2/๒๗ . P

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ในข้าวเสริมธาตุเหล็ก

(Study on Technique of Polymer Coating in Iron Fortified Rice)

โดย

นางสาวสุธิดา จำปาเทศ รหัสนักศึกษา 40044500

นางสาวสุพนิดา ไทยใจดี รหัสนักศึกษา 40044501

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 19 / 3 / 44 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(อ.พยใจ ฉายาภ)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

( )

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว7486

ศึกษาเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ในข้าวเสริมธาตุเหล็ก

(Study on Technique of Polymer Coating in Fortified Rice)

นางสาวสุธิดา จำปาเทศ รหัสประจำตัว 40044500

นางสาวสุพนิดา ไทยใจดี รหัสประจำตัว 40044501

T096858

โครงการคณะอุสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปพ. เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2544

ส7857
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..96858
วัน,เดือน,ปี..- 5 JUN 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุธิดา จำปาเทศ และ สุพนิดา ไทยใจดี 2544 : การศึกษาเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ในข้าวเสริมธาตุเหล็ก (Study on Technique of Polymer Coating in Iron Fortified Rice) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็ก เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยทำการศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการเคลือบด้วยสารโพลิเมอร์ ซึ่งเตรียมได้จากส่วนผสมของ กลีเซอรอล แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และทำการศึกษา 2 วิธี คือ การเคลือบสารโพลิเมอร์แล้วจึงคลุกธาตุเหล็ก Ferric pyrophosphate แล้วนำมาเคลือบสารโพลิเมอร์อีกครั้งหนึ่ง และการคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์ พบว่าเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ทั้งสองวิธีทำให้ได้ปริมาณธาตุเหล็กไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณธาตุเหล็ก 8.3 มิลลิกรัมต่อข้าวสารเสริมธาตุเหล็ก 100 กรัม ดังนั้นเทคนิคการคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นนำมาหาปริมาณธาตุเหล็กที่เหลืออยู่หลังจากการหุงต้ม (% Retention) พบว่ามีปริมาณธาตุเหล็กที่เหลืออยู่เท่ากับ 47.66% แล้วนำไปคำนวณหาอัตราการผสมข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ต่อข้าวสารที่เหมาะสม ได้เป็น 32 : 100 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้ได้รับปริมาณธาตุเหล็กตามมาตรฐานของ Thai-RDI คือปริมาณธาตุเหล็กที่แนะนำเท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อวัน จากการศึกษาคุณภาพการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์และข้าวปกติพบว่า คะแนนทางด้านสี กลิ่น และความยอมรับรวมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวปกติมีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ แต่คะแนนทางด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สุพนิดา ไทยใจดี

สุธิดา จำปาเทศ

19 / 3 / 44

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษเรื่อง การศึกษาเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ในข้าวเสริมธาตุเหล็ก เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีการศึกษา 2543 สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำจึงขอมอบความดีนี้ให้แก่อาจารย์ทุกๆท่านรวมทั้งคุณบุญยกฤต รัตนพันธ์(พี่บอย) ที่ได้ให้คำปรึกษา พี่ๆเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่อำนวยความสะดวก และเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงานและที่สำคัญ ขอขอบพระคุณ ดร.พอใจ ถามากร อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่เป็นผู้ให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษามาโดยตลอด เพื่อให้ได้ปัญหาพิเศษที่มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และสุดท้ายขอขอบคุณ บริษัท เนส์ทเล่ ฟู้ดส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ เฟอร์ริกไพโรฟอสเฟต ที่ใช้ในการปฏิบัติงานครั้งนี้

สุธิดา จำปาเทศ

สุพนิดา ไทยใจดี

16 มีนาคม 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ		ค
กิตติกรรมประกาศ		ง
สารบัญ		จ
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1		1
	บทนำ	1
	วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์		3
2.1	ลักษณะโดยทั่วไปของข้าว	3
2.2	คุณค่าทางโภชนาการของข้าว	5
2.3	การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว	8
2.4	การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว	9
2.5	กรรมวิธีการผลิตข้าวเสริมวิตามินและแร่ธาตุ	10
2.6	ธาตุเหล็ก	14
2.7	ปัญหาทางด้านประสาทสัมผัสที่เกิดจากธาตุเหล็ก	17
2.8	การผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็ก	18
2.9	Thai RDI	20
2.10	ฟิล์มที่บริโภคได้	21
2.11	การเกิดฟิล์ม	22
2.12	ฟิล์มบริโภคได้จากแป้ง	23
2.13	พลาสติไซเซอร์กับฟิล์มที่บริโภคได้	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.14 องค์ประกอบ โครงสร้างทางเคมี และคุณสมบัติบางประการของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้างจ้าว 24

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง 27

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 27

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง 28

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 29

3.4 สถานที่ทำการทดลอง 31

3.5 ระยะเวลาในการทดลอง 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 32

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 35

เอกสารอ้างอิง 37

ภาคผนวก 42

ภาคผนวก ก. แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส 43

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 44

ภาคผนวก ค. การคำนวณอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวเสริมธาตุเหล็กกับข้าวสารปกติ 45

ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ทางสถิติ 46

ภาคผนวก จ ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป 51

ประวัติผู้เขียน 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว 7

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง ข้าวสาร ข้าวพรีมิกซ์และ ข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่(หน่วย มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) 10

ตารางที่ 2.3 แสดงกลุ่มของเหล็กที่แบ่งตามความสามารถในการละลาย 4 กลุ่ม 16

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ 33

ตารางที่ 4.2 แสดงคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ที่ผสมกับข้าวสารในอัตราส่วน 32 : 100 34

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์แบบ CRD 46

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์แบบ RCBD 48

ตารางที่ จ.1 แสดงปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของข้าว 4
ภาพที่ 2.2 การผลิตข้าวเสริมวิตามิน “Shingen”(Premix) 13
ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิเคราห์ปริมาณธาตุเหล็ก 30
ภาพที่ ฉ.1 ข้าวสารปกติ 53
ภาพที่ ฉ.2 ข้าวปกติหุงสุก 53
ภาพที่ ฉ.3 ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กอัตราส่วน 32 : 100 (ข้าวสาร) 54
ภาพที่ ฉ.4 ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กอัตราส่วน 32 : 100 (ข้าวสุก) 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชีย แต่เนื่องจากในปัจจุบันมีหลายประเทศได้พยายามพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ทำให้ข้าวเข้ามาแข่งขันกันในตลาดมากขึ้น การแข่งขันนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาทั้งคุณภาพและกระบวนการผลิตรวมถึงการแปรรูปเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวและเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคอีกทางหนึ่ง แนวทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คือการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งเหมาะกับการดำเนินชีวิตของคนในสังคมเมืองที่รีบเร่ง หรือการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามินและแร่ธาตุ โดยสารอาหารที่เสริมในข้าวเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่นวิตามินบี 1 วิตามินบี2 ไอโอดีน แคลเซียม ซึ่งเหมาะกับผู้ที่มีปัญหาทางด้านสุขภาพในแต่ละกลุ่ม

ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กจึงได้ถูกคิดค้นขึ้นมา ด้วยเหตุที่ว่ามีผู้บริโภคบางกลุ่มที่มีปัญหาสุขภาพ ขาดสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายเช่นธาตุเหล็กซึ่งทำให้เกิดโรคโลหิตจาง และไม่สามารถบริโภคได้จากอาหารแหล่งอื่นเช่นตับได้ทุกวันเนื่องจากความไม่สะดวกที่จะรับประทาน แต่ข้าวเป็นอาหารมื้อหลักของคนไทยและหารับประทานได้ง่าย แต่ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กที่ได้นี้ยังอาจเกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการจากการเก็บรักษา การหุงต้ม การซาวข้าว จึงได้ทำการศึกษาวิธีการรักษาคุณค่าทางโภชนาการของธาตุเหล็กที่เหมาะสม โดยการเคลือบสารโพลิเมอร์ที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า และกลีเซอรอล และศึกษาเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ที่เหมาะสมจาก 2 วิธี ดังนี้คือวิธีการนำข้าวมาคลุกธาตุเหล็กก่อนแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์ และวิธีการนำข้าวมาเคลือบสารโพลิเมอร์ก่อนนำไปคลุกธาตุเหล็กแล้วจึงนำมาเคลือบทับด้วยสารโพลิเมอร์อีกครั้ง แล้วจากนั้นนำข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์จากวิธีที่เหมาะสมมาศึกษาปริมาณธาตุเหล็กที่เหลืออยู่หลังจากการหุงต้ม ในขั้นตอนสุดท้ายจึงนำผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ที่ผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วนที่เหมาะสม มาศึกษาคุณภาพการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับข้าวปกติที่ไม่เสริมธาตุอาหาร เพื่อศึกษาการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสโดยรวมของผู้บริโภค และเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นสามารถนำไปแข่งขันในตลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเทคนิคการใช้สารโพลิเมอร์เคลือบข้าวเสริมธาตุเหล็ก
2. ศึกษาปริมาณธาตุเหล็กที่เหลืออยู่หลังการหุงต้มข้าวที่ผ่านการเสริมธาตุเหล็ก
3. เพื่อประเมินคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของข้าว

ข้าว(Rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza sativa L. เป็นพืชเมล็ด ต้นข้าวมีลักษณะภายนอก เช่น ใบ กาบใบ ลำต้นและราก เช่นเดียวกับข้าว ข้าวเป็นพืชที่มีอายุสั้น โดยมีช่วงอายุระหว่าง 3 ถึง 7 เดือน ทั้งนี้ขึ้นกับอายุข้าว สภาพอากาศและภูมิประเทศที่ปลูก ข้าวไม่ใช่พืชน้ำ แต่เป็นพืชที่ต้องการน้ำในปริมาณที่มากในการเพาะปลูก ข้าวมีสายพันธ์ต่างๆมากกว่า 40,000 ชนิด ซึ่งแต่ละสายพันธ์จะมีรูปร่างและลักษณะเมื่อหุงแล้วแตกต่างกัน เช่น นุ่ม เหนียว กลิ่นหรือการเกาะติดกัน แต่อย่างไรก็ตาม ข้าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆตามชนิดของแป้งในเมล็ดข้าว คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้งอะไมโลส(amylose) ร้อยละ 15-30 ส่วนข้าวเหนียวประกอบด้วยอะไมโลเพกติน (amylopectin)เป็นส่วนใหญ่ และมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อยร้อยละประมาณ 5-7 เท่านั้น โดยแป้งชนิดอะไมโลเพกตินเป็นตัวทำให้เมล็ดข้าวมีความเหนียวเมื่อผ่านการหุงสุก (กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ,กรมวิทยาศาสตร์บริการ,2543)

<u>โครงสร้างของเมล็ดข้าว</u> (Julino,1980)

เมล็ดข้าวประกอบด้วยสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้ คือ

1. แกลบหรือเปลือกข้าว(Hull) มีลักษณะเป็นเยื่อไม้หยาบๆหุ้มล้อมรอบเมล็ดข้าวกล้อง ประกอบด้วยเปลือก 2 ฝามาประกบกันคนละข้างของเมล็ดข้าวแนวยาว แสดงดังภาพที่ 2.1
2. ข้าวกล้องหรือเมล็ดข้าวขาวที่ขัดเปลือกออกแล้ว ประกอบด้วย

2.1 เยื่อหุ้มผล(pericarp) ลักษณะเป็นเส้นใยประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ ชั้นนอกหรือ epicarp ชั้นกลางหรือmesocarp (hypocarp) และ ชั้นในหรือendocarp ในชั้นนี้ประกอบด้วยสารโปรตีน เซลลูโลสและรงควัตถุที่ควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรมของข้าว เช่น สีขาว แดงหรือม่วง เป็นต้น

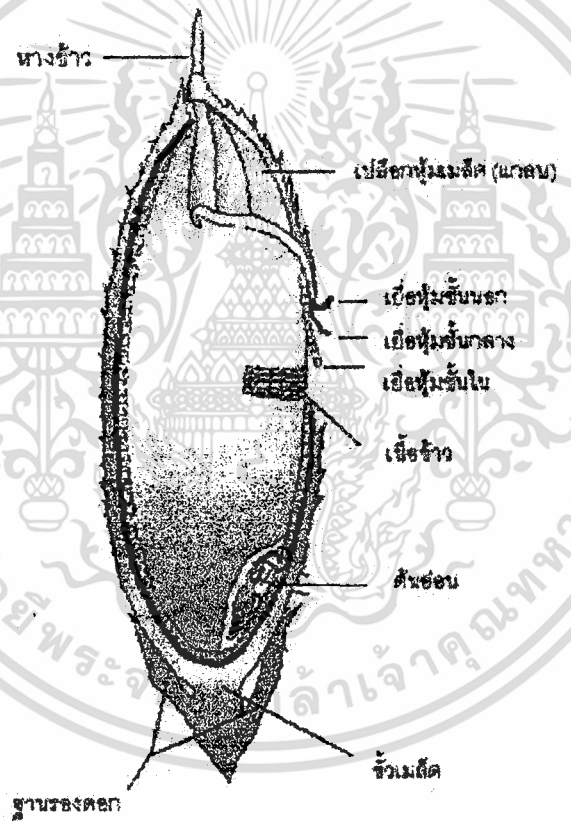
2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้นซึ่งมีผนังบาง เซลล์ของเนื้อเยื่อแต่ละชั้นเป็นรูปยาวเรียงตามขวางและเป็นสารพวกไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เยื่อแอรูโรน (aleurone layer) โดยอยู่ถัดไปจากเยื่อหุ้มเมล็ด และห่อหุ้มเอนโดสเปิร์ม (ส่วนที่เป็นแป้ง) และเอมบริโอ(คัพภะหรือเชื้อพันธ์) ความหนาของเมล็ดนี้แตกต่างตามพันธุ์ข้าว ข้าวเมล็ดสั้นจะมีเยื่อนี้หนากว่าข้าวเมล็ดยาว ชั้นนี้มีโปรตีนสูงนอกจากนี้ยังมีน้ำมัน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

2.4 เอมบริโอ(คัพภะ) เป็นส่วนที่จะเจริญไปเป็นต้นอ่อน มีโปรตีนและไขมันสูง

2.5 เอนโดสเปิร์ม คือส่วนของอาหารสะสมอยู่ในชั้นในสุดของเมล็ดข้าว ประกอบด้วยสตาร์ชของข้าวเป็นรูปหลายเหลี่ยม(polygonal) มีขนาดเล็กมาก 2-10 ไมครอน



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของข้าว

ที่มา : กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าว

ลักษณะทั่วไปของเมล็ดข้าว พบว่าข้าวเป็นพืชที่มีเปลือกหุ้มเมล็ด ที่เรียกว่าข้าวเปลือก โดยที่ส่วนเปลือกจะเรียกว่า แกลบ ส่วนในที่มีเนื้อหุ้มอยู่จะเรียกว่า เนื้อข้าวหรือข้าวสาร ดังนั้นก่อนที่จะมาเป็นข้าวสารได้จะต้องผ่านกรรมวิธีการแยกเปลือก ออกก่อนเรียกว่า กรรมวิธีการสีข้าว

ข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือ (brown rice) เป็นข้าวสารที่ผ่านกรรมวิธีการสีข้าวขั้นต้น คือการกระเทาะเอาเปลือกออก จึงยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวติดอยู่ สีผิวของเมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลปนแดง ข้าวชนิดนี้จึงยังคงมีคุณค่าทางอาหารสูง ข้าวขัดสีหรือข้าวขัดขาว (polished or milled rice) เป็นข้าวสารที่ผ่านกรรมวิธีการขัดสีหลายครั้ง ทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและจมูกข้าวหลุดออกไป เหลือเฉพาะเมล็ดข้าวสีขาว จึงด้อยคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือ คุณค่าทางโภชนาการของข้าวซ้อมมือและข้าวขาวองค์ประกอบที่สำคัญและมีอยู่มากในเมล็ดข้าวได้ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งสะสมอยู่ในรูปของเม็ดสตาร์ช ในส่วนของเอ็นโดสเปอร์ม รองลงมาได้แก่ โปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ ตามลำดับ (วุฒิชัย ,2535) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

<u>คาร์โบไฮเดรต</u> (วุฒิชัย, 2535)

คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนสำคัญของอาหาร เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย องค์ประกอบส่วนนี้ถูกสะสมอยู่ในรูปของสตาร์ชและน้ำตาล รวมทั้งเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโตแซน ซึ่งอยู่ในส่วนของเยื่อใย ในการขัดสีข้าวนั้นจะพบองค์ประกอบเหล่านี้มากใน ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำหยาบ และรำละเอียด โดยเฉพาะในข้าวสารจะมีส่วนที่เป็นสตาร์ชอยู่ถึงร้อยละ 90.2

องค์ประกอบที่เป็นน้ำตาล พบมากในส่วนที่เป็นคัภพะ ปริมาณร้อยละ 20.7 รองลงมาพบในส่วนของรำข้าว ร้อยละ 6.4 - 6.5

ส่วนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโตแซน ซึ่งอยู่ในรูปของเยื่อใย โดยเฉพาะในส่วนของแกลบ ที่ได้จากการขัดสีข้าวและในรำหยาบ

<u>โปรตีน</u>

โปรตีนเป็นตัวสำคัญในการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ช่วยในการผลิตเอนไซม์ ฮอร์โมน และเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย นอกจากนี้ยังช่วยให้ร่างกายทำงานได้ตามปกติ (http.//www.usarice.com /domestic/ recipes/nutrition/html.,2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนพบมากในส่วนที่เป็นเอมบริโอ แบ่งได้เป็น 4 ชนิดตามลักษณะการละลายในตัวทำละลาย คือ กลูติลิน อัลบูมิน กลอบูลิน โพลามิน โปรตีนที่พบในเมล็ดข้าวที่จำเป็นต่อร่างกายมีอยู่หลายชนิด โดยมีกรดอะมิโนลิวซีนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ วาลีนและไลซีนตามลำดับ (วุฒิชัย, 2535)

ไขมัน

ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน และช่วยในการดูดซึมวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ไขมันเป็นองค์ประกอบที่พบมากในเอมบริโอ หรือ คัภพะ รำหยาบ และรำละเอียด โดยที่ไขมันส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมัน ได้แก่ กรดพาลมิติด กรดโอเลอิด และกรดไลโนเลอิด (วุฒิชัย,2535)

วิตามิน

วิตามินมีส่วนสำคัญต่อร่างกาย ในการควบคุมเมตาบอลิซึมต่างๆ ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอในร่างกาย วิตามินพบมากในส่วนที่เป็นรำหยาบ รำละเอียด และเอมบริโอ ที่ได้จากการขัดสีข้าวเป็นแหล่งสำคัญของวิตามินบี1 วิตามินบี2และไนอาซิน (วุฒิชัย,2535)

วิตามินบี1 (ไทอามีน) เป็นส่วนหนึ่งของโคเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของกลูโคสเป็นพลังงาน มีหน้าที่บำรุงสมองและระบบประสาท ช่วยทำหน้าที่บำรุงรักษาระบบหัวใจ ไม่สะสมในร่างกาย

วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน) มีความจำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม บำรุงผิวและเนื้อเยื่อนัยน์ตา

ไนอาซิน เป็นตัวช่วยย่อยสลายกลูโคส เพื่อให้พลังงานจำเป็นต่อ ระบบผิวหนังและทำให้ระบบประสาททำงานได้เป็นปกติ

วิตามินอี เป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมันและเป็นสารช่วยป้องกันการหืนของวิตามินเอและกรดไขมันที่จำเป็น

แร่ธาตุ

แร่ธาตุเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในส่วนของแกลบ รองลงมาคือ รำหยาบ คัพภะ และรำละเอียด แร่ธาตุที่พบมากที่สุดได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม ซิลิคอนและแคลเซียม (วุฒิชัย, 2535)

ฟอสฟอรัส มีหน้าที่สำคัญในการสร้างกระดูกและฟัน และควบคุมกระบวนการเมตาลิซึม

โพแทสเซียม มีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ในเซลล์ และบำรุงรักษาระดับของเหลวในร่างกายให้มีความสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียม ช่วยรักษาระดับของเหลวในร่างกายและทำให้ระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำงานได้อย่างเป็นปกติ

แคลเซียม มีหน้าที่สำคัญในการสร้างกระดูกและฟันและทำให้ร่างกายทำงานได้อย่างปกติ

ธาตุเหล็ก มีหน้าที่เป็นตัวขนส่งออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการข้าวกล้องและข้าวขาว

รายการ		ปริมาณต่อ 100 กรัม	
		ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
ความชื้น	กรัม	11.2	10.2
โปรตีน (Nx5.95)	กรัม	7.4	6.6
ไขมัน	กรัม	2.4	0.8
กาก	กรัม	2.8	0.6
เถ้า	กรัม	1.3	0.4
คาร์โบไฮเดรต	กรัม	77.7	82.0
ไทอามีน	มิลลิกรัม	0.29	0.07
ไรโบฟลาวิน	มิลลิกรัม	0.04	0.02
ไนอาซีน	มิลลิกรัม	5.5	1.8
แคลเซียม	มิลลิกรัม	12	8
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	255	87
เหล็ก	มิลลิกรัม	1.2	1.0
โซเดียม	มิลลิกรัม	12	31
โพแทสเซียม	มิลลิกรัม	326	111
ทองแดง	มิลลิกรัม	0.10	0.10
สังกะสี	มิลลิกรัม	0.5	0.5
ค่าพลังงานความร้อน	กิโลแคลอรี	362	361

ที่มา :กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ,2543.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

มีปัจจัยดังนี้

1. **จากการขัดขาวข้าว เนื่องจากข้าวที่นิยมรับประทานส่วนใหญ่เป็นข้าวขัดขาวซึ่งทำให้มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไปมาก กระบวนการขัดสีเพื่อเอาเปลือกข้าวและจมูกข้าวซึ่งมีปริมาณวิตามินบีรวมอยู่ออกไป จากกระบวนการขัดสีข้าวทำให้ปริมาณของ ไทอามีน ไรโบฟลาวิน กรดนิโคตินิค กรดแพนโทเทนิค ไพริดอกซิน ไบโอติน และธาตุเหล็กลดลง (Mickus และLuh,1980)**

2. **จากการล้างข้าวและจากการหุงต้ม ปกติจะมีการล้างข้าวก่อนการหุงต้ม โดยการเปลี่ยนน้ำล้าง 2-3 ครั้งเพื่อกำจัดฝุ่น แมลง เปลือกและสิ่งเจือปนอื่น ปริมาณน้ำที่ล้างขึ้นกับสภาพการเก็บรักษาข้าวถ้าเก็บรักษาไม่ดีข้าวจะมีความสกปรกมาก ปริมาณการคงอยู่ของสารอาหารบนเมล็ดข้าวหลังการล้าง(%retention) ขึ้นกับระยะเวลาที่ล้าง ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำและความเร็วของการกวนข้าว**

จากการศึกษาผลจากการล้างและการหุงข้าวต่อปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่มีเหลือพบว่า 1/3 ของแร่ธาตุและเกือบครึ่งหนึ่งของปริมาณวิตามินที่สามารถละลายได้ในน้ำ ได้มีการสูญเสียวิตามินบี1 วิตามินบี2 และไนอาซินไปเนื่องจากการล้างและการหุงข้าวโดยใช้น้ำปริมาณมากเกินไป และพบว่าวิตามินจะสูญเสียน้อยที่สุดเมื่อใช้น้ำในปริมาณที่พอเหมาะ ที่จะทำให้วิตามินและแร่ธาตุทั้งหมดถูกดูดซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว (Malakar and Barnerjee,1959)

จากการศึกษาวิธีการหุงข้าวในหลายๆประเทศและทำการบันทึกปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างและหุงข้าว พบว่าปริมาณน้ำมีผลต่อปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่เหลืออยู่หลังจากการหุงต้ม (Kik and Willium,1945)

3. **จากการเก็บรักษา Kik (1945) ทดลองนำข้าวขัดขาวที่อุณหภูมิต่ำนาน 2 และ6 เดือนพบว่าการสูญเสียวิตามินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และที่ 45 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 3 พบว่ามีการสูญเสียไทอามีนร้อยละ 3 แต่ไม่มีการสูญเสียไนอาซีน (Furtur และคณะ ,1946) พบว่าข้าวพรีมิกซ์และข้าวเสริมวิตามินที่เก็บไว้ในกล่อง กระป๋อง และแก้วที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุเพื่อศึกษาอายุการเก็บด้วยวิธีของ Lead-Lease เก็บโดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 45 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 21 วัน และที่อุณหภูมิที่ 24±4 องศาเซลเซียส เก็บได้นานถึง 12 เดือน โดยระดับวิตามินไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว (Rice enrichment and fortification)

Enrichment ความหมายโดยทั่วไปแล้วมาจากการเสริมสร้างวิตามินและแร่ธาตุขึ้นมาใหม่หลังจากที่สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิตหรือแปรรูป ส่วนความหมายของ Fortiification คือการเติมวิตามินและแร่ธาตุลงไปในอาหาร ให้มีปริมาณสูงขึ้นกว่าปริมาณที่มีอยู่ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตหรือแปรรูป (Hoffpauer , 1992)

Bramall (1986) กล่าวว่า วิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขัดขาว (ข้าวสาร) อาจทำได้ 3 วิธี คือ

1. โดยการขัดสีและขัดขาวชั้นรำออกไปต่ำ (Undermilling) เพื่อคุณค่าทางโภชนาการที่มีอยู่ในชั้นรำข้าวออกไปสูง

2. โดยการทำเป็นข้าวนึ่ง (parboiled rice) โดยข้าวนึ่ง คือข้าวที่ได้จากการสีของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำและอบด้วยความร้อนแล้วทำให้แห้งก่อนทำการสี ถ้าสีเพียงแค่การเอาเปลือกออกเท่านั้นเรียกว่า ข้าวนึ่งกล้อง (Cargo parboiled rice) แต่ถ้าสีแล้วขัดเอารำออกเรียกว่า ข้าวนึ่ง (parboiled rice) มีวิธีการผลิตดังนี้ แช่เมล็ดข้าวเปลือกในน้ำร้อน (60-90°C) ในเวลาที่เหมาะสม (อุณหภูมิสูงใช้เวลาสั้น ถ้าอุณหภูมิต่ำใช้เวลายาว) ทั้งนี้เพื่อให้ข้าวเปลือกดูดความชื้นเข้าไปภายในได้ประมาณ 30-50% จากนั้นจึงนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ เสร็จแล้วจึงนำไปอบแห้งด้วยลมร้อน หรือแสงแดด ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สามารถผลิตข้าวนึ่งได้เร็วกว่าเดิม (อรรควุฒิ, 2526)

3. โดยการนำวิตามินและเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในข้าวขัดขาว(ข้าวสาร) เรียกว่า ข้าวพรีมิกซ์

ทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากมีไขมันมากในชั้นรำข้าวที่ขัดสีออกไปต่ำมีปริมาณไขมันอยู่สูง สามารถทำให้เกิดออกซิเดชั่นทำให้เกิดกลิ่นหืน และการผลิตข้าวนึ่งต้องใช้ต้นทุนสูงและผู้บริโภคไม่ยอมรับทางด้านสีและกลิ่น (Grist, 1975) แต่สำหรับวิธีที่สามเป็นการผลิตข้าวพรีมิกซ์ หรือเพื่อผลิตข้าวขัดขาวที่มีความเข้มข้นของสารอาหารที่ต้องการสูงมาก แล้วนำมาปนผสมกับข้าวปกติที่ไม่ได้เสริมวิตามินและเกลือแร่ในสัดส่วนพอเหมาะใกล้เคียงกับปริมาณในข้าวกล้องให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Bramall, 1986) ข้าวเสริมวิตามินและแร่ธาตุที่ได้จะมีปริมาณวิตามินและแร่ธาตุสูงกว่า ข้าวสาร ข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง ข้าวสาร ข้าวพรีมิกซ์และข้าวเสริมวิตามินและแร่ธาตุ (หน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

ผลิตภัณฑ์	ไทอามีน	ไนอาซิน	เหล็ก
ข้าวกล้อง	0.2-0.51	4.0-6.4	1.5-2.5
ข้าวสาร	0.04-0.11	1.1-2.0	0.66-0.88
ข้าวพรีมิกซ์	70	1000	400
ข้าวเสริมวิตามินและแร่ธาตุ	0.35	5.0	2.0

ที่มา: Bramall (1986)

2.5 กรรมวิธีการผลิตข้าวเสริมวิตามินและแร่ธาตุ

มี 3 วิธีดังนี้ คือ

1. การสร้างเมล็ดข้าวเทียม Brook(1972) ทำโดยใช้แป้งสาลีเป็นตัวจับสารอาหาร และให้อยู่บนเมล็ดข้าว โดยทั่วไปจะผสมแป้งสาลีกับแป้งข้าวเจ้า แล้วเติมสารอาหารลงไป จากนั้นนำมานวดให้เป็นโด (Dough) แล้วผ่านเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ที่ใช้ทำมะกะโรนีแล้วตัดเป็นชิ้นเล็กเท่ากับเมล็ดข้าว จากนั้นนำมาตากแห้งแล้วนำมาผสมกับข้าวสารปกติซึ่งเมื่อนำข้าวนี้ไปหุงต้มด้วยความร้อนและน้ำจะทำให้สารอาหารต่างๆ กระจายตัวอยู่ในข้าว ก่อนการหุงต้มจะมีการล้างทำความสะอาดข้าวเพื่อกำจัดฝุ่นและแมลง ทำให้สารอาหารบางอย่างสูญเสียวิตามินและเกลือแร่ไปจากการล้างข้าว และสารนี้สามารถสลายไป เมื่อถูกความร้อนขณะหุงต้ม ข้อเสียเปรียบของวิธีนี้คือ ผู้บริโภคยอมรับน้อยมาก เนื่องจากโปรตีนในแป้งสาลีเกิดการเป็นกลูเตน ทำให้ข้าวมีลักษณะเป็นที่ไม่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเคลือบสารเคมีที่มีคุณค่าทางอาหารบนเมล็ดข้าวสาร Cort และคณะ,1976 รายงานว่า การผสมสารอาหารที่เป็นผงละเอียดโดยตรงลงในข้าวสารเป็นผลดี เนื่องจากการผสมจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งถุง และมักมีการสูญเสียไปก่อนการล้างข้าวก่อนหุงต้ม ดังนั้นจึงมีเทคนิคการเคลือบสารอาหารลงบนผิวเมล็ดข้าวและเคลือบสารป้องกันการสูญเสียวิตามินลงไปบนเมล็ดข้าวที่เสริมวิตามินแล้วอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งมีวิธีดังนี้คือ

1.1 Feiger Method เป็นวิธีการผลิตโดยผสมเมล็ดข้าวสารกับสารละลายของวิตามินบี1 ไนอาซิน และแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ดี จากนั้นนำไปทำให้แห้ง แล้วเคลือบด้วย Thincolloidian Membrane เพื่อป้องกันการสูญเสียเนื่องจากการล้างข้าวก่อนหุงต้ม ฟิล์มนี้จะถูกทำลายด้วยความร้อนขณะหุงต้ม ข้าวที่เสริมวิตามินและแร่ธาตุนี้จะนำมาผสมกับข้าวสารปกติ จากนั้นบรรจุและจำหน่ายแล้วพบว่า วิธีการผสมวิตามินบี 1 ร้อยละ 13.5 ไนอาซินร้อยละ 49.1 เมื่อหุงต้มจะมีการสูญเสียวิตามินบี1 ร้อยละ 6.4 ไนอาซินร้อยละ14.1

1.2 Hoffman – La Roche Process กระบวนการนี้ได้รับความเห็นชอบจาก U.S.FDA .ซึ่งทำการทดลองสำเร็จที่ Bataan Peninsula ในฟิลิปปินส์เมื่อปี ค.ศ.1948-50 ซึ่งข้าวเสริมวิตามินนี้ช่วยลดสาเหตุการตายจากโรคเหน็บชาลงได้มาก เป็นกระบวนการที่เสริมวิตามิน และแร่ธาตุลงบนเมล็ดข้าวสารที่ขัดสีจนขาว โดยเคลือบวิตามินบี1 วิตามินบี3 และฟอสเฟต ส่วนผสมดังกล่าวเรียกว่าข้าวพรีมิกซ์ โดยทั่วไปแล้ววิตามินบี 2 ไม่นิยมใช้ในการเคลือบข้าวเพราะทำให้ข้าวมีสีเหลือง และผู้บริโภคไม่ยอมรับ จากนั้นนำข้าวพรีมิกซ์มาผสมกับข้าวสารปกติ ในอัตราส่วน 1:200 โดยน้ำหนัก จะได้ข้าวเสริมวิตามินและแร่ธาตุที่มีคุณค่าทางอาหารเท่ากับหรือมากกว่าข้าวกล้องเล็กน้อย กระบวนการนี้สำหรับผลิตพรีมิกซ์ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงแม้ว่าจะผ่านการล้างข้าว ก่อนการหุงต้มและสามารถผลิตได้เร็ว

1.3 Merck Premix Process เป็นวิธีที่ผลิตได้เร็ว คิดค้นโดยบริษัท Merck จากการเคลือบวิธีนี้ไม่ดีเท่าวิธี Hoffman- La Roche

1.4 วิธีปรับปรุงจาก Hoffman-La Roche โดยจะใช้วิธีกระจายสารเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตในสารละลายกรดเจือจางก่อน แล้วจึงฉีดพ่นลงบนข้าวในถังผสมเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนสตาร์ชที่ผิวเป็นน้ำตาลซูโครส บนผิวเมล็ดข้าว ในช่วงเวลาที่เหมาะสม และดูดซับสารเข้าไปในเมล็ดข้าว และยึดจับเหล็กไว้ภายใต้ชั้นของน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยของกรด จากนั้นนำมาทำให้แห้งแล้วผสมกับข้าวปกติด้วยอัตราส่วน 1:200 วิธีนี้มีข้อดีคือ ไม่ต้องใช้ตัวทำละลายที่ไวไฟและประหยัดสารเคมี แต่สารที่เคลือบไว้จะหลุดง่ายก่อนการหุงต้ม

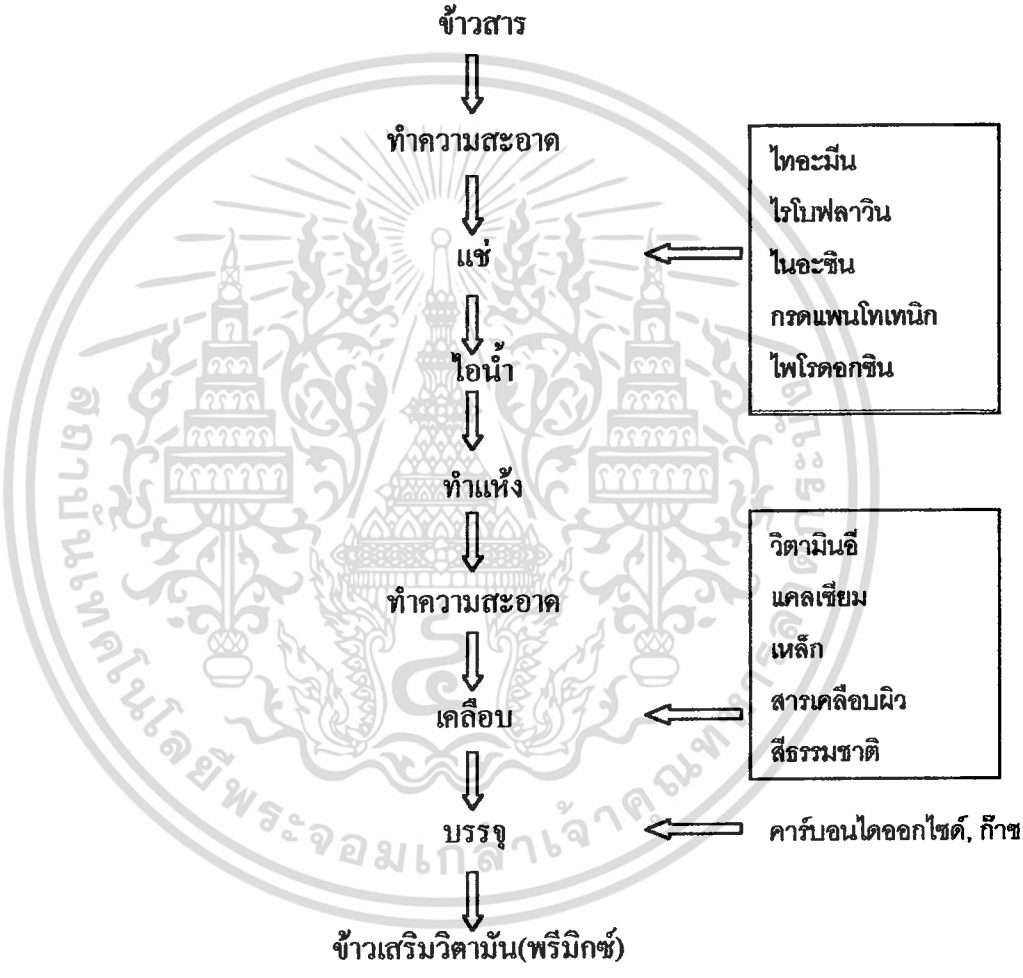
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bramall 1986 เสนอแนะว่า การใช้กรดซัลฟิวริกในวิธีของ Hoffman-La Roche Process จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นหรือไฮเดรชั่นอย่างรวดเร็วกับเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟต ได้เป็นเฟอร์ริกไพโรซัลเฟต ซึ่งมีสีน้ำตาลบนเมล็ดข้าว จึงควรใช้กรดซัลฟิวริกให้น้อยที่สุด และควรเปลี่ยนเป็นกรดอื่นที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับเกลือของเหล็ก เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ขณะการเก็บรักษา ในสภาวะอากาศร้อนชื้นนาน 12 เดือน ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิห้องข้าวเสริมวิตามินจากวิธีปรับปรุงนี้ไม่มีการเปลี่ยนสีและคุณค่าทางอาหารที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ

2. การแช่ข้าว (Soaking method) เป็นกระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินแบบญี่ปุ่น ซึ่งพัฒนาเทคนิคต่างๆ ในการผลิตพรีมิกซ์ ได้พยายามใช้อนุพันธ์ของวิตามินบี 1 ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ แต่มีคุณสมบัติของ Biological activity คล้ายกับไทอามีนไฮโดรคลอไรด์ ในจำนวนอนุพันธ์ต่างๆของไทอามีน Kawasaki ได้รวบรวมข้อมูลในปี ค.ศ. 1961พบว่า เบนโซอีนไทอามีนไดซัลไฟต์ เป็นสารที่มีประโยชน์และเหมาะสมในการเคลือบลงบนผิวของเมล็ดข้าวสาร โดยละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่นกรดแอซิติคเจือจาง (Misaki และ Yasumatsu,1985)

Mitsuda (1962) รายงานว่าอนุพันธ์ของไทอามีนหลายชนิดที่นิยมใช้คือ ไดเบนโซอิลไทอามีน (Dibenzoylthiamine, DBT) ไทอามีนไดเซททิลซัลเฟท และไทอามีนแนพทาลีน-2-6-ไดซัลโฟนิคแอซิด โดยละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมเช่น กรดแอซิติค จากรายงานการค้นคว้าการผลิตข้าวเสริมวิตามินในประเทศญี่ปุ่นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950-1952 เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของข้าวสารที่ขัดสีจนขาวโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายของไทอามีนในสภาวะของกรด และพัฒนาเทคนิค ในการแช่ข้าวในกรด (Acid soaking process) แบบดั้งเดิมจะแช่ในกรดอะซิติดร้อยละ1 กับไทอามีน ไฮโดรคลอไรด์ทิ้งไว้นานระยะเวลาหนึ่ง รินน้ำทิ้งไปแล้วนำข้าวมาอบไอน้ำเพื่อให้ขาว เกิดเจลาติไนซ์บางส่วน แล้วอบข้าวให้แห้ง ข้าวที่ได้เรียกว่า พรีมิกซ์ (Premix) เมื่อนำไปหุงต้มก็จะนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน1:200 โดยน้ำหนัก (Mitsuda,1962) พัฒนาเทคนิคDouble Soaking Method ซึ่งจะแช่กรดอะมิโนร่วมด้วยสองชนิดคือ ไลซีนและทรีโอนีน ในสารละลายกรดแอซีติคร้อยละหนึ่ง ซึ่งจะได้เป็นข้าวเสริมวิตามินและข้าวเสริมโปรตีน ตามแผนผังในภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 การผลิตข้าวเสริมวิตามิน "Shingen"(Premix)

ที่มา : Misaki และ Yasumatsu (1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันการผลิตข้าวเสริมวิตามินของญี่ปุ่นจะเสริมคุณค่าทางอาหาร 8 คือไทอามีน ไรโบฟลาวิน ไนอาซิน กรดแพนโทเทนิค ไพริดอกซิน วิตามินอี แคลเซียมและธาตุเหล็ก ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท Takeda chemical industries Ltd. ใช้ชื่อทางการค้าว่า "Shingen" มีคุณค่าทางอาหาร ใกล้เคียงกับข้าวกล้อง เมื่อนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1:200 แล้วมีขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 2 แบ่งเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนในการแช่ในสารละลายกรดและขั้นตอนการเคลือบ จากนั้นนำมาอบไอน้ำเพื่อลดการสูญเสียวิตามิน แคลเซียม และเหล็ก วิธีนี้พบว่าสูญเสียสารอาหารตอนล้างข้าวก่อนการหุงต้มร้อยละ 10 มีการบรรจุถุงด้วยอลูมิเนียมลามิเนตและอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินอีและการเก็บรักษา

2.6 ธาตุเหล็ก

ธาตุเหล็กพบมากในอาหารประเภท ธัญพืช พืชตระกูลถั่ว เนื้อสัตว์ เป็นส่วนประกอบในดินและผลิตภัณฑ์เสริมแร่ธาตุ ธาตุเหล็กเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ถ้าหากร่างกายได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอจะทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ระบบภูมิคุ้มกันทำงานได้ไม่สมบูรณ์ ลดประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย และทำให้การเจริญเติบโตในเด็กไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าหากร่างกายได้รับปริมาณธาตุเหล็กเกินความจำเป็นอาจทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งและโรคหัวใจ (Fennema, 1996)

ปริมาณธาตุเหล็กที่อยู่ในร่างกายจะอยู่ในรูปของฮีโมโกลบิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยสารประกอบของเหล็ก ฮีม เชื่อมติดอยู่กับโปรตีนโกลบูลิน ฮีโมโกลบินจะทำหน้าที่เป็นตัวนำออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ เนื้อเยื่อ ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้นในเซลล์ ธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด ที่ใช้ในการย่อยสลายกลูโคสและกรดไขมันให้เป็นพลังงาน(http://www.usarice.com /domestic /recipes/nutrition.html,2000)

ธาตุเหล็กที่อยู่ในรูป Fe^{+2} และ Fe^{+3} เป็นตัวเร่งให้เกิดการหืนในอาหาร และเป็นตัวที่ทำให้อาหารเปลี่ยนสี ยกตัวอย่างสีของเนื้อสดขึ้นอยู่กับประจุของธาตุเหล็กในฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน ถ้าธาตุเหล็กอยู่ในรูป Fe^{+2} จะทำให้เนื้อสดเป็นสีแดง แต่หากธาตุเหล็กที่มีอยู่ในรูป Fe^{+3} จะทำให้เนื้อสดมีสีน้ำตาล นอกจากนี้ธาตุเหล็กยังทำหน้าที่ร่วมกับเอนไซม์ต่างๆดังนี้คือ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) เอนไซม์ไซโตโครม(Cytochromes) เอนไซม์ไรโบนิวคลีโอไทด์รีดักเทส (Ribonucleotide reductase) เป็นต้น(Fennama,1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบปริมาณธาตุเหล็กที่มีในข้าวกล้องและข้าวขาวที่มีความชื้น 12 % พบว่ามีปริมาณธาตุเหล็ก 1.6 มิลลิกรัมและ 0.8 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ (Luh,1980)

จากการเปรียบเทียบปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้องมีปริมาณธาตุเหล็ก 0.7-4.6 มิลลิกรัมและข้าวขาวมีปริมาณธาตุเหล็ก 0.2-2.7 มิลลิกรัม (Juliano,1980)

ธาตุเหล็กสามารถแบ่งได้ตามความสามารถในการละลายได้เป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.3

กลุ่มที่ 1 สามารถละลายได้ง่ายในน้ำ

กลุ่มที่ 2 สามารถละลายในน้ำได้เล็กน้อย และลายได้ในกรดเจือจาง

กลุ่มที่ 3 ไม่สามารถในน้ำแต่สามสารถละลายได้ในกรดเจือจาง

กลุ่มที่ 4 เป็นสารประกอบProtected compounds

จากตารางที่ 2.3 ได้ให้ค่าแนวโน้มความสามารถในการนำธาตุเหล็กไปใช้ในร่างกาย ของหนูและคน และยังได้ให้ค่าเปรียบเทียบราคาของธาตุเหล็กแต่ละชนิดไว้ โดยทั่วไปแล้วธาตุเหล็กในกลุ่มแรกจะมีความสามารถในการนำไปใช้ในร่างกายได้สูงเท่ากับกลุ่มที่ 3 ส่วนกลุ่มที่ 4 มีความสามารถในการนำไปใช้ในร่างกายสูงที่สุด แต่ธาตุเหล็กเหล่านี้สามารถทำให้สีและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนแปลงไปไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการเลือกชนิดธาตุเหล็กที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหารจะต้องพิจารณาจากความสามารถในการดูดซึมธาตุเหล็กในร่างกายได้สูงและจะต้องไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่ออาหารในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (Hurrell,1997)

ความสามารถในการนำไปใช้ได้ของธาตุเหล็กและการดูดซึมธาตุเหล็กภายในร่างกายขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของธาตุเหล็กในน้ำย่อย ธาตุเหล็กในกลุ่มที่ 1 เช่นเฟอร์รัสซัลเฟตจะสามารถละลายได้ทันทีในน้ำย่อยในขณะที่ธาตุเหล็กในกลุ่มที่ 3 เช่น Elemental iron ไม่สามารถละลายได้ทันทีในน้ำ นอกจากนี้การดูดซึมธาตุเหล็กยังขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวส่งเสริมการดูดซึมธาตุเหล็กที่เรียกว่า Enhancing และปริมาณของตัวยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็ก ที่เรียกว่า Inhibitory ที่มีอยู่แล้วในอาหาร และยังขึ้นอยู่กับสถานะของธาตุเหล็กที่ใช้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น ไฟเตทและโพลีฟีนอลจะเป็นตัวยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็ก ในขณะที่วิตามินซีจะช่วยการดูดซึมธาตุเหล็กให้ดีขึ้น (Hurrell,1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงกลุ่มของเหล็กที่แบ่งตามความสามารถในการละลาย 4 กลุ่ม

	Fe content (%)	Average relative bioavailability		Relative Cost
		Rat	Man	
Free water soluble				
Ferrous sulfate.$7H_2O$	20	100	100	1.0
Dried ferrous sulfate	33	100	100	0.7
Ferrous gluconate	12	97	89	5.1
Ferrous lactate	19	-	106	4.1
Ferric ammonium citrate	18	107	-	2.1
Poorly water soluble/soluble in dilute acid				
Ferrous fumarate	33	95	100	1.3
Ferrous succinate	35	119	92	4.1
Ferric saccharate	10	92	74	5.2
Water- insoluble/ poorly soluble in dilute acid				
Ferric orthophosphate	28	6-46	25-32	4.1
Ferric ammonium orthophodphate	19	-	30-60	-
Ferric pyrophosphate	25	45-58	21-74	2.3
Element Fe powder : electrolyte	98	44-48	5-100	0.5
carbonyl	98	39-66	5-20	1.0
reduced	97	24-54	13-148	0.2
Protected compounds				
NaFeEDTA	14	-	28-415	6.0
Hemoglobin	0.34	-	100-760	-

ที่มา : Hurrell (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะของธาตุเหล็กและองค์ประกอบที่มีในอาหารมีผลต่อการดูดซึมธาตุเหล็ก ดังนั้นการดูดซึมธาตุเหล็กจึงมีค่าแตกต่างกันไปโดยมีตั้งแต่ 1%-100% ด้วยเหตุนี้เองเมื่อจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างในการดูดซึมและความสามารถในการนำไปใช้ในร่างกายของธาตุเหล็กในกลุ่มต่างๆ จึงกำหนดให้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวฐานในการเปรียบเทียบโดยมีค่าการนำไปใช้ในร่างกาย (Relative bioavailability,RBV) มีค่าเป็น 100ทั้งในหนูทดลอง และมนุษย์ การศึกษาความสามารถในการนำไปใช้ในร่างกายดูจากการทดสอบหาปริมาณฮีโมโกลบินในสัตว์ทดลองเช่นหนู และอีกวิธีหนึ่งคือวิธีการหาปริมาณการซึมผ่านของธาตุเหล็กผ่านเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยงขึ้นมาเลียนแบบเนื้อเยื่อในร่างกายมนุษย์ (In vitro test)เป็นวิธีที่ทำให้สามารถทดสอบได้ว่าธาตุเหล็กชนิดใดที่ร่างกายดูดซึมได้ดี (Hurrell,1997)

2.7 ปัญหาทางด้านประสาทสัมผัส (Hurrell ,1997)

การไม่ยอมรับทางด้านสีและกลิ่นของอาหารเมื่อเติมธาตุเหล็กเป็นปัญหาที่สำคัญ ชนิดของธาตุเหล็กที่ใช้อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงในอาหารเช่นเมื่อเติมน้ำตาลเสริมธาตุเหล็กในชาอาจทำให้สีของชาเปลี่ยนไป ธาตุเหล็กหลายชนิดที่ไม่สามารถเติมในอาหารที่มีสีสว่างเช่นสีขาวได้ นอกจากนี้ธาตุเหล็กที่สามารถละลายได้ดีจะไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหารซึ่งส่งผลให้อาหารนั้นมีสีที่ผิดไปจากเดิม เคยมีการพบว่าในอาหารธัญพืชของเด็กทารกที่เสริมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต สีของอาหารจะเปลี่ยนเป็นสีเทาหรือสีเขียวเข้ม ซึ่งเป็นผลจากชนิดธาตุเหล็กที่ใช้และอาจมาจากสารประกอบฟีนอลิคที่มีในอาหาร จากรายงานพบว่า เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟต เฟอร์รัสแลคเตท เฟอร์รัสกลูโคเนทและเฟอร์ริกแอมโมเนียมซิเตรทลงในนมรสช็อกโกแลตจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป การเติมเฟอร์รัสซัลเฟตหรือธาตุเหล็กชนิดอื่นที่สามารถละลายได้ดีลงในเกลือ จะทำให้เกลือสีขาวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาล

กลิ่นที่ไม่ดี (Off-flavor) เป็นผลมาจากการละลายกลิ่นเหล็กในตัวธาตุเหล็กนั้นเองโดยเฉพาะในเครื่องดื่ม และผลของธาตุเหล็กต่อการเกิดการหืนในระหว่างการเก็บรักษาธัญพืชเสริมธาตุเหล็กก็เป็นปัญหาสำคัญ เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในไขมันและลดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ วิธีการวัดประสิทธิภาพของธาตุเหล็กในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันในธัญพืช โดยวัดปริมาณเพนเทน(Pentane) ในช่องว่างของอาหารกระป๋องที่บรรจุอาหารเสริมธาตุเหล็กอยู่ภายใน เพนเทนมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ จะทำหน้าที่เป็นตัวสลายกรดไลโนเลอิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96858

และผลิตกลิ่นที่ไม่ดีขึ้น จากการศึกษาพบว่าเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์กลูโคเนทจะผลิตเพนเทนได้อย่างรวดเร็วหลังจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมธาตุเหล็กไว้เป็นเวลา 4-6 สัปดาห์ เฟอร์ริกไพโรฟอสเฟทและธาตุเหล็กในรูป Reduced elemental iron จะผลิตเพนเทนในปริมาณน้อยกว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลา 7 สัปดาห์

2.8 การผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็ก

การผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็กเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ธาตุเหล็กที่นิยมนำมาใช้คือ เฟอร์ริกออร์โธฟอสเฟต (Ferric orthophosphate) ซึ่งจะนำมาใช้เคลือบภายนอกเมล็ดข้าวแล้วเคลือบทับด้วยเอทิลเซลลูโลส (Ethyl cellulose) เพื่อให้ธาตุเหล็กที่เสริมเข้าไปติดแน่นอยู่กับเม็ดข้าว ข้าวที่ได้เรียกว่า พรีมิกซ์ (Premix) นำมาปริมาณเพียงเล็กน้อยเพื่อผสมกับข้าวปกติ ให้ได้ปริมาณธาตุเหล็กตามที่ร่างกายต้องการตามมาตรฐานของ Thai-RDI ธาตุเหล็กที่เสริมเข้าไปนั้นจะละลายรวมกับน้ำที่ใช้หุง เพื่อรักษาปริมาณธาตุเหล็กจากการเสริมลงในข้าว ควรใช้น้ำในปริมาณที่พอเหมาะ วิธีการหุงข้าวก็ควรแนะนำให้หุงข้าวโดยวิธีไม่เช็ดน้ำ น้ำที่ใช้ในการหุงจะได้ซึมแพร่เข้าไปในข้าวได้ทั้งหมด (http://foodsci.orst.edu/c/sk6.html , 2000)

วิธีการผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็ก ด้วยการนำเมล็ดข้าวมาเคลือบด้วยธาตุเหล็กและสารอาหารชนิดอื่นที่ผสมรวมกันแล้วนำข้าวนี้มาผสมกับข้าวปกติในอัตราส่วน 1:99 หรือ 1:199 เช่นเดียวกับอาหารเสริมวิตามินและเกลือแร่ชนิดอื่นๆ คือข้าวมีคุณสมบัติที่ทำให้ยากต่อการเสริมธาตุเหล็ก เพราะปัญหาที่มักเกิดขึ้นก็คือ เม็ดข้าวเปลี่ยนสีไปจากเดิม ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ธาตุเหล็กที่อยู่ในรูป Inert form เช่น เฟอร์ริกออร์โธฟอสเฟต หรือเฟอร์ริกฟอสเฟต

จุดมุ่งหมายของการศึกษาการเคลือบข้าวด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต และใช้ ทัลคัม(Talcum) เพื่อปกปิดสีที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากธาตุเหล็ก แนวทางที่หนึ่งที่เป็นไปได้ในการทำให้ธาตุเหล็กให้ติดกับเมล็ดข้าวคือการเคลือบด้วยสาร โพลิเมอร์ที่บริโภคได้ ซึ่งจะทำให้ธาตุเหล็กยังคงติดอยู่กับเมล็ดข้าวแม้ในขณะล้างและหุงข้าวและสามารถย่อยได้ในทันทีเมื่อเข้าสู่กระบวนการย่อยอาหาร (Peli และคณะ , 1981) อย่างไรก็ตาม มีข้อสันนิษฐานว่าข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่ ควรมีวิธีการเสริมที่ทำให้เกิดการสูญเสียไปในระหว่างการซาวข้าวน้อยที่สุด แต่มีการรับประกันว่าธาตุเหล็กที่เสริมเข้าไปนั้นจะถูกปล่อยออกมาในระหว่างการหุงข้าว โดยน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวจะมีธาตุเหล็กออกมาละลายอยู่ด้วย ธาตุเหล็กเหล่านี้จะถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวอีกครั้งเพื่อให้มีการสูญเสียน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เรียกว่าพรีมิกซ์จากเฟอร์รัสซัลเฟตแล้วนำมาผสมกับข้าวปกติในอัตราส่วน1:99 จะได้ธาตุเหล็กในปริมาณ 8-10 มิลลิกรัมต่อวัน(3 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม) เม็ดข้าวเสริมธาตุเหล็กจะถูกเคลือบด้วยทัลคัมเพื่อให้มีสีขาว ซึ่งตรวจพบได้น้อยมากเมื่อผสมกับข้าวปกติแล้ว

จากการศึกษาเบื้องต้นในประเทศฟิลิปปินส์ การผสมข้าวพรีมิกซ์จากการเสริมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตกับข้าวปกติจะกระทำในอัตราส่วน 1:200 เป็นอัตราส่วนที่ถูกกำหนดเพื่อให้ได้ปริมาณธาตุเหล็กตามมาตรฐานของ RDA เท่ากับ 18 มิลลิกรัมต่อข้าว 300 กรัม ข้าวพรีมิกซ์ที่ได้นี้เตรียมจากการนำแอนไฮดรัสเฟอร์รัสซัลเฟต มาละลายในไอโซโพรพิลดลอโรฟอร์ม แล้วนำมาผสมกับข้าวสารปกติในเครื่องมือ Rotary pan จนกระทั่งเมล็ดข้าวถูกเคลือบได้อย่างสม่ำเสมอ ข้าวพรีมิกซ์จะถูนำมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเก็บรักษาในถุงพลาสติกโพลีเอทิลลีน แม้ว่าจะมีการสูญเสียธาตุเหล็กที่เสริมเข้าไปประมาณ 10 % ในระหว่างการซาวข้าว แต่ยังพบว่าธาตุเหล็กจะยังสูญเสียต่อไปอีกประมาณ 25 % หลังการเก็บ 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง และจะสูญเสียมากกว่า 50% หลังการเก็บ 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 50^{o}C พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทั้งสีและกลิ่น ซึ่งเป็นข้อสังเกตุว่าปัญหาทางเทคนิคที่สำคัญที่สุดในการผลิตข้าวเสริมที่ธาตุเหล็ก คือการเลือกหาชนิดของธาตุเหล็กที่เหมาะสมซึ่งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็ก

Ferric pyrophosphate (Iron pyrophosphate) มีสูตรโครงสร้าง $Fe_4(P_2O_7)_3 \cdot xH_2O$ มีลักษณะเป็นผงแป้งละเอียดสีขาวเหลือง ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในกรดเจือจาง ปริมาณธาตุเหล็กอย่างน้อย 24 %ไม่สามารถทำให้ธาตุเหล็กสามารถละลายได้ใช้เป็นแหล่งโภชนาการของธาตุเหล็ก เป็น Catalyst เป็นสารที่ทำให้เกิดสี เป็นตัวช่วยลดการเกิดการลุกไหม้ของไฟ (Lewis, 1997)

เฟอร์ริกไพโรฟอสเฟทและเฟอร์รัสฟิวมาเรต มักไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส แต่เฟอร์รัสฟิวมาเรตจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปเล็กน้อยเมื่อผลิตภัณฑ์นั้นถูกนำมาปรุงด้วยน้ำร้อน ธาตุเหล็กในกลุ่มที่ 4 เป็นธาตุเหล็กที่มาจาก คาร์บอนิล อิเล็คโตรไลติค และเทคนิครีดักชั่น นิยมนำมาใช้ในการเสริมอาหารมากที่สุดเนื่องจากไม่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัสแต่ข้อเสียของธาตุเหล็กนี้คือมีค่าการดูดซึมน้อย ทำให้นำไปใช้ในร่างกายได้น้อยเนื่องจากไม่สามารถสามารถละลายได้ทันทีในน้ำย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 Thai-RDI (กรมอนามัย, 2541)

Thai Recommended Daily Intakes ,Thai –RDI หมายถึงปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป เป็นบัญชีสารอาหารที่จัดทำขึ้นโดยกระทรวงสาธารณสุข เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการเป็นค่าอ้างอิงสำหรับการคำนวณในการแสดงคุณค่าทางโภชนาการบนฉลากอาหาร อย่างไรก็ตามค่า Thai –RDI ซึ่งเป็นค่ากลางสำหรับคนไทยทั่วไปนั้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรอาหาร ใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการกำหนดนโยบายทางโภชนาการกว้างๆสำหรับบุคคลทั่วไป เช่นการเติมสารอาหารหรือการประยุกต์ใช้อื่นๆได้ตามความเหมาะสมโดยคำนึงถึงด้วยว่าข้อกำหนดนี้ใช้สำหรับผู้ที่มีสุขภาพปกติ มิใช่ผู้ป่วย เด็กทารก หญิงมีครรภ์ หรือกลุ่มอื่นๆ ซึ่งมีความต้องการทางด้านโภชนาการต่างไปจากกลุ่มบุคคลปกติ นอกจากนั้นการที่ได้รับสารอาหารต่างๆ ตามที่กำหนดนี้ควรได้รับจากการบริโภคอาหารหลัก 5 หมู่ เป็นสำคัญ เนื่องจากยังมีสารอาหารอื่นๆอีกเป็นจำนวนมาก ในอาหารหลักของเราที่ยังไม่ได้รับการแยกออก และเป็นที่รู้จักเป็นตัวเดี่ยวๆแต่ก็มีความสำคัญและจำเป็นต่อระบบการทำงานตามปกติของร่างกาย

สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป(Thai-RDI) จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการแสดงคุณค่าทางโภชนาการบนฉลากของอาหารที่เรียกว่า " ฉลากโภชนาการ" (Nutrition Labeling) โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากค่า Recommended Daily Dietary Allowances for Healty Thais (Thai-RDA) โดยเลือกค่าสูงสุดจากค่าที่แนะนำสำหรับคนอายุ 20-29 ปี ทั้ง 2 เพศ,ค่า Daily Values(DV) , Daily Reference Values (DRV) ,Reference Daily Intakes (RDI) (หรือค่า US RDA เดิม) ซึ่งกำหนดโดย United States Food and Drug Administration และค่า Nutrient Reference Values (NRV) จากCodex โดยกำหนดค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ซึ่งเป็นระดับที่คนไทย (ผู้ใหญ่) ส่วนใหญ่ที่มีสภาวะทางสุขภาพปกติต้องการ เป็นฐานหรือเป็นตัวเลขกลางในการคำนวณ เพื่อวัตถุประสงค์ในการแสดงฉลากโภชนาการเท่านั้น ทั้งนี้ความต้องการพลังงานที่แท้จริงต่อวัน ของแต่ละบุคคลอาจมากหรือน้อยกว่า 2,000 กิโลแคลอรีได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อายุ เพศ และความแตกต่างของระดับการใช้พลังงานทางกายภาพ (Physical activity level) ของแต่ละบุคคล

ปริมาณธาตุเหล็กที่ใช้เสริมลงในข้าวจะต้องได้ปริมาณตามมาตรฐานของThai-RDI คือปริมาณธาตุเหล็กที่แนะนำต่อวันเท่ากับ 15 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17486

2.10 ฟิล์มที่บริโภคได้(Edible film)

ฟิล์มที่บริโภคได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่บริโภคได้นำมาใช้กับอาหารโดยเคลือบผิวของอาหารโดยตรงหรือเตรียมแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับอาหารโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการเข้าออกของก๊าซ ไอน้ำ ไอระเหย สารละลาย จุลินทรีย์ หรือสารอื่นจากอาหาร ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันโดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์(Guilbert, 1986)

1.1 ชนิดของฟิล์มที่บริโภคได้ ฟิล์มที่บริโภคได้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ ฟิล์มโปรตีน ฟิล์มลิปิด ฟิล์มโพลีแซกคาไรด์

1.1.1 ฟิล์มโปรตีน (Protein film) ในปัจจุบันกาศึกษาฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนมีมากขึ้นเนื่องจากเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี นอกจากนี้โปรตีนยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย ฟิล์มโปรตีนที่มีการศึกษาได้แก่ ฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองและฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี เป็นต้น

1.1.2 ฟิล์มลิปิด (lipid film) ลิพิดไม่นิยมขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแต่จะใช้เป็นสารเคลือบโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ผลอย่างอื่นด้วย เช่นลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนส่งหรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล สารประกอบลิพิดหลายชนิดรวมทั้งแอซีทิลเลตโมโนกลีเซอไรด์ (acetylate monoglyceride) ไขธรรมชาติ และสารตึงผิวสามารถนำมาเป็นสารเคลือบได้ ตัวอย่างของฟิล์มลิพิด ได้แก่ฟิล์มไขบริโภคได้ ซึ่งมีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีมาก โดยเฉพาะไขพาราฟินและไขผึ้ง นอกจากนี้ฟอล์มจากไขพาราฟินและฟิล์มจากไขคาร์นูบายังช่วยลดอัตราการแพร่ของเกลือเบนโซเอตเข้าสู่อาหารได้ดีจึงสามารถใช้รักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของอาหารได้เป็นเวลานาน ฟิล์มลิพิดอีกชนิดหนึ่งคือสารตึงผิว (Surfactant) การเคลือบอาหารด้วยสารตึงผิวจะช่วยลดค่า วอเตอร์แอคติวิตี (Water activity,A_w) ที่ผิวหน้าอาหาร และลดอัตราการระเหยของน้ำ ซึ่งจะทำให้การเสื่อมสภาพของอาหารช้าลง โดยสารที่ให้ผลดีที่สุด คือ แอลกอฮอลล์ซึ่งมีกรดไขมันในโมเลกุล (fatty alcohol) ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 –18 อะตอม กลีเซอรอลโมโนพาบมิเทต และกลีเซอรอลโมโนสเทียเรต (Kester และ Fennema,1986) นอกจากนี้ในการผลิตแผ่นฟิล์มจากโปรตีน หรือ พอลิแซ็กคาไรด์ยังใช้ลิพิดร่วมด้วย เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติกันการผ่านของความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

1.1.3 ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์ พอลิแซ็กคาไรด์หลายชนิดสามารถใช้ผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบบริโภคได้แต่เนื่องจากธรรมชาติของพอลิเมอร์เหล่านี้ชอบน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อย่างไรก็ตามพอลิแซ็กคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบ อาหารมีลักษณะเหมือนวุ้น จะชลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงอายุการเก็บสั้นๆ นอกจากนี้ฟิล์มพอลิแซกคาไรด์ บางชนิดยังช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของลิพิดและองค์ประกอบอื่นๆในอาหารอีกด้วย ตัวอย่างฟิล์มพอลิแซกคาไรด์ ได้แก่ ฟิล์มจากแอลจิเนต (alginate) นิยมใช้ในรูปโซเดียมแอลจิเนตทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ การเคลือบด้วยฟิล์มชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อ รักษาสีแดงของเนื้อ ป้องกันการออกซิเดชันของลิพิด และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น (Kester และ Fennema,1986)

ฟิล์มจากอนุพันธ์ของเซลลูโลส อนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ใช้ในการผลิตฟิล์มบริโภคได้อยู่ในรูปของเซลลูโลสอีเทอร์ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส หรือไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส ในการผลิตฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์นั้นมักใช้ร่วมกับลิพิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติกันการซึมผ่านของความชื้นให้ดีขึ้น (Kester และ Fennema , 1989)

2.11 การเกิดฟิล์ม

ฟิล์มบริโภคได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มละลายหรือกระจายตัว แล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย ฟิล์มรับประทานได้มีองค์ประกอบหลัก คือ โพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งมีคุณสมบัติเกิดฟิล์มได้ ตัวทำละลายและสารเจือปนซึ่งเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม (Kester และ Fennema, 1986)

สภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้นควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่นและทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของโพลิเมอร์ถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม(Pin holdes) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้การดูดซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น

Graham(1977) อธิบายการเกิดฟิล์มจากเมทิลเซลลูโลสว่า เมื่อละลายเมทิลเซลลูโลสในสารละลายจะทำให้เกิดขั้นตอนต่างๆคือ เกิดการพองตัวเนื่องจากมีโมเลกุลของสารทำละลายเข้าไปแทรกตัวอยู่ ขณะเดียวกันความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆต่อมา พันธะระหว่างสายโพลิเมอร์จะถูกทำลาย ทำให้สายโซ่เริ่มกระจายตัว ความหนืดลดลงและคงที่เมื่อการกระจายตัวของโมเลกุลเกิดอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบูรณ์ระหว่างการระเหยของสารทำละลาย สายโซ่จะเชื่อมต่อกันใหม่ได้แผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลส ถ้ามีการเติมพลาสติไซเซอร์ลงไปสารดังกล่าวจะไปแทรกอยู่ระหว่างสายโพลิเมอร์ ทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นดีขึ้น

ฟิล์มที่บริโภคได้จะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยของสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยฟิล์มที่เป็นโพลิเมอร์ที่มีขั้วจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาก ดังนั้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำฟิล์มมักจะแตกแต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ฟิล์มจะบวมพองทำให้คุณสมบัติการขวางกั้นของฟิล์มเสื่อมลง (Guilbert,1986)

ฟิล์มที่บริโภคได้จากโปรตีน(Wu และ Bates,1973 ; Aydt,1991) และโพลีแซคาไรด์ (Kester และ Fennema,1989 ; Greener และ Fennema,1989) เป็นฟิล์มจากโพลิเมอร์ที่มีขั้วจึงมีความชอบน้ำสูง ทำให้คุณสมบัติในการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่กันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อย ส่วนคุณสมบัติทางกลนั้นถ้ามีการเติมพลาสติไซเซอร์จะช่วยให้ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ไม่เปราะแตกง่าย (Brandenberg และคณะ ,1993 ; Gontard และคณะ ,1993 ;Park และคณะ,1993) ส่วนฟิล์มลิพิดนั้นมีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีมาก จึงนิยมใช้ร่วมกับฟิล์มชนิดอื่น

2.12 ฟิล์มบริโภคได้จากแป้ง

ฟิล์มบริโภคได้จากแป้งที่มีการผลิตนั้น เป็นฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งผ่านการดัดแปรโดยการเติมหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล (Hydroxypropylated) ส่วนฟิล์มจากแป้งชนิดอื่นยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่ควรคำนึงถึงของฟิล์มจากแป้งก็เป็นเช่นเดียวกับฟิล์มบริโภคได้ชนิดอื่น ได้แก่ ความโปร่งแสงของฟิล์ม ความเรียบของผิวฟิล์ม การตอบสนองต่อความชื้น และการละลายน้ำ เป็นต้น ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งชนิดต่างชนิดกันจะให้คุณสมบัติแตกต่างกัน ฟิล์มแป้งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งมันฝรั่งมีความยืดหยุ่น การต้านทานต่อแรงดึงขาด ความแข็งสูงกว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี ส่วนคุณสมบัติการละลายน้ำนั้น ฟิล์มแป้งที่ได้จากพืชหัวและส่วนรากพืช ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง ละลายน้ำได้ดีกว่าฟิล์มจากแป้งธัญพืช และมีความโปร่งแสงมากกกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 พลาสติกไซเซอร์กับฟิล์มบริโภคได้

พลาสติไซเซอร์ (plastizizer)ตามนิยามของ IUPAC หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติก หรือ elastomer แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยืดตัว (Bakker,1986)

คุณสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม (compatible) โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยากละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรจะไม่มีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ (Beerlerและ Finney,1983)

พลาสติไซเซอร์ที่นำมาใช้ต้องได้รับอนุญาตจาก FDA โดยมีการพิสูจน์และยอมรับแล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทั้งในระยะเฉียบพลันและระยะยาว พลาสติไซเซอร์ที่นำมาใช้กับฟิล์มบริโภคได้มีหลายประเภท ได้แก่ โมโน ได และโอโกแซ็กคาไรด์ พอลิออลและลิพิดหรืออนุพันธ์ของลิพิด ปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 10-20โดนน้ำหนักแห้ง(Guilbert, 1986)

พอลิออล(polyols) หรือ พอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิออลมีคุณสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สามารถสลายตัวง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้

การนำพอลิออลมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มบริโภคได้มีหลายชนิด เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอรีน (glycerin) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้ในการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาลผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารทำละลายน้ำได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง ฟิล์มบริโภคได้หลายชนิดใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ (มณฑาทิพย์, 2534 ; Gontard และคณะ, 1993; Park และคณะ, 1993)

2.14 องค์ประกอบ โครงสร้างทางเคมี และสมบัติบางประการของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า

<u>แป้งมันสำปะหลัง</u>

แป้งมันสำปะหลัง เป็นแป้งที่ผลิตจากหัวมันสำปะหลังสดซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า <u>Monihotesculenta</u> Crantz. แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในอุตสาหกรรมมีองค์ประกอบดังนี้ ความชื้นไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินร้อยละ 13 โปรตีนไม่เกินร้อยละ 0.3 สตาร์ชไม่น้อยกว่าร้อยละ 97.5 เยื่อใยไม่เกินร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง องค์ประกอบที่มีมากที่สุดในแป้งมันสำปะหลังคือ สตาร์ช เมื่อพิจารณาลักษณะของเม็ดสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสงพบว่า โดยส่วนใหญ่เป็นรูปไข่ที่ปลายข้างหนึ่งถูกตัดออก ผิวตรงส่วนตัดมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้งอีกด้านหนึ่งแบนไม่สม่ำเสมอกัน พบรอยบุ๋ม (eccentric hilum) อย่างเห็นได้ชัด และแต่ละเม็ดมีความยาวตั้งแต่ 15 – 35 ไมโครเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 15 ไมโครเมตร

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วย D(+)) glucose unit ซึ่งอยู่ในรูปของ α-glucopyranose ring แต่ละหน่วยของกลูโคสมีพันธะเชื่อมเข้าด้วยกันโดยเชื่อมต่อกับอะตอมของออกซิเจนที่ตำแหน่ง 1,4 ทำให้โมเลกุลมีลักษณะคล้ายเส้นด้าย โดยทั่วไปสตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุลตั้ง $21.5 \times 10^5 - 10^6$ มีค่าระดับของการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization = DP.) ในช่วง 250 – 400 AGU (Anhydro – Glucose Unit) ต่อ 1 โมเลกุลของอะมิโลส (Hood, 1982) แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 24.0 – 26.3 (อรวรรณ , 2529) อะมิโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์ม ส่วนอะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์กิ่งก้านที่ประกอบด้วยโมเลกุลส่วนเส้นตรงประมาณร้อยละ 94 – 96 มีค่า DP. อยู่ในช่วง 12 – 50 AGU เชื่อมต่อกับส่วนกิ่งก้านของพอลิเมอร์สั้นๆ ของกลูโคส 20 – 26 หน่วยซึ่งแทรกอยู่ประมาณร้อยละ 4 – 6 ที่ตำแหน่ง α-1,6 มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10^6-10^9 (Hood, 1982) สำหรับแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลเพกทินร้อยละ 76.0 – 73.7

โดยธรรมชาติแป้งจะไม่ละลายน้ำเมื่ออยู่ในสภาพที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า อุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้กันในโมเลกุลของสตาร์ช พันธะไฮโดรเจนน้ำอาจเชื่อมกับน้ำทำให้สามารถพองตัวได้เล็กน้อยและมีลักษณะผันกลับได้ เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเม็ดสตาร์ชจะเริ่มพองตัว เมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับที่เม็ดสตาร์ชสูญเสียรอยกากบาทภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่สภาวะนี้เรียกว่า สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ การพองตัวของเม็ดสตาร์ชจะเริ่มเกิดขึ้นบริเวณอสัณฐาน โดยมีโมเลกุลของน้ำมาเกาะมากขึ้น ขณะเดียวกันพันธะไฮโดรเจนบริเวณรอบผลึกเม็ดสตาร์ชจะเริ่มถูกทำลายส่วนที่เป็นโมเลกุลอะมิโลสจะออกมาในน้ำ ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นได้ลักษณะข้นเป็นแป้งเปียกซึ่งจัดเป็นพวกโซล (sol) แป้งมันสำปะหลังจะใส มีความหนืดสูง เนื้อสัมผัสยาว ความต้านทานต่อแรงเสียดสีต่ำ และอัตราการกลับคืนตัวของแป้งต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>แป้งข้าวเจ้า</u>

ข้าวเจ้าเป็นอาหารในชีวิตประจำวันของคนไทย ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรทสูงถึง 70 – 80 % และส่วนมากจะเป็นสตาร์ช นอกจากนั้นเป็นซูโครสและเด็กซ์ตริน มีปริมาณอะไมโลสประมาณ 17 – 30 % ข้าวเจ้าใหม่มีความชื้นมากกว่าข้าวเจ้าเก่า เมื่อหุงต้มแล้วมีลักษณะแฉะกว่าข้าวเก่า เม็ดสตาร์ชของข้าวเจ้ามีขนาดเล็กที่สุด คือ ประมาณ 3 – 8 ไมครอน และมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygonal)

จากการศึกษาการเกิดเจลของเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเจ้าจากการวัดความหนืดของน้ำแป้งที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พบว่าการที่จะทำให้แป้งจากธัญพืชข้นและเหนียวได้จะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าแป้งจากพืชหัว นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งแล้วจะมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นลักษณะที่พบในแป้งจากธัญพืช ลักษณะที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าพันธะภายในเม็ดสตาร์ชมีมากกว่าหนึ่งชนิด อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุดของแป้งจากธัญพืชสูงกว่าแป้งจากส่วนของรากและ waxy corn โดยทั่วไปแล้วการเกิดเจลมักจะเสร็จสมบูรณ์ที่อุณหภูมิไม่เกิน 95 $^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบ

1. ข้าวหอมมะลิ ตราหงส์ทอง ซื้อจากท้องตลาดบรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันแมลงและ ความชื้น และเก็บรักษาไว้ในที่แห้ง
2. แป้งมันสำปะหลัง ตราปลาห้าดาว ซื้อจากท้องตลาดบรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันแมลง ความชื้น และเก็บรักษาไว้ในที่แห้ง
3. แป้งข้าวเจ้าตราใบโพธิ์ซื้อจากท้องตลาดบรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันแมลง ความชื้น และ เก็บรักษาไว้ในที่แห้ง

สารเคมี

1. Acetic acid
2. Ammonium Iron (II) sulfate
3. Ferric pyrophosphate ที่ใช้ผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ เป็นเกรดสำหรับผสมอาหาร โดยได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท เนสท์เล่ ฟู้ดส์ ประเทศไทย (จำกัด)
4. Glycerol $C_3H_8O_3$ จากองค์การเภสัชกรรม น้ำหนักโมเลกุล 92 กรัม
5. Hydrochlrolic acid
6. Hydroxyl Ammonium Chloride
7. Orthophenanthroline
8. Sodium acetate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

เครื่องมือ

1. Blender
2. Furnace muffle
3. Spectrometer
4. Hot plate
5. Hot air oven
6. Water bath
7. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
8. หม้อหุงข้าว

อุปกรณ์

1. Aluminium can
2. Crucible
3. Foggy
4. Needle
5. Volumetric flask
6. ปิเปตและลูกยาง
7. ขวดรูปชมพู่
8. ขวดสีชา
9. บีกเกอร์
10. กระบอกน้ำกลั่น
11. ช้อนตักสาร
12. หลอดหยด
13. แท่งแก้วคนสาร
14. หลอดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

การศึกษาเทคนิคการเคลือบสาร โพลิเมอร์ในข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสม โดยทำการศึกษา 5 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1

การเตรียมสาร โพลิเมอร์ โดยการนำแป้งมันสำปะหลัง 16 กรัม และแป้งข้าวเจ้า 4 กรัมมาผสมกับกลีเซอรอล 80 กรัม แล้วกวนผสมในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 80^{0}C เป็นเวลา 15 นาทีจากนั้นรอให้เย็นลงจนถึง 45^{0}C จะได้สาร โพลิเมอร์ที่มีสีขาวขุ่นและสามารถนำไปใช้ในการเคลือบได้ทันที

ตอนที่ 2

การศึกษาเทคนิคการเคลือบสาร โพลิเมอร์ลงในข้าวเสริมธาตุเหล็ก โดยเปรียบเทียบวิธีการผลิต 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสาร โพลิเมอร์ นำข้าวสารปริมาณ 100 กรัมแล้วนำมาคลุกกับธาตุเหล็ก 5 กรัม พ่นสาร โพลิเมอร์ลงในข้าวที่เกลี่ยเป็นชั้นเดียวบนตะแกรงลวดแล้วนำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 55^{0}C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปเก็บในถุงพลาสติกปิดผนึกเพื่อป้องกันแมลงและความชื้น

วิธีที่ 2 การเคลือบสาร โพลิเมอร์ก่อนคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสาร โพลิเมอร์อีกครั้ง นำข้าวสารปริมาณ 100 กรัมเกลี่ยเป็นชั้นเดียวบนตะแกรงลวด พ่นสาร โพลิเมอร์ให้ทั่วแล้วนำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 55^{0}C เป็นเวลา 15 นาที จึงนำมาคลุกกับธาตุเหล็ก 5 กรัม แล้วนำมาเกลี่ยเป็นชั้นเดียวบนตะแกรงลวดเพื่อพ่นสาร โพลิเมอร์ซ้ำอีกครั้ง นำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 55^{0}C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปเก็บในถุงพลาสติกปิดผนึกเพื่อป้องกันแมลงและความชื้น

จากนั้นนำข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสาร โพลิเมอร์ จากทั้งสองวิธี มาทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ T-test เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณธาตุเหล็กที่เหลืออยู่หลังการหุง (%retention) เพื่อหาเทคนิคการเคลือบสาร โพลิเมอร์ในข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสม ดังแสดงในภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์

ชั่งข้าว 5 กรัมใส่ใน Crucible

⇩

เผาบน Hot plate จนหมดควัน

⇩

เผาใน Furnace muffle ที่ 550^{0}C นาน 2 ชั่วโมง

⇩

รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักเถ้า

⇩

เติม HCl 5 ml. แล้วระเหยให้แห้ง

⇩

เติม HCl 2 ml. แล้วนำไปให้ความร้อนนาน 5 นาที

⇩

กรองใส่ขวดแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml.

⇩

ปิเปตสารละลายมา 10 ml.

⇩

เติม Hydroxylamine Hydrochloride 1 ml.

⇩

เติม Acetate buffer Soln. 5 ml.

⇩

เติม O-phenanthroline 1 ml.

⇩

นำสารละลายเถ้าข้าวที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 nm.

ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4

การคำนวณหาอัตราส่วนผสมของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ต่อข้าวปกติที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ปริมาณธาตุเหล็กตามมาตรฐานของ Thai RDI

ตอนที่ 5

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านของสี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ที่ผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่หาได้จากตอนที่ 4 เปรียบเทียบกับข้าวสาร

วิธีการหุงข้าวโดยใช้อัตราส่วนข้าว 100 กรัม : น้ำ 240 กรัม ในหม้อหุงข้าวปกติ ทั้งข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์และข้าวสารปกติแล้วนำมาทดสอบการยอมรับทางด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบรวม โดยใช้แบบทดสอบ 5 Point Hedonic Scale ใช้จำนวนผู้ชิม 25 คน โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 5 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด รายละเอียดรูปแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงในภาคผนวก ก ซึ่งมีแผนการทดลองแบบ RCBD โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS For Window และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองใช้ระยะเวลาประมาณ 4 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2543 สิ้นสุดเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาเทคนิคการใช้สารโพลิเมอร์เคลือบข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสม

จากการศึกษาเทคนิคการใช้สารโพลิเมอร์เคลือบข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวสารและข้าวสุกของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์เป็นตัวบ่งชี้จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก พบว่าปริมาณธาตุเหล็กในข้าวสารเสริมธาตุเหล็กและข้าวสุกของข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เคลือบสารโพลิเมอร์ทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังในตารางที่ 4.1 ข้าวสารเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ด้วยวิธีที่ 1 คือ การคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์มีปริมาณธาตุเหล็ก 8.2667 มิลลิกรัม/ ข้าวสาร 100 กรัม ส่วนข้าวสารเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ด้วยวิธีที่ 2 คือการเคลือบสารโพลิเมอร์ก่อนคลุกธาตุเหล็กและเคลือบสารโพลิเมอร์อีกครั้งมีปริมาณธาตุเหล็ก 8.4000 มิลลิกรัม/ข้าวสาร 100 กรัม เมื่อทำการหุงอาจทำให้มีการสูญเสียปริมาณธาตุเหล็ก โดยข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ด้วยวิธีที่ 1 ปริมาณ 100 กรัมหุงสุกแล้วมีปริมาณธาตุเหล็กเหลืออยู่ 3.9367 มิลลิกรัม/ข้าวสุก 210 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณทั้งหมดที่หุงจากข้าวสาร 100 กรัม และ ข้าวสุกของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ด้วยวิธีที่ 2 ปริมาณ 100 กรัมหุงสุกแล้วมีปริมาณธาตุเหล็กเหลืออยู่ 4.0033 มิลลิกรัม/ข้าวสุก 210 กรัม จะเห็นได้ว่าเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ทั้งสองวิธี ทำให้ปริมาณของธาตุเหล็กไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการศึกษาปริมาณธาตุเหล็กที่เหลืออยู่หลังจากการหุงข้าวที่ผ่านการเสริมธาตุเหล็ก(%retention) พบว่า %retention จากวิธีที่ 1 เท่ากับ 47.66 และ %retention ของวิธีที่ 2 เท่ากับ 47.62 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ คือ เทคนิคการคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์ เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดกว่าวิธีการเคลือบสารโพลิเมอร์ก่อนคลุกธาตุเหล็กและเคลือบสารโพลิเมอร์อีกครั้ง แล้วนำผลการทดลองตอนที่ 1 ที่ได้ไปศึกษาต่อในตอนที่ 2 คือการศึกษาหาอัตราส่วนของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ต่อข้าวสารปกติที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ธาตุเหล็กตามมาตรฐาน Thai RDI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์

เทคนิค	ปริมาณธาตุเหล็ก	
	การคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์	การเคลือบสารโพลิเมอร์ก่อนคลุกแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์อีกครั้ง
ข้าวสาร	8.2667[a]	8.4000[a]
ข้าวสุก	3.9367[a]	4.0033[a]
%retention	47.66%	47.62%

ข้าวสาร : หน่วย มิลลิกรัมต่อข้าวเสริมธาตุเหล็ก 100 กรัม
ข้าวสุก : หน่วย มิลลิกรัมต่อข้าวสุกทั้งหมดที่หุงจากข้าวสาร 100 กรัม
ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน

ตอนที่ 2 การคำนวณหาอัตราส่วนผสมของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์กับข้าวสารปกติ

Thai RDI คือ ปริมาณสารอาหารชนิดต่างๆที่แนะนำให้ได้รับต่อวัน สำหรับบุคคลที่มีอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุข ให้มีปริมาณธาตุเหล็กที่เหมาะสม 15 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งสามารถคิดเป็น 5 มิลลิกรัมต่อมื้อ

จากการคำนวณอัตราส่วนผสมของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์กับข้าวสารปกติ พบว่าต้องผสมในอัตราส่วน 32 : 100 โดยน้ำหนักจึงจะทำให้ได้รับปริมาณธาตุเหล็กตามมาตรฐานของ Thai RDI โดยในข้าวสุก 1 จานมีปริมาณน้ำหนัก 210 กรัมจะหุงสุกจากข้าวสาร 100 กรัม โดยประมาณ ซึ่งวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค

ตอนที่ 3 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการศึกษาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระหว่างข้าวสารปกติกับข้าวสารเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ที่ผสมกับข้าวสารในอัตราส่วน 32 : 100 โดยน้ำหนัก โดยใช้ผู้ชิมทั้งหมด 25 คนมีคะแนนความชอบตั้งแต่ 1-5 คะแนนโดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุดและ 5 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาคะแนนความชอบทางด้านสี พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผู้ชิมชอบสีของข้าวปกติมากกว่าข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์โดยพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ย คือ 4.32 และ 3.60 ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ผลการศึกษาคะแนนความชอบทางด้านกลิ่น พบว่าผู้ชิมชอบกลิ่นของข้าวปกติมากกว่าข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์โดยพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ย คือ 3.92 และ 3.68 ตามลำดับ

ผลการศึกษาคะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติของข้าวปกติและข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 โดยพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ย คือ 4.0 และ 3.8 และคะแนนเฉลี่ย คือ 3.84 และ3.8 ตามลำดับ

ในด้านความชอบรวม พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งผู้ชิมชอบข้าวปกติมากกว่าข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ โดยพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ย คือ 4.12 ซึ่งอยู่ในช่วงชอบมากถึงชอบมากที่สุดและ 3.80 ซึ่งอยู่ในช่วงชอบถึงชอบมาก ตามลำดับ

ตารางที่4.2 แสดงคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ที่ผสมกับข้าวสารในอัตราส่วน 32 :100

	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบรวม
ข้าวสารปกติ	4.32[a]	3.92[a]	4.00[a]	3.84[a]	4.12[a]
ข้าวเสริมธาตุเหล็ก	3.60[b]	3.68[b]	3.80[a]	3.80[a]	3.80[b]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาเทคนิคการใช้สารโพลิเมอร์เคลือบข้าวเสริมธาตุเหล็กเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร จากกรรมวิธีการใช้สารโพลิเมอร์ในการเคลือบข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสม 2 วิธี พบว่า วิธีที่ 1 การคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์ มีปริมาณธาตุเหล็ก 8.2667 มิลลิกรัม/ข้าวสาร 100 กรัม ส่วนวิธีที่ 2 การเคลือบสารโพลิเมอร์ก่อนคลุกธาตุเหล็กและเคลือบสารโพลิเมอร์อีกครั้ง มีปริมาณธาตุเหล็ก 8.4000 มิลลิกรัม/ข้าวสาร 100 กรัม จากนั้นในขั้นตอนการหุงอาจทำให้มีการสูญเสียปริมาณธาตุเหล็ก โดยข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์วิธีที่ 1 ปริมาณ 100 กรัมหุงสุกแล้วมีปริมาณธาตุเหล็กเหลืออยู่ 3.9367 มิลลิกรัม/ข้าวสุก 210 กรัมซึ่งเป็นปริมาณข้าวสุกทั้งหมดที่หุงจากข้าวสาร 100 กรัม และ ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์วิธีที่ 2 ปริมาณ 100กรัมหุงสุกแล้วมีปริมาณธาตุเหล็กเหลืออยู่ 4.0033 มิลลิกรัม/ข้าวสุก 210 กรัม จะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีดังกล่าวให้ปริมาณของธาตุเหล็กที่เหลืออยู่ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ %retention ของเทคนิคการคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์ เท่ากับ 47.66 และ %retentionของเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ก่อนคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์อีกครั้ง เท่ากับ 47.62 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกเทคนิคการคลุกธาตุเหล็กแล้วเคลือบสารโพลิเมอร์ เพราะมีปริมาณธาตุเหล็กใกล้เคียงกันและเมื่อคิดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมีพบว่ามีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า จึงเลือกใช้วิธีการดังกล่าวเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์กับข้าวสารปกติ จะได้อัตราส่วนผสมของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์กับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 32 : 100 โดยน้ำหนักจึงจะทำให้ได้รับปริมาณธาตุเหล็กตามมาตรฐานของ Thai RDI จากผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า คะแนนการยอมรับทางด้านสีและกลิ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ชิมให้การยอมรับข้าวปกติมากกว่าข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ เหตุเพราะว่าสีของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์มีสีเหลืองกว่าข้าวสารปกติทำให้ดูไม่น่ารับประทาน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากสีของธาตุเหล็กซึ่งทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ และความแตกต่างทางด้านกลิ่นเนื่องจากข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์เมื่อหุงแล้วมีกลิ่นไม่เป็นธรรมชาติซึ่งเป็นผลมาจากธาตุเหล็กและกลีเซอรอลที่ใช้ทำสารโพลิเมอร์บ้างเล็กน้อย ส่วนคะแนนการยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และด้านความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ชิมให้การยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวปกติมากกว่าข้าวสารเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ แต่จากคะแนนทางด้านความชอบรวมของข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ พบว่าอยู่ในระดับชอบถึงชอบมาก ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2541. " ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันและแนวทางการบริโภคสำหรับคนไทย." กรุงเทพมหานคร.

กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2543. " ผลิตภัณฑ์จากข้าว." กรุงเทพมหานคร : กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ.

บวรพรรณ ชูโชติรส และ พิมประภา ฤกษ์ผลิน. 2542. " การผลิตข้าวเสริมแคลเซียม. " ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534. " การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว. " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิชัย นาครักษา. 2535. " ข้าวเจ้า. " ใน เทคโนโลยีธัญพืช . 34-38. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สาลี สุขสม และ โสภิพรรณ วารีวนิช. 2541. " การศึกษาคุณสมบัติและการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า. " ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น. 2526. เรื่องของข้าว. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรวรรณ เดหสุขเจริญ. 2529. " คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ. " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th ed., Association Official Analysis Chemical. , Washington D.C.

Bekker,M. 1986. The Wiley Encyclopedia of Packing Technology. New York John Wiley & Sons, Inc.

Beerler, A.D. and Finney,D.C. 1983. "Plastizizer." In Modern Plastics Encyclopedia. 193-195. New York: McGraw-Hill Publication.

Bramall, L.D. 1986. " A Novel Process for the Fortification of Rice." Food Technol 38, 7: 281-284.

Brandenburg, A.H., Weller,C.L. and Testun,R.f. 1993. " Edible Film and Coatings from Soy Protein. " Journal of Food Science. 58, 5 : 1086-1089.

" Cooking with USA Rice-Nutrition." 2000. (Online). Available: http: // www. usarice. com/domestic/recipes/nutrition.html.

Cook,J.D. and Reusser,M.E. 1983. " Iron Fortification: an update." American Journal of Clinical Nutrition 38, 4: 648-659.

Fennema, O.R. 1996. "Minerals. " In Food Chemistry. , 630-649. New York : Marcel Dekkar, Inc.

Furter, M.F. and Lauter,W.M. 1946. " Enrichment of Rice with Synthetic Vitamins and Iron. " Ind. Eng. Chem. 38: 486-492.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gontard,N., Guilbert ,S. and Cuq,J.L. 1992. " Edible Wheat Gluten Films: Influence of The Main Process Variables on Film Properties Using Response Surface Methodology." Journal of Food science. 57, 1 : 190-195.

GuilBert, S. 1986. " Technology and Application of Edible Films." In M . Mathlouthi (ed.). Food Packing and Preservation Theory and Practice. 371-394. London: Elsevier Applied Science Publisher.

Kester,J.J. and Fennema ,O.R. 1986. " Edible Films and Coating." Food Technol 47-59.

Kester,J.J. and Fennema,O.R. 1989. "An Edible Films of Lipids and Cellulose Ethers : Performance in a Model Frozen- Food System." Journal of Food Science. 54, 6 : 1390-1392, 1406.

Kik,M.C. and Willium,R.R. 1945. "The Nutritional Improvement of White Rice. " Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council Bull. 112.

Hoffpauer ,D.W. 1992. "Rice Enrichment for Today." Cereal Foods World. 37, 10: 757-759.

Hurrell, R.F.1997. " Preventing Iron Deficiency through Food Fortification." Nutrition Review 55 , 6 : 210-222.

" Iron Fortification." 2000. (Online). Available : http // www. foodsci.orst.edu /c/ sk6.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Juiliano,B.O. 1980. " Properties of The Rice Caryopsis." In Luh,B.S.(ed.). Rice : Chemistry and Technology, 403-428. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.

Kapanidis, A.N. and Tung, C.H.1996. " Novel Method for the Production of Color-Compatible Ferrous Sulfate Fortified Simulated Rice Through Extrusion." Journal of Agricultural and Food Chemistry 44 , 2 : 522-525.

Lewis, R.J. 1997. Hawley's Condensed Chemical Dictionary. 13th ed. New York : John Willey & Sons, Inc.

Luh, B.S. and Mickus, R.R. 1980. " Rice Enrichment and Amino Acid." In Luh, B.S.(ed.). Rice : Production and Utilization, 486-499. Connecticut: AVI Publishing Company, Inc.

Malakar,M.C. and Bennerjee,S. 1959. " Effect of Cooking Rice with Different Volumes of Water on the Loss of Nutrients and Digestibility of Rice In Vitro." Food Res. 24 :751-756.

Misaki,M and Yasumatsu,K.1985. " Rice Enrichment and Fortification." In Juliano,B.O. (ed.). Rice : Chemistry and Technology, 389-401. Minnesota : American Association of Cereal Chemists , Inc.

Peil, A., Barrett,F. Rha,C.K. and Langer,R. 1982. " Retention of Micronutrients by Polymer Coating Used to Fortified Rice." Journal of Food Science 47 , 1 : 260 – 262 ,266.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rubin,S.H., Emodi,A. and Scialpi,L. 1977. " Micronutrient Additions to Cereal Grain Products." Cereal Chem. 54 : 895-904.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ชื่อ_____ อายุ _____ เพศ_____

<u>คำสั่ง</u> ใน 2 ช่องแรกให้ใส่คะแนนที่กำหนดให้ตามระดับความชอบในตัวอย่างทั้งสองโดยให้คะแนนจากซ้ายไปขวาตามลำดับ และทดสอบทีละตัวอย่าง

คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
คะแนน 2 หมายถึง ไม่ชอบ
คะแนน 3 หมายถึง ชอบ
คะแนน 4 หมายถึง ชอบมาก
ตะแนน 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด

ในช่องที่ 3 ให้กาเครื่องหมาย ✕ เมื่อเห็นว่าตัวอย่างทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน และให้กาเครื่องหมาย ✓ เมื่อตัวอย่างทั้งสองมีความแตกต่างกันและใส่เหตุผลด้วยว่าแตกต่างกันอย่างไร

	xxx	yyy	✕หรือ✓	เหตุผล
สี	_____	_____	_____	_____
กลิ่น	_____	_____	_____	_____
เนื้อสัมผัส	_____	_____	_____	_____
รสชาติ	_____	_____	_____	_____
ความชอบรวม	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ _____

_____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก(AOAC, 1990)

การเตรียมสารละลาย

1. Iron standard solution โดยชั่ ง Ammonium Iron (II) Sulfate 3.512 g นำมาละลายน้ำแล้ว เติมกรด HCl 2 ml. นำมาปรับปริมาตรเป็น 500 ml. แล้วปิเปตมา 10 ml. จึงปรับปริมาตรเป็น 1000 ml.

2. Acetate Buffer solution โดยชั่ง Sodium Acetate 8.3 g แล้วนำมาอบที่ 100^0C นาน 5 ชม.นำ มาละลายน้ำแล้วเติม Acetic Acid 12 ml. จึงปรับปริมาตรเป็น 100 ml.

3. Hydroxylamine Hydrochloride solution โดยชั่ง Hydroxyl Ammonium Chloride 10 g จึง นำมาปรับปริมาตรเป็น 100 ml.

4. O-phenanthroline solution โดยชั่ง O-phenanthroline 0.1 g แล้วละลายด้วยนำร้อนที่ อุณหภูมิ 80^0C แล้วรอให้เย็นจึงปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml

การเตรียมสารละลายมาตรฐานของธาตุเหล็ก

นำ Iron standard solution มา 0,2,5,10,15...90 ml. แล้วจึงเติมกรด HCl 2 ml. ปรับปริมาตรด้วย น้ำกลั่นเป็น 100 ml. จึงปิเปตมา 10 ml. จึงเติม Hydroxalamine Hydrochloride solution 1 ml. แล้วเติม Acetate Buffer solution 5 ml. และ O-phenanthroline solution 1 ml.

แล้วนำสารละลายที่ได้ทั้งหมดไปวัดค่าดูดกลืนแสง(OD.) เพื่อหา Standard curve ด้วยเครื่อง spectrometer ที่ความยาวคลื่น 510 nm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวเสริมธาตุเหล็กกับข้าวสารปกติ

Thai RDI หมายถึง ปริมาณสารอาหารชนิดต่างๆ ที่แนะนำให้ได้รับต่อวัน กำหนดโดย กระทรวงสาธารณสุข ปริมาณธาตุเหล็ก 15 มิลลิกรัม คิดเป็น 5 มิลลิกรัมต่อมื้อ

- ข้าวสุก 105 กรัม มาจากข้าวสาร 50 กรัม
  ข้าวสุก 210 กรัม มาจากข้าวสาร (50x210)/105 = 100 กรัม
- ข้าวสุกเสริมธาตุเหล็ก 210 กรัม มีปริมาณธาตุเหล็ก 8.2 มิลลิกรัม
  ข้าวสุกเสริมธาตุเหล็ก 100 กรัม มีปริมาณธาตุเหล็ก (50x100)/210 = 3.90 มิลลิกรัม
- ข้าวสุกปกติ 10 กรัม มีปริมาณธาตุเหล็ก 0.111 มิลลิกรัม
  ข้าวสุกปกติ 210 กรัม มีปริมาณธาตุเหล็ก (0.111x210)/10 = 2.331 มิลลิกรัม

ต้องใช้ข้าวเสริมธาตุเหล็ก 5-2.331 = 2.669 มิลลิกรัม

- ธาตุเหล็กปริมาณ 3.90 มิลลิกรัม พบในข้าวสุก 100 กรัม
  ธาตุเหล็กปริมาณ 2.669 มิลลิกรัม พบในข้าวสุก (100x2.669)/3.90 = 68.43 กรัม
- ข้าวสุก 105 กรัม มาจากข้าวสาร 50 กรัม
  ข้าวสุก 68.43 กรัม มาจากข้าวสาร (50x68.43)/105 = 32.58 กรัม

อัตราส่วนข้าวสารปกติ : ข้าวสารเสริมธาตุเหล็ก

100 : 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์แบบ CRD

การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณธาตุเหล็ก ในข้าวเสริมธาตุเหล็กเพื่อศึกษาหาเทคนิคการเคลือบสารโพลิเมอร์ในข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสม

ข้าวสาร

ANOVA

Result	Sum of square	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	104.76	2	52.238	854.183	0.000
Within Groups	0.367	6	6.116E-02		
Total	104.843	8			

DUNCAN

Factor	N	Subset for alpha =0.05	
		1	2
ไม่เคลือบ	3	1.1067	
เคลือบคลุกเคลือบ	3		8.2667
คลุกเคลือบ	3		8.4000
Sig.		1.000	0.543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวสุก

ANOVA

Result	Sum of square	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23.766	2	11.883	836.820	0.000
Within Groups	8.520E-02	6	1.420E-02		
Total	23.851	8			

DUNCAN

Factor	N	Subset for alpha =0.05	
		1	2
ไม่เคลือบ	3	0.5233	
เคลือบคลุกเคลือบ	3		3.9367
คลุกเคลือบ	3		4.0033
Sig.		1.000	0.519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง. 2 การวิเคราะห์แบบ RCBD

การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ในการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

COLOR	Experimental Method				
	SS	df	MS	F	Sig.
Main	18.400	25	0.736	3.200	0.003
Effect Treatment	6.480	1	6.480	28.174	0.000
People	11.920	24	0.497	2.159	0.033
Model	18.400	25	0.736	3.200	0.003
Residual	5.520	24	0.230		
Total	23.920	49	0.488		

การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยทางด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ ในการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

FLAVOUR	Experimental Method				
	SS	df	MS	F	Sig.
Main	13.720	25	0.549	5.777	0.000
Effect Treatment	0.720	1	0.720	7.579	0.011
People	13.000	24	0.542	5.702	0.000
Model	13.720	25	0.549	5.777	0.000
Residual	2.280	24	9.500E-02		
Total	16.000	49	0.327		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ ในการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

TUXTURE	Experimental Method				
	SS	df	MS	F	Sig.
Main	13.500	25	0.540	2.592	0.011
Effect Treatment	0.500	1	0.500	2.400	0.134
People	13.000	24	0.542	2.600	0.011
Model	13.500	25	0.540	2.592	0.011
Residual	5.000	24	0.208		
Total	18.500	49	0.378		

การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยทางด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ ในการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

TASTE	Experimental Method				
	SS	df	MS	F	Sig.
Main	14.900	25	0.596	29.800	0.000
Effect Treatment	2.000E-02	1	2.000E-02	1.000	0.327
People	14.880	24	0.620	31.000	0.000
Model	14.900	25	0.596	29.800	0.000
Residual	0.480	24	2.000E-02		
Total	15.380	49	0.314		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยทางด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กเคลือบสารโพลิเมอร์ ในการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

LIKE	Experimental Method				
	SS	df	MS	F	Sig.
Main	16.200	25	0.648	4.181	0.000
Effect Treatment	1.280	1	1.280	8.258	0.008
People	14.920	24	0.622	4.011	0.001
Model	16.200	25	0.648	4.181	0.000
Residual	3.720	24	0.155		
Total	19.920	49	0.407		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ. 1 แสดงปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป

ลำดับที่	สารอาหาร (Nutrient)	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (Thai-RDI)	หน่วย (Unit)
1	ไขมันทั้งหมด	65*	กรัม
2	ไขมันอิ่มตัว	20*	กรัม
3	โคเลสเตอรอล	300	มิลลิกรัม
4	โปรตีน	50*	กรัม
5	คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	300*	กรัม
6	ใยอาหาร	25	กรัม
7	วิตามินเอ	800	ไมโครกรัม อาร์ อี
8	วิตามินบี1	1.5	มิลลิกรัม
9	วิตามินบี2	1.7	มิลลิกรัม
10	ไนอะซิน	20	มิลลิกรัม เอ็น อี
11	วิตามินบี6	2	มิลลิกรัม
12	โฟเลต	200	ไมโครกรัม
13	ไบโอติน	150	ไมโครกรัม
14	กรดแพนโทธินิค	6	มิลลิกรัม
15	วิตามินบี12	2	ไมโครกรัม
16	วิตามินซี	60	มิลลิกรัม
17	วิตามินดี	5	ไมโครกรัม
18	วิตามินอี	10	มิลลิกรัม แอลฟา-ที-อี
19	วิตามินเค	80	ไมโครกรัม
20	แคลเซียม	800	มิลลิกรัม
21	ฟอสฟอรัส	800	มิลลิกรัม
22	เหล็ก	15	มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ(ต่อ)

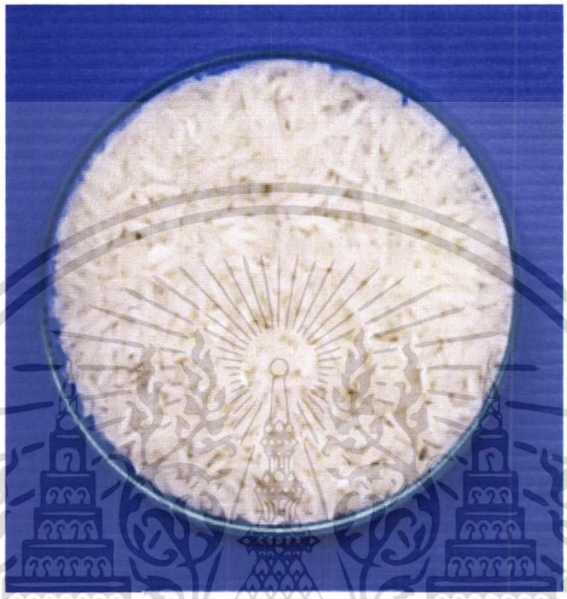
ตาราง จ(ต่อ) แสดงปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป

ลำดับที่	สารอาหาร(Nutrient)	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน(Thai RDI)	หน่วย(Unit)
23	ไอโอดีน	150	ไมโครกรัม
24	แมกนีเซียม	350	มิลลิกรัม
25	สังกะสี	15	มิลลิกรัม
26	ทองแดง	2	มิลลิกรัม
27	โพแทสเซียม	3500	มิลลิกรัม
28	โซเดียม	2400	มิลลิกรัม
29	แมงกานีส	3.5	มิลลิกรัม
30	ซีลีเนียม	70	ไมโครกรัม
31	ฟลูออไรด์	2	มิลลิกรัม
32	โมลิบดีนัม	160	ไมโครกรัม
33	โครเมