตัวอย่างแบบ wet digestion (AOAC,1995) แล้ววัดปริมาณสังกะสีโดยใช้ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์สังกะสี

ตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสี (mg/100 ml)	ปริมาณสังกะสี (mg/100 ml) Mean ± SD	%CV	%ความถูกต้อง Mean ± SD
ANF*	0.9054 0.8804 0.9276 0.9134 0.8980 0.9364 0.8910	0.9075 ± 0.02	2.19	108.90 ± 2.39

*วิเคราะห์สังกะสี 7 ครั้ง

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าการวิเคราะห์สังกะสีในน้ำนมมีความถูกต้อง 108.90% และมีความแม่นยำ 2.19% ซึ่งความถูกต้องและความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Pomeranz and Meloan,1994)

4.1.4 %Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี

นำตัวอย่างน้ำนมรสจืดตรา Alacta-NF ซึ่งมีปริมาณสังกะสี 0.8333 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร ที่เติมสารละลาย $ZnSO_4$ (ความเข้มข้นของสังกะสี 0.4000 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ดังนั้นตัวอย่างจะมีปริมาณสังกะสีทั้งหมด 0.8333+0.4000 = 1.2333 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 % Recovery ในการวิเคราะห์สังกะสี

ตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสี (mg/100 ml)	ปริมาณสังกะสี (mg/100 ml) Mean ± SD	%CV	%Recovery	%ความถูกต้อง Mean ± SD
ANF+$ZnSO_4$ *$7H_2O$*	1.2714 1.2774 1.3352 1.2658 1.3492 1.2800 1.3114	1.2986 ± 0.03	2.57	97.78	105.30 ± 2.70

*วิเคราะห์สังกะสี 7 ครั้ง

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า ตัวอย่างน้ำนมที่มีการเติมสารละลาย $ZnSO_4$ มีความถูกต้อง 105.30% ความแม่นยำ 2.57% และ recovery 97.78% ซึ่งความถูกต้อง ความแม่นยำ และ % recovery อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Pomeranz and Meloan,1994)

4.1.5 ความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำนมรสจืดตรา Alacta-NF ซึ่งมีปริมาณเหล็ก 1.1111 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร ใช้วิธีย่อยตัวอย่างแบบ wet digestion (AOAC,1995) แล้ววัดปริมาณเหล็กโดยใช้ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์เหล็ก

ตัวอย่าง	ปริมาณเหล็ก (mg/100 ml)	ปริมาณเหล็ก (mg/100 ml) Mean ± SD	%CV	%ความถูกต้อง Mean ± SD
ANF*	1.150 1.246 1.214 1.198 1.264 1.210 1.236	1.2169 ± 0.04	3.06	109.52 ± 3.35

*วิเคราะห์เหล็ก 7 ครั้ง

จากตารางที่ 4.5 พบว่าการวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำนมมีความถูกต้อง 109.52% และมีความแม่นยำ 3.06% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และมีความน่าเชื่อถือ (Pomeranz and Meloan,1994)

4.1.6 % Recovery ในการวิเคราะห์เหล็ก

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำนมรสจืดตรา Alacta-NF ซึ่งมีปริมาณเหล็ก 1.1111 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร ที่เติมสารละลาย $FeSO_4$ (ความเข้มข้นของเหล็ก 0.4000มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ดังนั้นตัวอย่างมีปริมาณเหล็กทั้งหมด 1.1111+0.4000 = 1.5111 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 % Recovery ในการวิเคราะห์เหล็ก

ตัวอย่าง	ปริมาณเหล็ก (mg/100 ml)	ปริมาณเหล็ก (mg/100 ml) Mean ± SD	%CV	%Recovery	%ความถูกต้อง Mean ± SD
ANF+$FeSO_4$ *$7H_2O$*	1.602 1.688 1.610 1.632 1.674 1.620 1.738	1.652 ± 0.05	3.01	97.25	106.00 ± 3.19

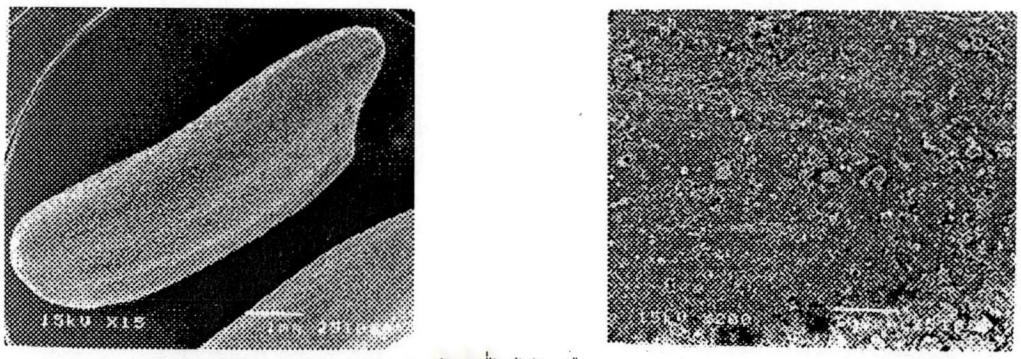
*วิเคราะห์เหล็ก 7 ครั้ง

การวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำนมที่มีการเติมสารละลาย $FeSO_4$ มีความถูกต้อง 106.00% ความแม่นยำ 3.01% และ recovery 97.25% ซึ่งค่าความถูกต้อง ความแม่นยำ และ % recoveryที่ได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Pomeranz and Meloan,1994)

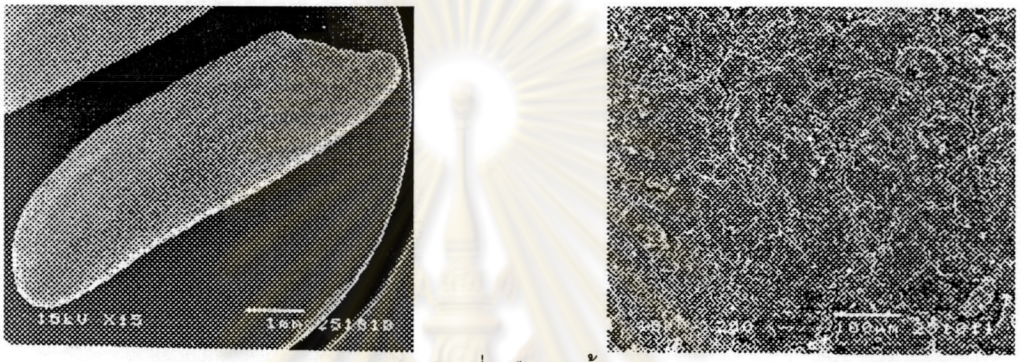
จากผลการศึกษาความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน ปริมาณเหล็ก และปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำนม ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งแสดงว่าวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ดังนั้นในส่วนของงานวิจัยต่อไปจึงใช้วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในข้าว

4.2 ผลการศึกษาวิธีการเสริมแร่ธาตุในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบด้วยเจลพอลิเมอร์

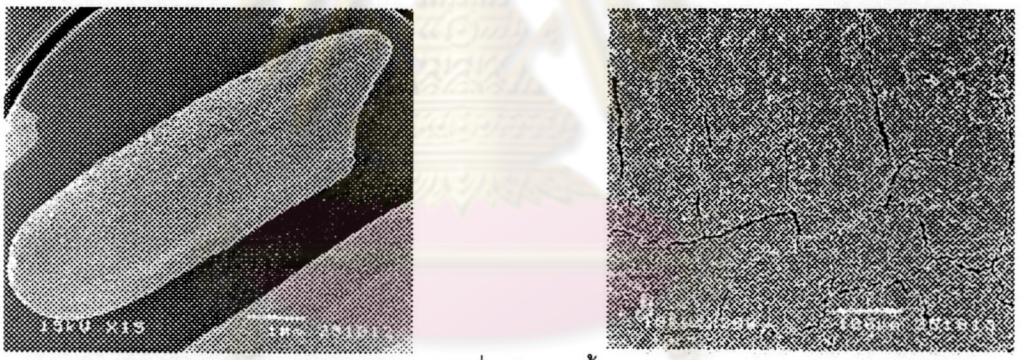
ในการทดลองส่วนนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเสริมแร่ธาตุ 2 และ 3 ชนิด โดยจะผสมธาตุเหล่านั้นรวมกันแล้วเคลือบเพียงครั้งเดียว หรือจะทำการเคลือบแต่ละธาตุแยกกันทีละครั้ง ดังนั้นจึง ได้ทำการเคลือบข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยแปรจำนวนครั้งในการเคลือบ แล้วดูลักษณะของเมล็ดข้าวที่เคลือบได้ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อพิจารณาวิธีการเคลือบที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



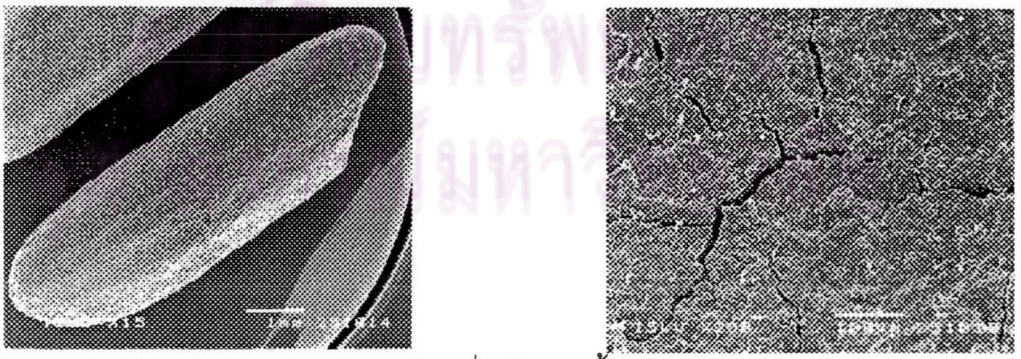
(a) ข้าวที่ไม่ได้เคลือบ



(b) ข้าวที่เคลือบ 1 ชั้น

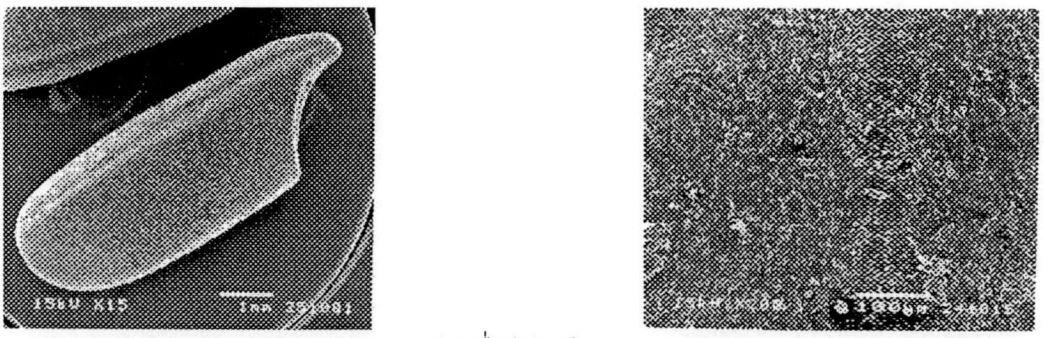


(c) ข้าวที่เคลือบ 2 ชั้น

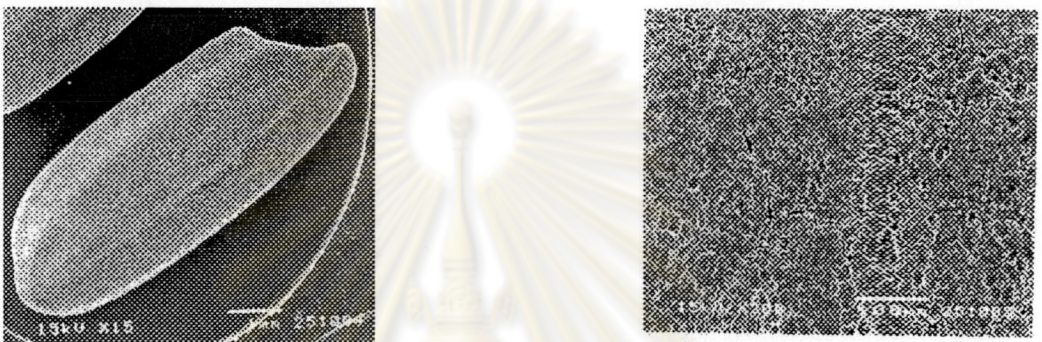


(d) ข้าวที่เคลือบ 3 ชั้น

รูปที่ 4.1 ลักษณะ surface area และ cross-sectional area ของเมล็ดข้าวพันธุ์คลองหลวง1 ที่แปรจำนวนครั้งในการเคลือบ



(a) ข้าวที่ไม่ได้เคลือบ



(b) ข้าวที่เคลือบ 1 ชั้น

(c) ข้าวที่เคลือบ 2 ชั้น

(d) ข้าวที่เคลือบ 3 ชั้น

รูปที่ 4.2 ลักษณะ surface area และ cross-sectional area ของเมล็ดข้าวพันธุ์แพร่1 ที่แปรจำนวนครั้งในการเคลือบ

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าข้าวเคลือบทั้ง 2 พันธุ์ (ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว) ที่ผ่านการเคลือบ 1 ครั้ง จะมีรอยแตกร้าวน้อยที่สุดและรอยแตกร้าวจะมีลักษณะตื้น และเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการเคลือบเป็น 2 และ 3 ครั้งตามลำดับ พบว่ามีรอยแตกร้าวจำนวนมากขึ้นและเป็นรอยลึกมากขึ้น กล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการเคลือบมากขึ้นทำให้เมล็ดข้าวมีรอยแตกร้าวเพิ่มและลึกมากขึ้นซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในการเคลือบข้าวนั้นจะเทข้าวใส่ลงในหม้อเคลือบที่หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ ผสมกับสารเคลือบพอลิเมอร์ที่เตรียมไว้ จากนั้นทำให้แห้งด้วยลมร้อน ซึ่งระหว่างที่หม้อเคลือบหมุนเมล็ดข้าวจะขัดสีกับพื้นผิวภายในหม้อเคลือบและกับเมล็ดข้าวด้วยกันเอง ทำให้เมล็ดแตกหักหรือเกิดรอยร้าวได้ นอกจากนี้การลดปริมาณความชื้นหรือการทำแห้งในเมล็ดข้าวก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวได้ เนื่องจากระหว่างส่วนรอบนอกและตรงกลางของเมล็ด starch cells จะเรียงตัวตามแนวยาวของรัศมีของเมล็ดซึ่งการเรียงตัวเช่นนี้ สามารถเกิดแนวแยก (cleavage planes) ทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ด ซึ่งมีสาเหตุจากแรงกระทบทางกลและความเค้นของความชื้น (Marshall and Wadsworth, 1994) การเพิ่มจำนวนครั้งในการเคลือบข้าวนั้นเป็นการเพิ่มโอกาสที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการขัดสีกับหม้อเคลือบและเมล็ดข้าวด้วยกันเองมากขึ้น ต้องใช้เวลาในการทำแห้งมากขึ้น ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกวิธีการเสริมแร่ธาตุในข้าวโดยทำการเคลือบ 1 ครั้ง เพื่อให้ได้ลักษณะของข้าวที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

4.3 ผลการการเสริมไอโอดีนและสังกะสีในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบด้วยเจลพอลิเมอร์

4.3.1 ศึกษาองค์ประกอบของข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาองค์ประกอบของข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.7) พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์คลองหลวง1 มีความชื้นเฉลี่ย 11.64 % ค่า water activity 0.45 มีปริมาณไอโอดีน 2.33 μg/100g ปริมาณสังกะสี 0.82 mg/100g และค่าดัชนีความขาวเฉลี่ย 76.51 ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์แพร่1 มีความชื้นเฉลี่ย 11.64 % ค่า water activity 0.46 มีปริมาณไอโอดีน 1.60 μg/100g ปริมาณสังกะสี 0.73 mg/100g และค่าดัชนีความขาวเฉลี่ย 86.60 จะเห็นได้ว่าข้าวพันธุ์แพร่1 มีค่าดัชนีความขาวที่สูงกว่าข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณไอโอดีนและสังกะสีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไอโอดีนและสังกะสีที่กรมอนามัย (2532) แนะนำให้ได้รับในแต่ละวัน ดังนั้นการเสริมไอโอดีนและสังกะสีในข้าวเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวให้มากขึ้น ซึ่งอาจใช้เป็นอีกแนวทางในการป้องกันภาวะทุพโภชนาการของประชากรที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และแพร่1

องค์ประกอบ	พันธุ์ข้าว	
	คลองหลวง1 Mean± SD	แพร่1 Mean± SD
ความชื้น (%)	11.64 ± 0.11	11.64± 0.10
ค่า water activity (Aw)	0.45 ± 0.00	0.46 ± 0.00
ปริมาณไอโอดีน (μg/100g)	2.33 ± 0.85	1.60 ± 0.13
ปริมาณสังกะสี (mg/100g)	0.82 ± 0.03	0.73 ± 0.06
ค่าดัชนีความขาว*	76.51 ± 0.45	86.60 ± 0.51

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

4.3.2 ศึกษาองค์ประกอบของแป้งที่ใช้เป็นสารพอลิเมอร์ในการเคลือบ

ทั้ง flour ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีปริมาณไอโอดีน สังกะสี และปริมาณโปรตีนสูงกว่า starch (ตารางที่ 4.8) เนื่องจาก starch ได้จากการสกัดจาก flour flour แป้งข้าวจะประกอบด้วยโปรตีน 4 ชนิด คือ โปรตีนที่ละลายในน้ำ สารละลายด่าง สารละลายเกลือ และแอลกอฮอล์ (Lim et al.,1999) ในการสกัดนั้นจะใช้สารละลายด่าง แอลกอฮอล์และน้ำ ดังนั้นโปรตีนที่อยู่ใน flour จึงถูกแยกออกมาจึงทำให้ starch มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า flour จากที่กล่าวข้างต้นในขั้นตอนการสกัด flour เป็น starch นั้น มีขั้นตอนการล้างน้ำหลายครั้ง แร่ธาตุที่มีอยู่ใน flour จะละลายออกมากับน้ำที่ล้าง จึงเป็นสาเหตุให้ starch มีปริมาณไอโอดีนและสังกะสีต่ำกว่า flour

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบของแป้งข้าวที่ใช้เป็นสารพอลิเมอร์ในการเคลือบ

สารพอลิเมอร์	ความชื้น (%)*	ปริมาณไอโอดีน* (μg/100g)	ปริมาณสังกะสี * (mg/100g)	ปริมาณโปรตีน* (%) (db)
Flour ข้าวเจ้า	11.05 ± 0.16	11.53 ± 0.01	0.01 ± 0.00	6.99 ± 0.32
Flour ข้าวเหนียว	11.40 ± 0.12	11.08 ± 3.95	0.01 ± 0.00	6.44 ± 0.09
Starch ข้าวเจ้า	12.41 ± 2.04	5.26 ± 0.18	0	0.34 ± 0.04
Starch ข้าวเหนียว	11.35 ± 0.08	3.53 ± 0.92	0	0.44 ± 0.01

*ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.3.3 พันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเคลือบเสริมไอโอดีนและสังกะสี

4.3.3.1 ศึกษาพันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเคลือบเสริมไอโอดีนและสังกะสี

นำตัวอย่างข้าวสาร 1500 กรัม มาเสริมไอโอดีนและสังกะสีให้มีปริมาณเป็น 1 ใน 3 เท่าของ Thai RDA ซึ่งจะเสริมให้มีปริมาณไอโอดีนเท่ากับ 50 μg/100g หรือให้อยู่ในช่วง 40-60 μg/100g และเสริมให้มีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 5 mg/100g หรือให้อยู่ในช่วง 4-6 mg/100g สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน ปริมาณสังกะสี ค่า water activity (Aw) และค่าดัชนีความขาว (white index) นำผลต่างๆที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติซึ่งแสดงผลในตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีนในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี พบว่า ชนิดของพอลิเมอร์มีผลทำให้ปริมาณไอโอดีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลของพอลิเมอร์ต่อปริมาณไอโอดีนที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบแสดงในตารางที่ 4.10 ในขณะที่พันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความชื้น Aw ปริมาณไอโอดีน ปริมาณสังกะสี และค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี

SOV	ความชื้น	Aw	ไอโอดีน	สังกะสี	ค่าดัชนีความขาว
พันธุ์ข้าว(A)	*	ns	ns	**	**
ชนิดพอลิเมอร์(B)	**	*	*	ns	ns
A*B	*	ns	ns	ns	ns

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.10 ผลของพอลิเมอร์ต่อปริมาณไอโอดีนที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบ

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณไอโอดีนหลังการเคลือบ (ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม)
Flour ข้าวเจ้า	49.82a
Flour ข้าวเหนียว	50.37a
Starch ข้าวเจ้า	49.79a
Starch ข้าวเหนียว	46.89b

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

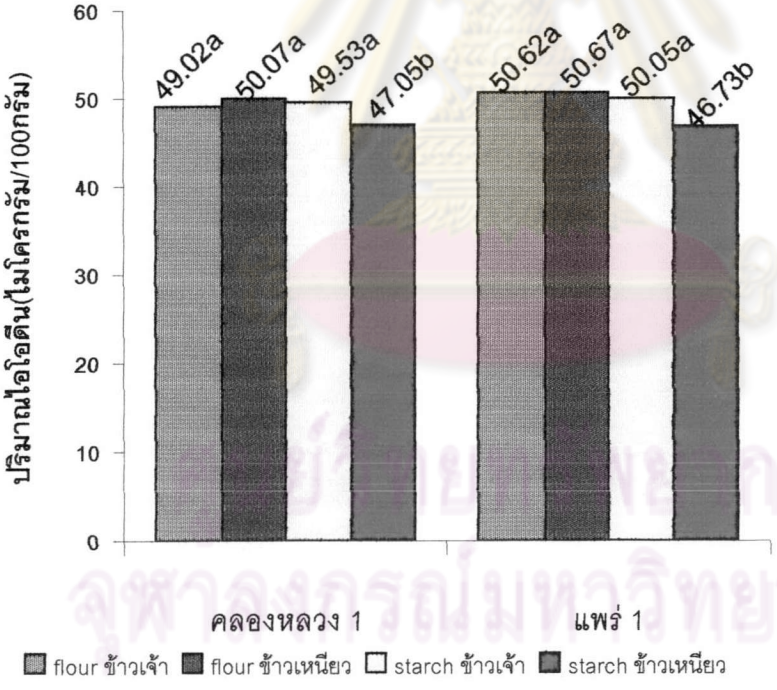
เมื่อพิจารณาปริมาณสังกะสี พบว่าข้าวพันธุ์คลองหลวง1 มีปริมาณสังกะสีสูงกว่าข้าวพันธุ์แพร่1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังการเคลือบแสดงในตารางที่ 4.11 ในขณะที่ชนิดของพอลิเมอร์ไม่มีผลต่อปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังการเคลือบ

ตารางที่ 4.11 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบ

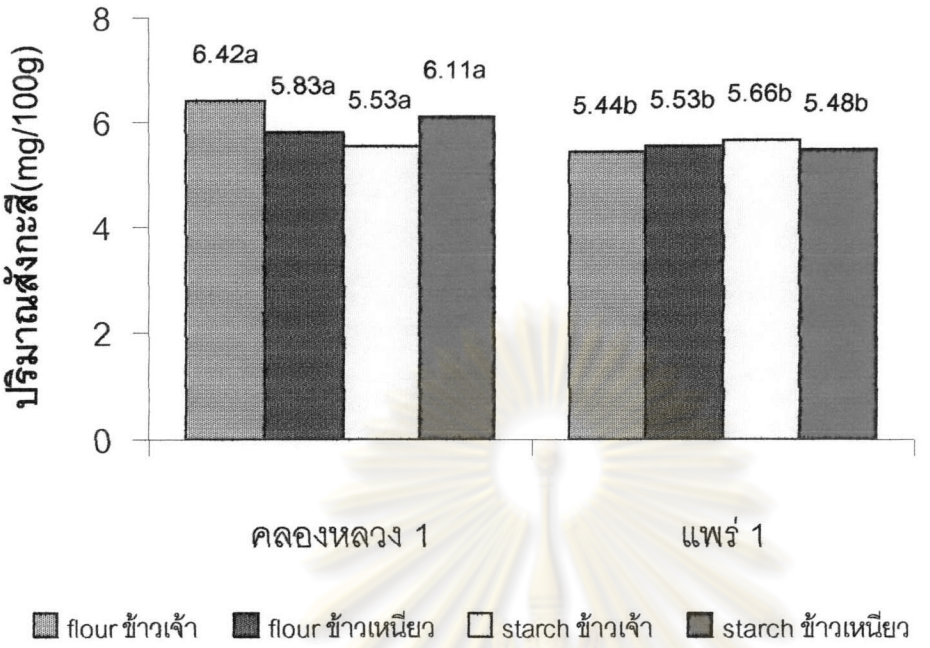
พันธุ์ข้าว	ปริมาณสังกะสีหลังการเคลือบ (mg/ข้าว100 g)
คลองหลวง 1	5.97a
แพร่ 1	5.53b

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีนและสังกะสีหลังการเคลือบ (รูปที่4.3-4.4) พบว่าข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลอง มีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 40-60 μg/100g และปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วง 4-6 mg/100g ซึ่งเป็นช่วงที่ต้องการ



รูปที่ 4.3 ปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี หลังการเคลือบ



รูปที่ 4.4 ปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี หลังการเคลือบ

ข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลอง (ตารางที่ 4.12) มีค่า Aw ต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเป็นค่าที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (รัตนันท์ พรรณารุโณทัย, 2543) นอกจากนี้ปริมาณความชื้นยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ ต่ำกว่า 14% (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534) และข้าวพันธุ์แพร่1 ที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างของวัตถุดิบก่อนการเสริมแร่ธาตุ ซึ่งข้าวทั้ง 2 พันธุ์นั้นมีความแตกต่างในค่าดัชนีความขาวอยู่แล้ว โดยข้าวพันธุ์แพร่1 มีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และเมื่อเปรียบเทียบข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีกับข้าวที่ไม่ได้เสริม พบว่า ข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริม เนื่องจากสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบ เมื่อแห้งจะเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบที่ผิวของเมล็ดข้าว ทำให้พื้นผิวของเมล็ดข้าวมีความสว่างและความขาวเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.12 ค่าความชื้น ค่า water activity (Aw) และค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังเคลือบ

พันธุ์ข้าว	พอลิเมอร์	ความชื้น* (%)	Aw*	ดัชนีความขาว*
คลองหลวง 1	Flour ข้าวเจ้า	12.95 ± 0.31^{ab}	0.542 ± 0.019^{a}	82.66 ± 0.18^{b}
	Flour ข้าวเหนียว	12.52 ± 0.22^{bc}	0.534 ± 0.018^{a}	83.00 ± 0.92^{b}
	Starch ข้าวเจ้า	12.04 ± 0.30^{cd}	0.496 ± 0.019^{b}	82.45 ± 0.34^{b}
	Starch ข้าวเหนียว	12.35 ± 0.18^{c}	0.500 ± 0.008^{b}	82.44 ± 0.27^{b}
แพร่ 1	Flour ข้าวเจ้า	13.21 ± 0.09^{a}	0.546 ± 0.008^{a}	88.19 ± 0.96^{a}
	Flour ข้าวเหนียว	13.41 ± 0.12^{a}	0.546 ± 0.006^{a}	88.22 ± 0.14^{a}
	Starch ข้าวเจ้า	11.82 ± 0.47^{d}	0.479 ± 0.006^{b}	87.49 ± 0.65^{a}
	Starch ข้าวเหนียว	12.34 ± 0.15^{c}	0.496 ± 0.006^{b}	87.90 ± 0.65^{a}

*ค่าที่ได้เป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 3 ซ้ำ

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.3.3.2 ผลของการล้างข้าวต่อปริมาณไอโอดีนและสังกะสีที่เหลืออยู่ของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี

เมื่อนำตัวอย่างข้าวมาล้างด้วย deionized water ตามวิธีของ Hettiarachchy และคณะ (1996) จากนั้นทำให้แห้ง แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนและสังกะสีหลังการล้าง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนและปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังการล้างแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า อิทธิพลร่วมของพันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์มีผลต่อร้อยละคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนหลังล้างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนและปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังการล้าง

SOV	ไอโอดีน	สังกะสี
พันธุ์ข้าว (A)	**	ns
ชนิดของพอลิเมอร์ (B)	ns	ns
A*B	**	ns

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่ใช้ flour ข้าวเจ้าในการเคลือบมีร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนหลังการล้างสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชุติมา อัศวเสถียร (2543) และเมื่อพิจารณาร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณสังกะสีหลังล้าง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)ในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลอง ซึ่งผลการทดลองร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนและสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังการล้างแสดงในตารางที่ 4.14 ซึ่งร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนและสังกะสีอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 70 – 99 ซึ่ง Hoffpauer (1992) ได้รายงานว่า เมื่อข้าวที่เสริมวิตามินและแร่ธาตุผ่านการล้างปริมาณวิตามินและแร่ธาตุในข้าวจะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 85 และ ชุติมา อัศวเสถียร (2543) ศึกษาผลของการล้างข้าวต่อร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนในข้าวที่เคลือบโดยใช้เจลแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ซึ่งพบว่ามีปริมาณไอโอดีนที่คงเหลืออยู่หลังการล้างร้อยละ 61-99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนและสังกะสีในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังล้าง

พันธุ์ข้าว	พอลิเมอร์	ปริมาณไอโอดีนที่คงเหลืออยู่ (ร้อยละ)*	ปริมาณสังกะสีที่คงเหลืออยู่ (ร้อยละ)*^{ns}
คลองหลวง 1	Flour ข้าวเจ้า	99.17 ± 0.72^{a}	85.19 ± 8.32
	Flour ข้าวเหนียว	92.90 ± 6.88^{ab}	88.63 ± 4.12
	Starch ข้าวเจ้า	75.05 ± 2.27^{cd}	88.55 ± 3.45
	Starch ข้าวเหนียว	78.57 ± 4.86^{cd}	87.33 ± 8.20
แพร่ 1	Flour ข้าวเจ้า	70.24 ± 2.75^{d}	88.25 ± 3.80
	Flour ข้าวเหนียว	69.30 ± 8.33^{d}	84.75 ± 6.45
	Starch ข้าวเจ้า	75.83 ± 8.59^{cd}	70.44 ± 3.85
	Starch ข้าวเหนียว	85.24 ± 0.64^{bc}	83.15 ± 6.77

*ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.3.3 ผลของการหุงข้าวต่อปริมาณไอโอดีนและสังกะสีที่เหลืออยู่ของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี

นำตัวอย่างข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลองมาหุง โดยดัดแปลงวิธีของ ชุติมา อัศวเสถียร (2543) ทำให้แห้ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนและสังกะสีที่เหลืออยู่ ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนและปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังการหุงแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า พันธุ์ข้าวมีผลต่อร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนและปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังการหุง

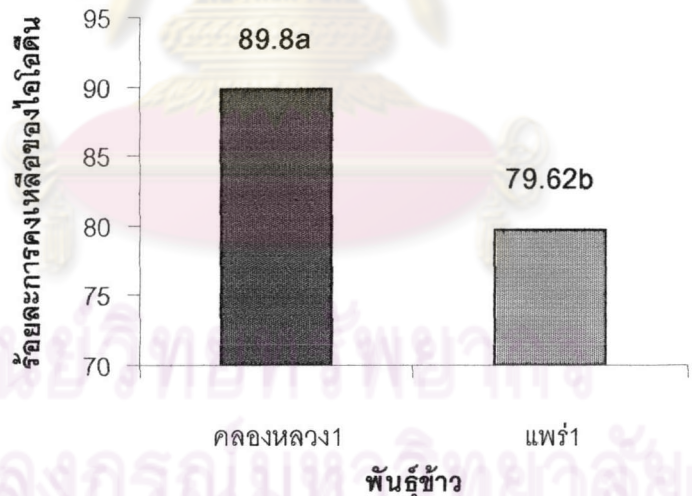
SOV	ไอโอดีน	สังกะสี
พันธุ์ข้าว (A)	**	**
ชนิดของพอลิเมอร์ (B)	ns	ns
A*B	ns	*

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลของพันธุ์ข้าวต่อร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุงแสดงในรูปที่ 4.5 โดยข้าวเจ้าพันธุ์คลองหลวง1เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ต่างๆมีร้อยละการคงเหลือของไอโอดีนหลังหุงสูงกว่าข้าวเหนียวพันธุ์แพร่1เสริมไอโอดีนและสังกะสี



รูปที่ 4.5 ผลของพันธุ์ข้าวต่อร้อยละการคงเหลือของปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุง

และเมื่อพิจารณาร้อยละการคงเหลือของสังกะสีหลังหุง พบว่า อิทธิพลร่วมของพันธุ์ข้าวและชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้มีผลต่อร้อยละการคงเหลือของสังกะสีในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.16 ข้าว

พันธุ์คลองหลวง1ที่เคลือบด้วย flour ข้าวเจ้ามีร้อยละการคงเหลืออยู่ของไอโอดีนและสังกะสีหลังการหุงมากที่สุด คือ ร้อยละ 94.16 และร้อยละ 96.65 เป็นที่น่าสังเกตุว่าเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วข้าวพันธุ์แพร่1มีร้อยละการคงเหลืออยู่ของไอโอดีนและสังกะสีหลังการหุงน้อยกว่าข้าวพันธุ์คลองหลวง1 ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากข้าวพันธุ์แพร่1 เป็นข้าวเหนียว ก่อนนำมาหุงต้องแช่ก่อนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง รินน้ำที่แช่ทิ้ง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้สูญเสียไอโอดีนและสังกะสีในระหว่างแช่ ส่วนข้าวพันธุ์คลองหลวง1 เป็นข้าวเจ้า ก่อนหุงได้ผ่านการล้างแต่ไม่ได่ผ่านการแช่จึงทำให้มีปริมาณไอโอดีนและสังกะสีหลังการหุงเหลืออยู่สูงกว่า ซึ่งการสูญเสียสารอาหารในข้าวที่เสริมสารอาหารนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้และระยะเวลาในการหุง (Luh,1991; Hoffpauer ,1992)

ตารางที่ 4.16 ร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนและสังกะสีในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังหุง

พันธุ์ข้าว	พอลิเมอร์	ปริมาณไอโอดีนที่คงเหลืออยู่ (ร้อยละ)*	ปริมาณสังกะสีที่คงเหลืออยู่ (ร้อยละ)*
คลองหลวง 1	Flour ข้าวเจ้า	94.16 ± 4.05^{a}	96.65 ± 6.58^{a}
	Flour ข้าวเหนียว	92.48 ± 5.95^{a}	93.90 ± 4.63^{ab}
	Starch ข้าวเจ้า	86.60 ± 3.54^{a}	86.49 ± 5.02^{b}
	Starch ข้าวเหนียว	85.95 ± 1.62^{a}	91.25 ± 2.52^{ab}
แพร่ 1	Flour ข้าวเจ้า	82.31 ± 7.82^{b}	64.51 ± 1.33^{d}
	Flour ข้าวเหนียว	82.45 ± 9.82^{b}	65.57 ± 4.66^{cd}
	Starch ข้าวเจ้า	74.62 ± 2.93^{b}	74.20 ± 8.95^{c}
	Starch ข้าวเหนียว	79.11 ± 3.78^{b}	65.33 ± 1.98^{cd}

*ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีหลังเคลือบ หลังล้าง และหลังหุง พบว่าข้าวเคลือบพันธุ์คลองหลวง1มีปริมาณไอโอดีนและสังกะสีสูงกว่าข้าวเคลือบพันธุ์แพร่ และข้าวที่เคลือบด้วย flour มีการคงเหลืออยู่ของปริมาณไอโอดีนและสังกะสีสูงกว่าข้าวที่เคลือบด้วย starch ทั้งหลังการล้างและหุง จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ในการศึกษานี้

ข้าวพันธุ์คลองหลวง1 เป็นพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี และ flour ข้าวเจ้าเป็นสารพอลิเมอร์สำหรับใช้เคลือบ ซึ่งจะนำผลดังกล่าวไปศึกษาการเสริมไอโอดีน เหล็ก และ สังกะสี ต่อไป

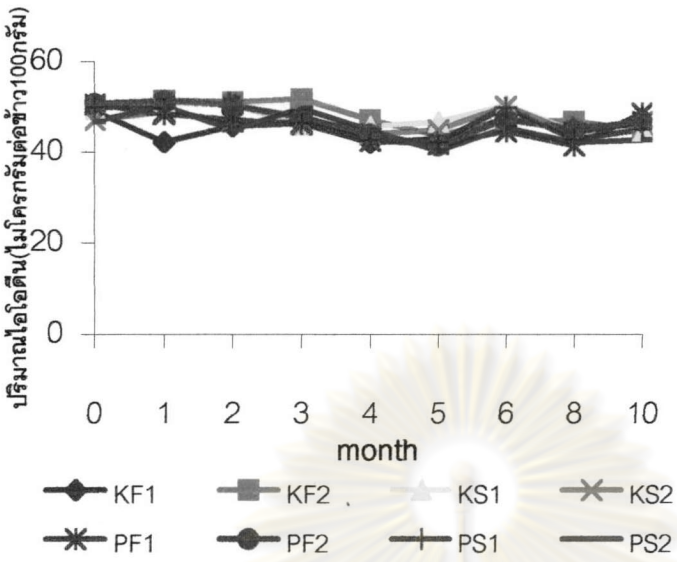
4.3.3.4 อายุการเก็บของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี

การศึกษาอายุการเก็บของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี ทำโดยสุ่มตัวอย่างข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลอง วัดปริมาณความชื้น Aw ปริมาณไอโอดีน ปริมาณสังกะสี และค่าดัชนีความขาว ทุกเดือนเป็นเวลา 10 เดือน ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6-4.10 (ความหมายสัญลักษณ์ของกราฟแต่ละเส้นแสดงในภาคผนวก ฏ)

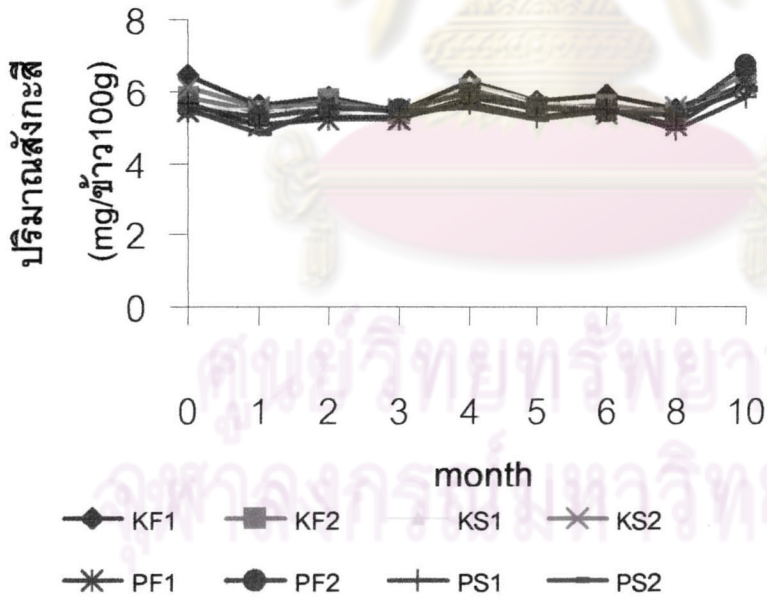
จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าในข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลองมีปริมาณไอโอดีนและสังกะสีค่อนข้างจะคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ปริมาณไอโอดีนยังอยู่ในช่วง 40-60 μg/100g และมีปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วง 4-6 mg/100g ซึ่งเป็นช่วงที่ต้องการ

ตลอดระยะเวลาการเก็บเป็นเวลา 10 เดือน ค่า water activity (รูปที่ 4.8) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเป็นค่าที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (รัตนันท์ พรรณารุโณทัย, 2543) ส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นตลอดระยะเวลา 10 เดือน (รูปที่ 4.9) นั้นพบว่าข้าวทุกการทดลองมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 14% ซึ่งปริมาณความชื้นดังกล่าวเป็นปริมาณความชื้นที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมี (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

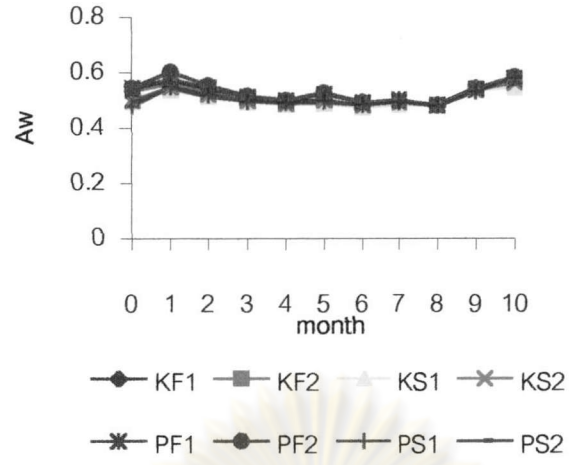
ข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าดัชนีความขาว(รูปที่4.10)ของข้าวลดลงเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าสี (L a b) ข้าวมีความสว่าง (L) ลดลง ในขณะที่ค่า b เพิ่มมากขึ้น ชี้ให้เห็นว่าเมื่อเก็บข้าวเป็นเวลานานมากขึ้นข้าวจะมีสีเหลืองขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้มีค่าดัชนีความขาวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับที่ Chrastil (1990) พบว่า เมื่อเก็บข้าวเป็นเวลา 10 เดือนข้าวมีค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีความขาวลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวระหว่างการเก็บเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Maillard's nonenzymatic browning reaction) ของคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าว



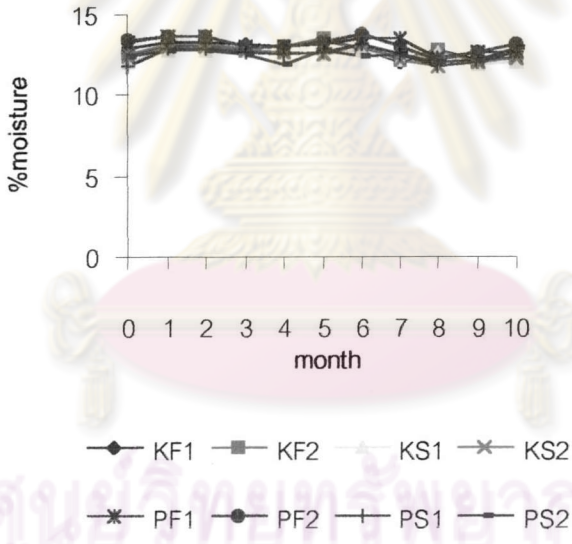
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน



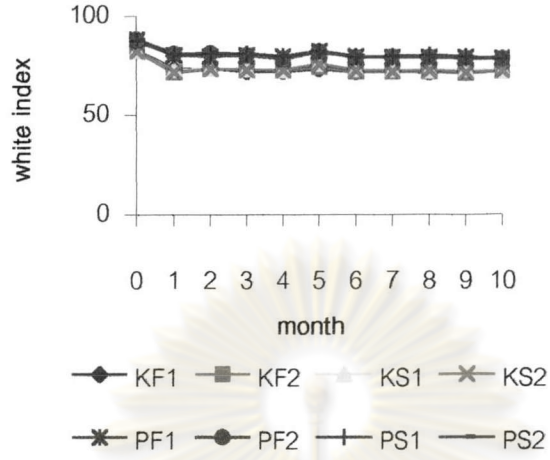
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน

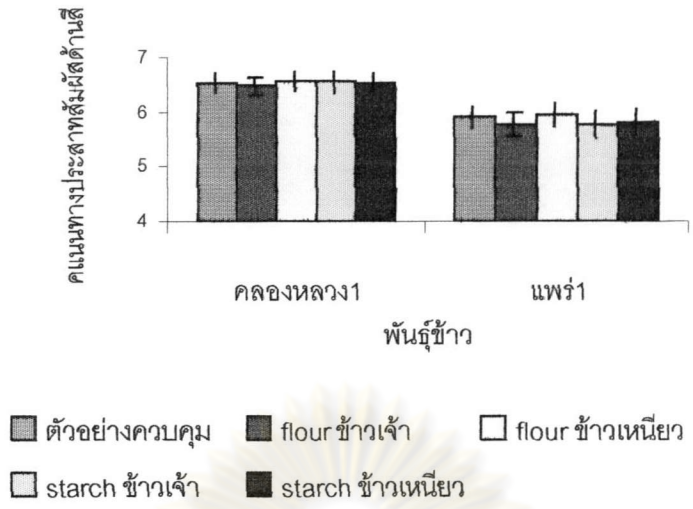


รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาวของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีในแต่ละเดือน

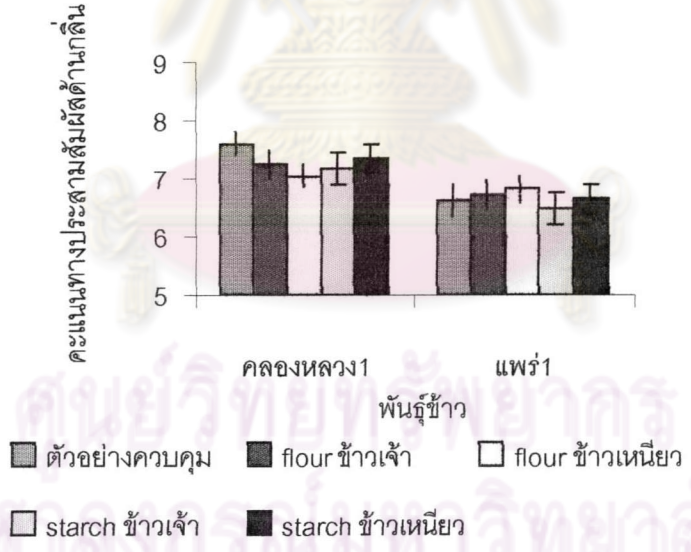
4.3.3.5 คุณภาพทางประสามสัมผัสของข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสี

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวพันธุ์คลองหลวง1(ข้าวเจ้า) และข้าวพันธุ์แพร่1 (ข้าวเหนียว) เสริมไอโอดีนและสังกะสีทุกการทดลอง เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ตัวอย่างข้าวที่ไม่ได้เสริมไอโอดีนและสังกะสี) เพื่อดูการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบโดยใช้สารพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดต่างๆ ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความเลื่อมมัน การเกาะตัว เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับรวม แสดงในรูปที่ 4.11-4.17 ตามลำดับ

ข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี (รูปที่ 4.11) และกลิ่น (รูปที่4.12) ไม่แตกต่างจากข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่ไม่ได้เสริมไอโอดีนและสังกะสี (ตัวอย่างควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนข้าวพันธุ์แพร่1 ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.11 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ : ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีคะแนนอยู่ในช่วง 5 (ขาวออกเหลือง) –7 (สีขาว)



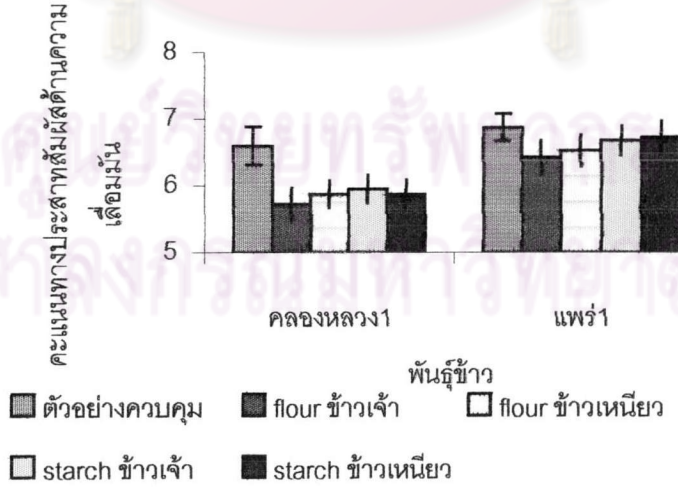
รูปที่ 4.12 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ : ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีคะแนนอยู่ในช่วง 6 –7 (กลิ่นปกติ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

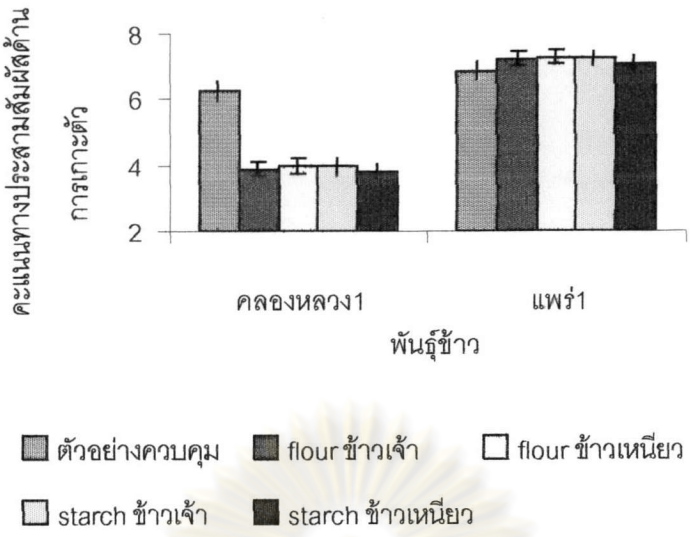
เมื่อพิจารณาข้าวพันธุ์คลองหลวง1 (ข้าวเจ้า) พบว่าคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความเลื่อมมัน(รูปที่4.13) ของข้าวที่ไม่ได้เสริมไอโอดีนและสังกะสีสูงกว่าข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ทั้งนี้อาจเกิดจากพื้นผิวเมล็ดข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสี จะมีฟิล์มของสารพอลิเมอร์เคลือบอยู่ พื้นผิวเมล็ดจึงไม่เรียบ เมื่อนำข้าวไปหุงทำให้ความเลื่อมมันน้อยลงส่วนข้าวพันธุ์แพร่ 1 (ข้าวเหนียว) ที่ไม่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความเลื่อมมันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสี

คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะตัว(รูปที่4.14) ของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 ที่ไม่ได้เสริมไอโอดีนและสังกะสีสูงกว่าข้าวที่เสริมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ดังที่ได้กล่าวข้างต้นว่าผิวเมล็ดข้าวที่เสริมแร่ธาตุนั้นจะมีฟิล์มแป้งเคลือบอยู่ ดังนั้นเมื่อนำข้าวไปหุง ความร้อนจะทำให้ฟิล์มที่อยู่บนผิวเมล็ดนั้นรวมตัวกัน ทำให้เมล็ดเชื่อมติดได้ง่ายกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุ เป็นสาเหตุให้ข้าวที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุมีลักษณะร่วน ไม่เกาะติดกัน ส่วนข้าวพันธุ์แพร่1 ที่ไม่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะตัวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสี

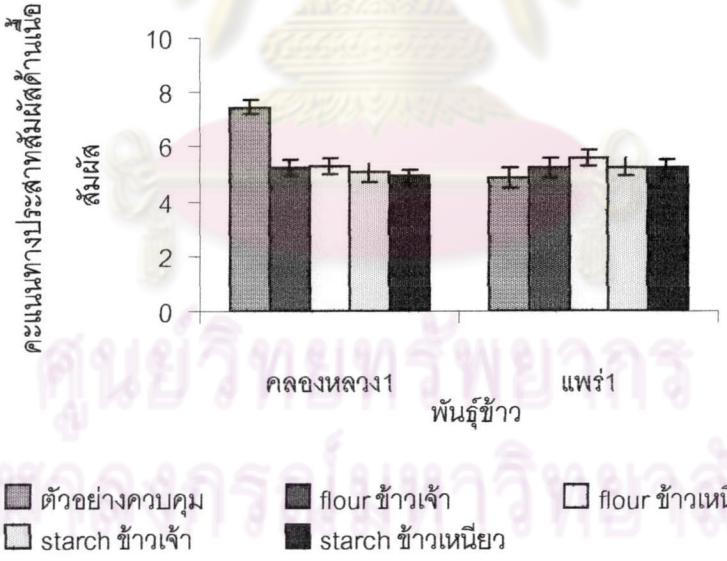
ข้าวพันธุ์คลองหลวง1 ที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส (รูปที่4.15) น้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ส่วนข้าวพันธุ์แพร่1 ที่ไม่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่เสริมไอโอดีนและสังกะสี



รูปที่ 4.13 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความเลื่อมมันของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ : ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีคะแนนอยู่ในช่วง 5 (มันวาวเล็กน้อย) –7 (มันวาวพอดี)

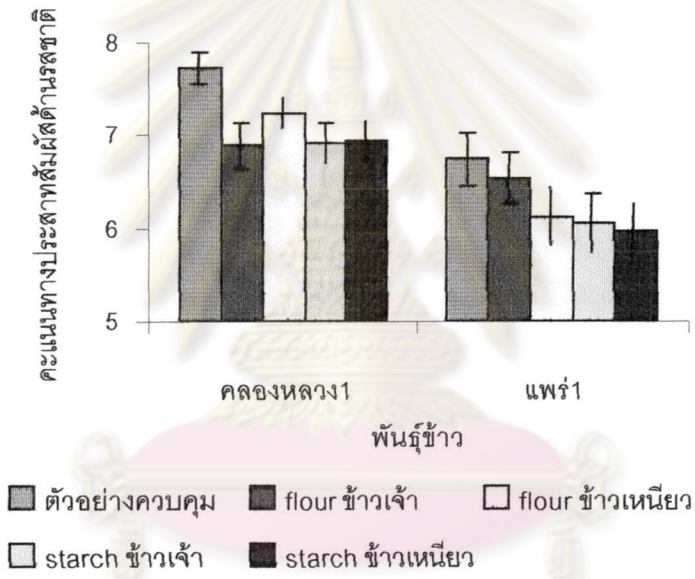


รูปที่ 4.14 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะตัวของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ : ข้าวพันธุ์คลองหลวง1มีคะแนนอยู่ในช่วง 3 (เหนียวเกาะติดกัน) –7 (ร่วนไม่เกาะติดกัน) ข้าวพันธุ์แพร่1มีคะแนนอยู่ในช่วง 5 (เหนียวเกาะติดกันปานกลาง) –7 (เหนียวเกาะติดกันดี)

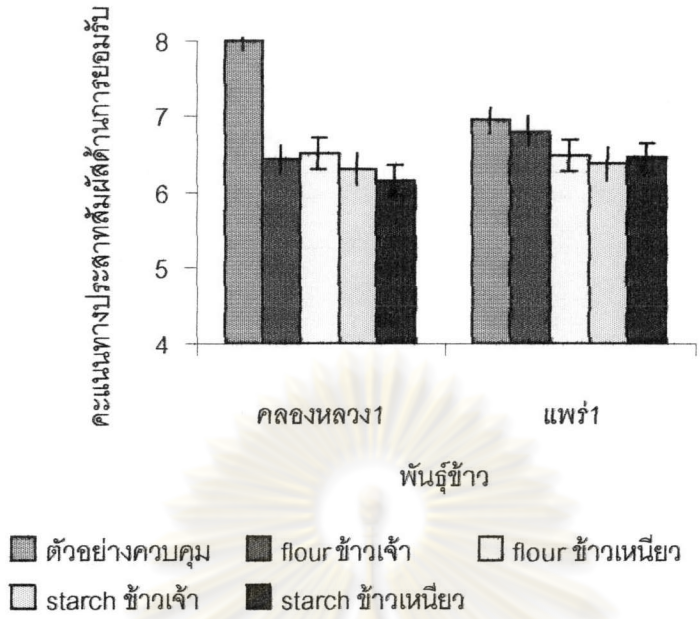


รูปที่ 4.15 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ : ข้าวพันธุ์คลองหลวง1มีคะแนนอยู่ในช่วง 4 (นิ่มเละเล็กน้อย) –8 (เหนียวนุ่มพอดี) ข้าวพันธุ์แพร่1มีคะแนนอยู่ในช่วง 4-6 (นิ่มเล็กน้อย)

ข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่ไม่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ(รูปที่4.16) และการยอมรับรวม(รูปที่4.17) สูงกว่าข้าวพันธุ์คลองหลวง1ที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับข้าวพันธุ์แพร่1 ที่ไม่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติและการยอมรับสูงกว่าข้าวพันธุ์แพร่1ที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวทั้ง 2 พันธุ์ที่เสริมไอโอดีนและสังกะสีมีคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วง 6 (ยอมรับเล็กน้อย) - 7(ยอมรับปานกลาง) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าข้าวเสริมไอโอดีนและสังกะสีโดยการเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



รูปที่ 4.16 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ : ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีคะแนนอยู่ในช่วง 5 (รสชาติจืด) –8 (รสชาติปกติ)



รูปที่ 4.17 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับข้าวพันธุ์คลองหลวง1 และข้าวพันธุ์แพร่1 เสริมไอโอดีนและสังกะสีที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ : ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีคะแนนอยู่ในช่วง 6 (ยอมรับเล็กน้อย) –8 (ยอมรับมาก)

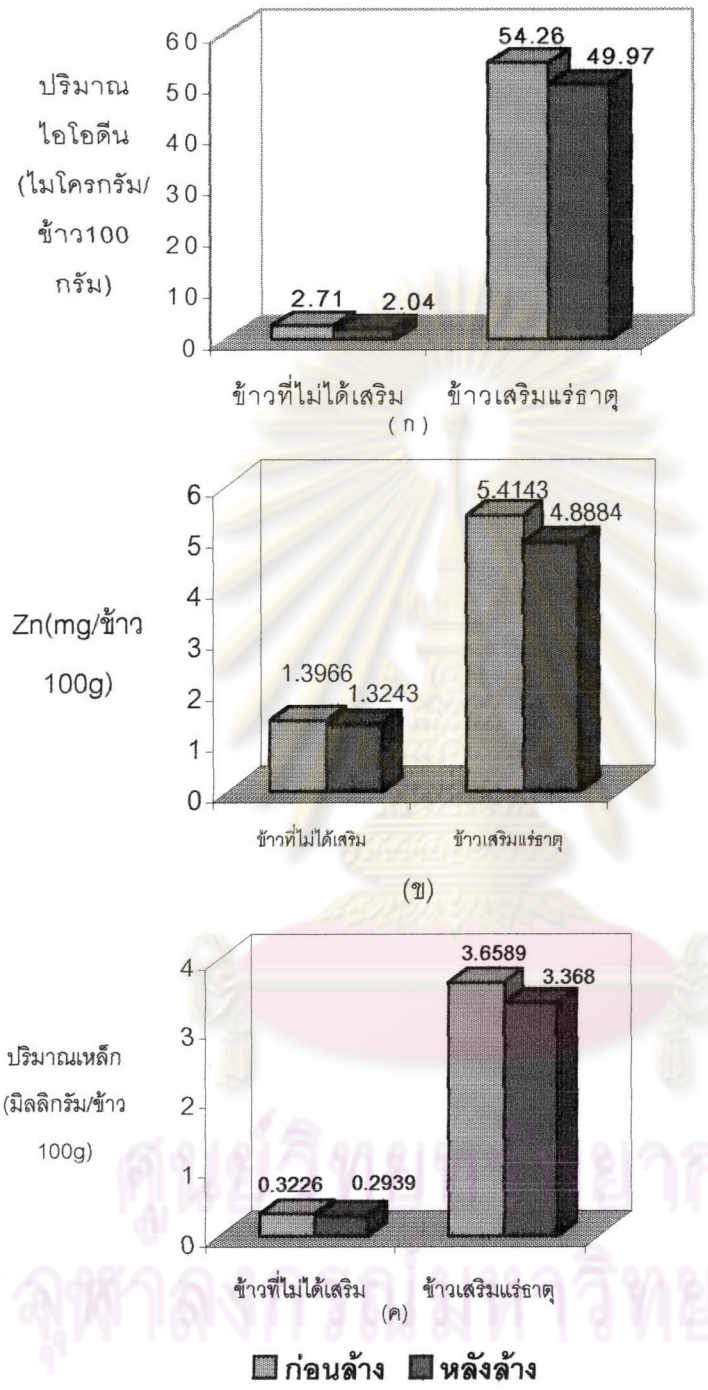
4.4 การเสริมไอโอดีน เหล็ก และสังกะสีในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบด้วยเจลพอลิเมอร์

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าการเสริมไอโอดีนและสังกะสีในข้าว อาจใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาภาวะทุพโภชนาการของประชากรในประเทศได้ ปัจจุบันพบว่ามีประชากรส่วนหนึ่งของประเทศป่วยเป็นโรคโลหิตจาง ซึ่งสาเหตุของการเกิดโรคโลหิตจาง คือ การได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และ ความสามารถของร่างกายที่ดูดซึมเหล็กไปใช้ประโยชน์ได้ไม่ดี ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะเสริมเหล็กร่วมกับไอโอดีนและสังกะสีในข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรในประเทศ

นำข้าวที่เสริมไอโอดีน เหล็ก และสังกะสี มาวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน เหล็ก และสังกะสี ความชื้น ค่า water activity (Aw) ค่าสีในระบบ Hunter (L a b) หลังการเคลือบ ปริมาณไอโอดีน เหล็ก และสังกะสี ความชื้นหลังการล้าง ปริมาณไอโอดีน เหล็ก และสังกะสี ความชื้นหลังการหุง

4.4.1 ผลของการล้างข้าวต่อปริมาณไอโอดีน สังกะสีและเหล็กที่เหลืออยู่ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก

เมื่อล้างตัวอย่างข้าวด้วย deionized water ตามวิธีของ Hettiarachchy และคณะ(1996) แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน สังกะสีและเหล็กหลังการล้าง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.18



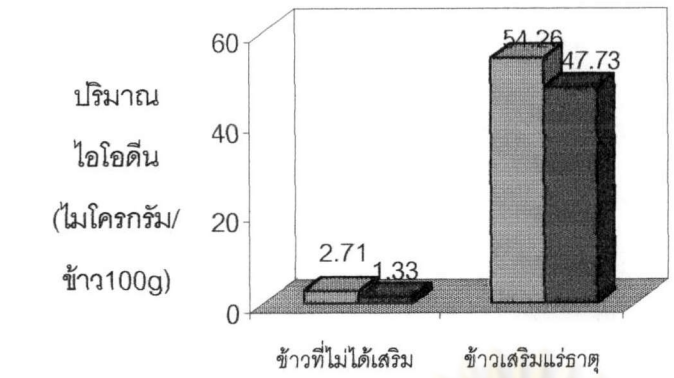
รูปที่ 4.18 ปริมาณจุลธาตุในข้าวที่ไม่เสริมและเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กที่เหลืออยู่หลังล้าง (ก) ปริมาณไอโอดีน (ข) ปริมาณสังกะสี (ค) ปริมาณเหล็ก

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าข้าวที่เสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กหลังการล้างยังมีปริมาณไอโอดีน สังกะสีและเหล็กอยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ มีปริมาณไอโอดีน 40-60 ไมโครกรัมต่อข้าวสาร 100 กรัม สังกะสี 4-6 มิลลิกรัมต่อข้าวสาร 100 กรัม และเหล็ก 3-4 มิลลิกรัมต่อข้าวสาร 100 กรัม และเมื่อพิจารณาร้อยละคงเหลืออยู่ของทั้ง 3 ธาตุหลังการล้าง พบว่า ข้าวที่เสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กมีการคงเหลือของไอโอดีน 93.41% สังกะสี 92.43% และเหล็ก 91.13% ซึ่งสอดคล้องกับที่ Payumo และคณะ (1982) ได้เสริมเหล็กในข้าวในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟตและพบว่าเมื่อนำข้าวไปล้างมีการสูญเสียเหล็ก 9% และ Misaki และ Yasumatsu (1984) ได้กล่าวว่าการเสริมวิตามินและแร่ธาตุในข้าวโดยวิธีการเคลือบ ข้าวจะสูญเสียวิตามินและแร่ธาตุประมาณ 10%

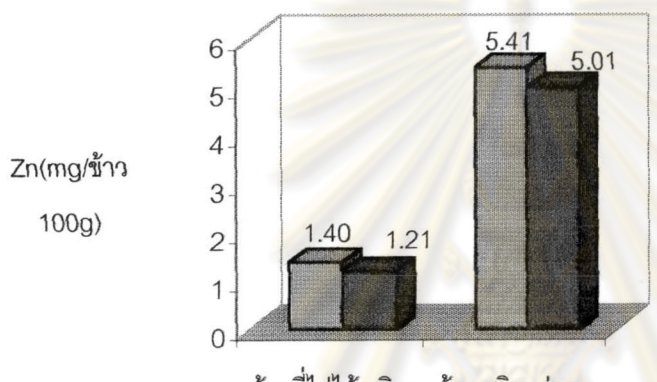
4.4.2 ผลของการหุงข้าวต่อปริมาณไอโอดีน สังกะสีและเหล็กที่เหลืออยู่ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก

นำตัวอย่างข้าวมาหุงโดยดัดแปลงวิธีของ ชุติมา อัศวเสถียร (2543) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ไอโอดีน สังกะสีและเหล็กหลังหุง ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าข้าวที่เสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กมี%การคงเหลืออยู่ของไอโอดีน สังกะสีและเหล็กหลังการหุงค่อนข้างสูง กล่าวคือมี การคงเหลือของไอโอดีน 88.15 % สังกะสี 93.80%และเหล็ก 92.29% ซึ่งสอดคล้องกับ ฑิติกาน เมฆจรัสกุล (2545) พบว่า ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เสริมเหล็กในรูปแบบต่างๆมีการคงเหลือของปริมาณเหล็กหลังข้าวผ่านการหุงร้อยละ 93.08-98.98 และปริมาณจุลธาตุที่คงเหลืออยู่ยังมีปริมาณตามที่ต้องการ คือ มีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 40-60 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม สังกะสีอยู่ในช่วง 4-6 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัมและเหล็กอยู่ในช่วง 3-4 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม และหลังข้าวผ่านการหุงยังมีร้อยละการคงเหลืออยู่ของจุลธาตุทั้ง 3 ชนิดสูง ชี้ให้เห็นว่าวิธีการเสริมแร่ธาตุในข้าววิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถคงคุณค่าของแร่ธาตุที่เสริมลงไปในข้าวได้ เมื่อข้าวผ่านการล้างและหุง

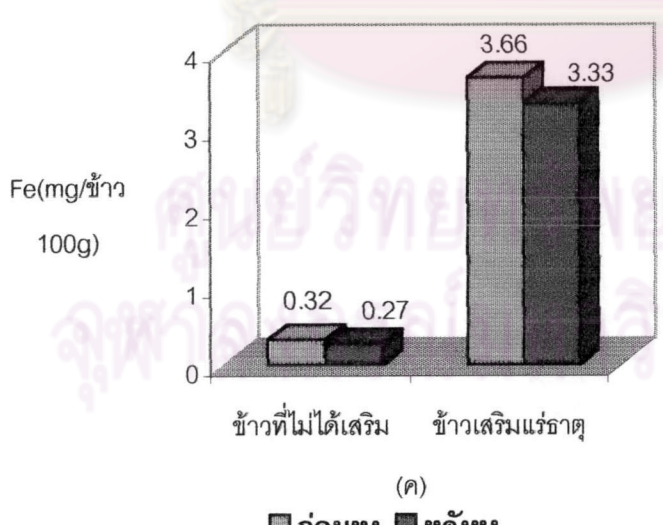
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)



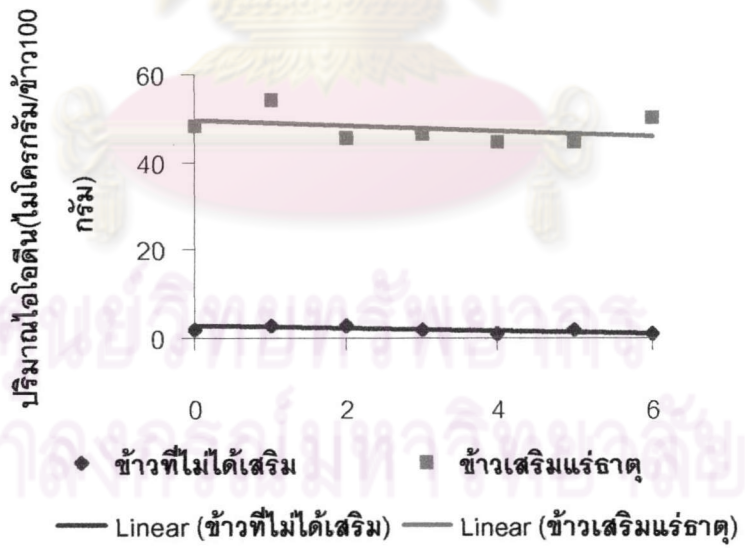
(ค)

รูปที่ 4.19 ปริมาณจุลธาตุในข้าวที่ไม่เสริมและเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กที่เหลืออยู่หลังหุง (ก) ปริมาณไอโอดีน (ข) ปริมาณสังกะสี (ค) ปริมาณเหล็ก

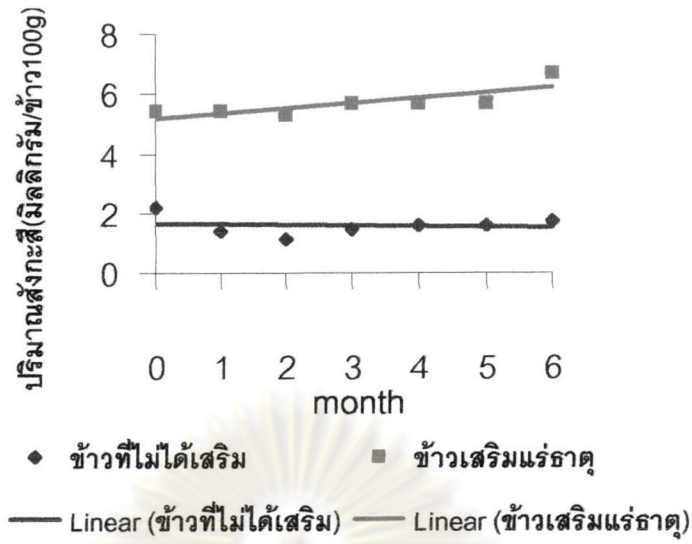
4.4.3 อายุการเก็บของข้าวเสริมไอโอดีน เหล็ก และสังกะสี

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอโอดีน เหล็ก และสังกะสี ความชื้น ค่า water activity (Aw) ค่าสีในระบบ Hunter (L a b) ตลอดระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน แสดงในรูปที่ 4.20 –4.25

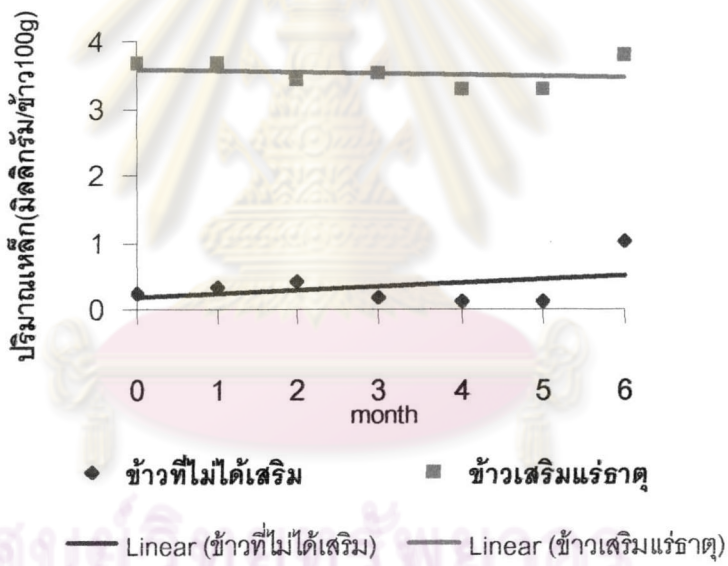
ตลอดระยะเวลา 6 เดือน ปริมาณไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก ในข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก (รูปที่ 4.20-4.22) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และปริมาณของแร่ธาตุดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ต้องการ กล่าวคือ มีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 40 –50 ไมโครกรัมต่อข้าว100 กรัม สังกะสี 4- 6 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม และเหล็ก 3 – 4 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม เช่นเดียวกันกับ ฑิติกาน เมฆจรัสกุล (2545) ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในข้าวเสริมเหล็กที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ตลอดระยะเวลา 9 เดือน ข้าวเสริมเหล็กทุกการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเหล็กเล็กน้อย เมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก ในตัวอย่างควบคุม (ข้าวที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุ) พบว่าข้าวมีปริมาณไอโอดีน สังกะสีและเหล็กในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็กโดยการเคลือบบนเมล็ดข้าวสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวได้



รูปที่ 4.20 ปริมาณไอโอดีนของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน

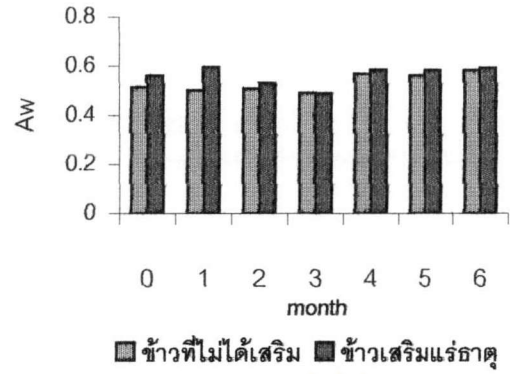


รูปที่ 4.21 ปริมาณสังกะสีของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน

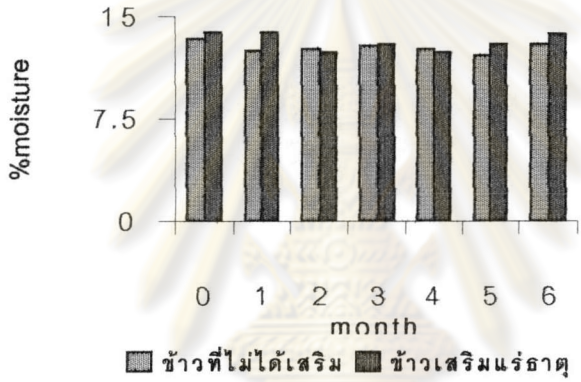


รูปที่ 4.22 ปริมาณเหล็กของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน

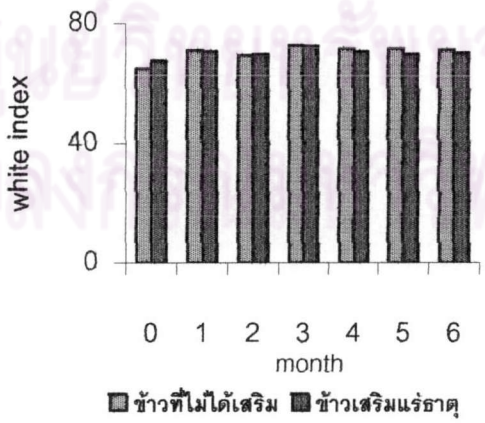
ค่า water activity (รูปที่4.23) และปริมาณความชื้น(รูปที่4.24) ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือนมีค่าเหมาะสม คือ มีค่า water activity ต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเป็นค่าที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (รัตนันท์ พรรณารุโณทัย,2543) และปริมาณความชื้นต่ำกว่า 14% ตลอดระยะเวลา 6 เดือนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนค่าดัชนีความขาว(รูปที่4.25) ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กมีค่าใกล้เคียงกับข้าวที่ไม่ได้เสริมจุลธาตุ และมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย



รูปที่ 4.23 ค่า water activity ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน



รูปที่ 4.24 ปริมาณความชื้นของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน

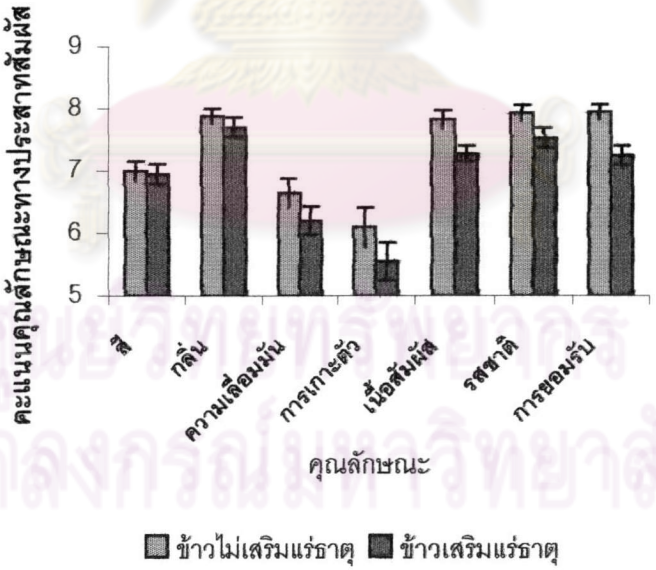


รูปที่ 4.25 ค่าดัชนีความขาว(white index) ของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กในแต่ละเดือน

4.4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก

นำข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กมาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ตัวอย่างข้าวที่ไม่ได้เสริมจุลธาตุ) เพื่อดูการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความเลื่อมมัน การเกาะตัว เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับรวม แสดงในรูปที่ 4.26

ข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นไม่แตกต่างกับข้าวที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิด(ตัวอย่างควบคุม)อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กมีความเลื่อมมันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) และเกาะติดกันมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p\leq0.01$) เมื่อพิจารณาคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีคะแนนสูงกว่าข้าวที่เสริมแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 7-8 คะแนน (รสชาติปกติ) ในทางเดียวกันกับคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับ ($p\leq0.01$) มีคะแนนอยู่ในช่วงคะแนน 7 (ยอมรับปานกลาง) – 8 (ยอมรับมาก) แสดงว่าข้าวที่เสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



รูปที่ 4.26 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก

ค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก

ค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก จำนวน 1 กิโลกรัม (ไม่รวมค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และค่าแรง) มีดังนี้

1. แป้งข้าวสำหรับทำเป็นเจลใช้ในการเคลือบข้าว ราคาประมาณ 20 บาทต่อกิโลกรัม ในการเคลือบใช้แป้งความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาณเจลที่ใช้ต่อข้าวเท่ากับ 1 ต่อ 10 ดังนั้นต้องใช้แป้งข้าวสำหรับทำเจล 10*(1000/100)*1*3/100 = 3 กรัม คิดเป็นเงิน 0.06 บาท

2. KIO_3 ราคา 800 บาทต่อกิโลกรัม ในการเคลือบข้าวใช้ KIO_3 ประมาณ 0.2965 มิลลิกรัม คิดเป็นเงิน 0.0002 บาท

3. $ZnSO_4*H_2O$ ราคา 350 บาทต่อ 500 กรัม ในการเคลือบข้าวใช้ $ZnSO_4*H_2O$ ประมาณ 0.2212 กรัม คิดเป็นเงิน 0.1549 บาท

4. $FeSO_4*H_2O$ ราคา 582 บาทต่อกิโลกรัม ในการเคลือบข้าวใช้ $FeSO_4*H_2O$ ประมาณ 0.1040 กรัม คิดเป็นเงิน 0.0605 บาท

ดังนั้นในการผลิตข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก จำนวน 1 กิโลกรัม จะมีค่าใช้จ่าย 0.06+0.0002+0.1549+0.0605 = 0.2756 บาท

และข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก 100 กรัม (1 มื้อ) จะมีปริมาณไอโอดีน 47.51 ไมโครกรัม ปริมาณสังกะสี 5.6994 มิลลิกรัม ปริมาณเหล็ก 3.5210 มิลลิกรัม

ส่วนข้าวที่ไม่ได้เสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก 100 กรัม จะมีปริมาณไอโอดีน 1.85 ไมโครกรัม ปริมาณสังกะสี 1.5836 มิลลิกรัม ปริมาณเหล็ก 0.3399 มิลลิกรัม

ดังนั้นใน 1 วัน ถ้าผู้บริโภครับประทานข้าว 3 มื้อ (ข้าวสาร 300 กรัม)

- ข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก จะได้ปริมาณไอโอดีน 142.53 ไมโครกรัม ปริมาณสังกะสี 17.0982 มิลลิกรัม ปริมาณเหล็ก 10.563 มิลลิกรัม

- ข้าวที่ไม่เสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก จะได้ปริมาณไอโอดีน 5.55 ไมโครกรัม ปริมาณสังกะสี 4.7508 มิลลิกรัม ปริมาณเหล็ก 1.0197 มิลลิกรัม

จากที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าถ้ารับประทานข้าวเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก 3 มื้อ ร่างกายจะได้ไอโอดีน สังกะสี และเหล็ก เท่ากับที่กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้ร่างกายได้รับในแต่ละวัน

4.5 การศึกษาวิธีการเสริมสังกะสีโดยการฉีดพ่น

งานวิจัยส่วนนี้ได้ทำการทดลองเสริมสังกะสีโดยการฉีดพ่นสารพอลิเมอร์ผสมธาตุสังกะสีเคลือบบนเมล็ดข้าว เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และสามารถพัฒนาไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ โดยต้องการเสริมให้ข้าว 100 กรัมมีสังกะสีปริมาณ 5 มิลลิกรัม ปกติการผลิตข้าวเสริมสังกะสีจะมีการสูญเสียสังกะสีระหว่างการผลิตในขั้นตอนการผสมข้าวและเจลแป้งข้าว รวมทั้งขั้นตอนการล้างและหุงข้าว ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองหาปริมาณสังกะสีที่ต้องเติมในสารพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบ เพื่อให้ข้าวมีปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วงที่ต้องการ ในการทดลองนี้เสริมสังกะสีในรูปของซิงค์ซัลเฟตลงในข้าวขาวดอกมะลิ ซึ่งแปรปริมาณสังกะสีที่เติมในสารพอลิเมอร์ 3 ระดับ คือ 100% 120% และ 140% ของ Thai RDA โดยเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่เสริมแร่ธาตุ (ตัวอย่างควบคุม) จากนั้นนำข้าวทุกการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี และได้ทำสมดุลมวลของปริมาณสังกะสีใน ขั้นตอนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สมดุลมวลของปริมาณสังกะสีในขั้นตอนการผลิตข้าวเสริมสังกะสีโดยการฉีดพ่น จำนวน 1500 กรัม

ปริมาณสังกะสีที่เติม*	มวลเข้า**	มวลออก**		
	Zn ที่มีในสารพอลิเมอร์	Znที่มีในข้าว	Znที่ติดอุปกรณ์สเปรย์	Znที่ติดหม้อเคลือบ
ระดับที่ 1	75.19±0.17	60.56±6.40	6.99±4.61	7.64±8.05
ระดับที่ 2	89.99±0.20	65.74±1.62	6.55±3.70	17.70±4.81
ระดับที่ 3	105.29±0.34	72.98±2.31	9.95±4.84	22.36±6.59

*ปริมาณสังกะสีที่เติมระดับ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 75, 90และ 105 มิลลิกรัมต่อข้าว 1500 กรัม น้ำหนักเปียกตามลำดับ

** ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ หน่วยเป็นมิลลิกรัม

Znที่มีในข้าว = Znในข้าวหลังการเสริมสังกะสี – Znในข้าวที่ไม่ได้เสริมสังกะสี

หลังจากทำการเคลือบข้าวโดยใช้สารพอลิเมอร์ผสมปริมาณสังกะสี 3 ระดับ พบว่า ปริมาณสังกะสีที่เติมลงไปในสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบข้าวมีผลต่อปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) กล่าวคือ เมื่อปริมาณสังกะสีที่เติมในสารพอลิเมอร์มากขึ้นมีผลทำให้ข้าวที่ได้หลังจากการเคลือบมีปริมาณสังกะสีสูงขึ้นตามไปด้วย (ตารางที่ 4.18)

เมื่อนำข้าวทุกการทดลองไปล้าง พบว่า ปริมาณสังกะสีที่เติมลงไปในสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบข้าวมีผลต่อปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังล้างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) (ตารางที่ 4.18) โดยข้าวที่ไม่ได้เสริมสังกะสีผ่านการล้างจะมีปริมาณสังกะสีน้อยกว่าข้าวที่เสริมสังกะสีที่ผ่านการล้าง

จากนั้นนำข้าวทุกการทดลองมาหุง พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกับเมื่อข้าวผ่านการเคลือบและผ่านการล้าง คือ เมื่อปริมาณสังกะสีที่เติมในสารพอลิเมอร์มากขึ้นมีผลทำให้ข้าวมีปริมาณสังกะสีที่เหลืออยู่หลังการหุงสูงขึ้นตามไปด้วย โดยข้าวที่ไม่ได้เสริมสังกะสีหลังผ่านการหุงจะมีปริมาณสังกะสีน้อยกว่าข้าวที่เสริมสังกะสีหลังผ่านการหุงอย่างนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบ หลังล้าง และหลังหุง

ปริมาณสังกะสีที่เติม*	ปริมาณสังกะสีในข้าว** (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม)		
	หลังเคลือบ	หลังล้าง	หลังหุง
ตัวอย่างควบคุม	1.6822 ± 0.0508c	1.1810 ± 0.7874b	1.2196 ± 0.8137c
ระดับ 1	6.2872 ± 0.5310bc	5.2055 ± 0.7696a	5.6096 ± 0.6086bc
ระดับ 2	6.7161 ± 0.1117ab	6.2976 ± 0.0995a	6.2482 ± 0.2785ab
ระดับ 3	7.2281 ± 0.1393a	6.3066 ± 0.7823a	6.9467 ± 0.4528a

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

*ปริมาณสังกะสีที่เติมระดับ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 5, 6 และ 7 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

** ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ

จากผลการทดลองข้างต้น ในการทดลองส่วนนี้ได้เลือกปริมาณสังกะสีที่เติมระดับที่ 2 คือ เติม 6 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม น้ำหนักเปียก หรือเติมร้อยละ 120 ของ 1 ใน 3 ของ RDA เพราะ เมื่อพิจารณาปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวหลังเคลือบ หลังล้างและหลังหุง พบว่า มีปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วงที่ต้องการ (5 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัมน้ำหนักเปียก) ส่วนการเติมสังกะสีในระดับที่ 1 ในข้าวนั้น เมื่อข้าวผ่านการหุงปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในข้าวมีปริมาณน้อยกว่าที่ต้องการ ในทางตรงกันข้ามการเติมสังกะสีระดับ 3 ในข้าว เมื่อข้าวผ่านการล้างและหุง พบว่าข้าวเสริมสังกะสีในระดับ 3 นั้นมีปริมาณสังกะสีสูงกว่าปริมาณที่ต้องการ แต่จะเห็นได้ว่าวิธีการฉีดพ่นสารพอลิเมอร์ผสมสังกะสีบนเมล็ดข้าวนี้ เป็นวิธีการที่สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม หรือ ตัวอย่างข้าวที่ไม่ได้เสริมสังกะสี ซึ่งมีปริมาณสังกะสีน้อยมาก

และจากการคำนวณร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณสังกะสีในข้าวเสริมสังกะสี (ตารางที่ 4.19) หลังการล้างและหุงค่อนข้างสูง คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 82.47 – 96.10 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการ

เสริมสังกะสีบนเมล็ดข้าวโดยการฉีดพ่น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถคงคุณค่าของแร่ธาตุที่เติมลงไปในข้าว หลังข้าวผ่านการล้างและการหุง

ตารางที่ 4.19 ร้อยละการคงเหลืออยู่ของปริมาณสังกะสีในข้าวเสริมสังกะสีหลังการล้างและหุง

ปริมาณสังกะสีที่เติม*	ร้อยละคงเหลือของสังกะสีในข้าวหลังล้าง**	ร้อยละคงเหลือของสังกะสีในข้าวหลังหุง**
ตัวอย่างควบคุม	71.21	73.56
ระดับ 1	82.47	89.11
ระดับ 2	93.78	93.06
ระดับ 3	87.43	96.10

*ปริมาณสังกะสีที่เติมระดับ1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 5, 6 และ 7 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

** ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ

สมบัติอื่นๆ ของข้าวเสริมสังกะสี (ตารางที่ 4.20) ได้แก่ ความชื้น พบว่า ข้าวทุกการทดลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (12.21 – 12.87%) ต่ำกว่า 14% ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของข้าวให้ช้าลง เช่น การเจริญของจุลินทรีย์ต่างๆในข้าว เป็นต้น ทำให้ข้าวยังคงคุณภาพดี (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข,2536) ส่วนค่าสี (L a b) และค่าดัชนีความขาว พบว่าข้าวเสริมสังกะสีทุกระดับมีค่าสี (L a b) และค่าดัชนีความขาวแตกต่างจากข้าวที่ไม่เสริมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.20 โดยข้าวที่เสริมสังกะสีจะมีค่า L (ความสว่าง) และค่าดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมสังกะสี เนื่องจาก การเสริมสังกะสีบนเมล็ดข้าววิธีนี้จะฉีดพ่นสารพอลิเมอร์ผสมสังกะสีบนเมล็ดข้าว สารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เจลแป้งข้าว ซึ่งมีสีขาว จะเคลือบบนผิวของเมล็ดข้าว จึงทำให้ข้าวที่เสริมสังกะสีมีค่า L (ความสว่าง) และค่าดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมสังกะสี

ตารางที่ 4.20 ปริมาณความชื้น ค่าสี (L a b) และค่าดัชนีความขาวของข้าวที่ไม่เสริมและเสริมสังกะสี

ปริมาณสังกะสีที่เติม*	ปริมาณความชื้น(%) ns	L	a	b	ค่าดัชนีความขาว**
ตัวอย่างควบคุม	12.62±0.87	72.05±0.75b	-1.16±0.06b	8.55±0.34b	70.74±0.62b
ระดับ 1	12.42±0.21	78.34±0.49a	-0.85±0.07a	10.59±0.16a	75.87±0.38a
ระดับ 2	12.87±0.50	78.65±1.58a	-0.88±0.07a	10.58±0.53a	76.14±1.22a
ระดับ 3	12.21±0.51	78.82±1.35a	-0.78±0.09a	10.06±0.15a	76.53±1.23a

*ปริมาณสังกะสีที่เติมระดับ1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 5, 6 และ 7 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

** ค่าดัชนีความขาว (white index) = $100-\sqrt{(100-L)^2+a^2+b^2}$ (Chen et al., 1999)

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

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าเฉลี่ย ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย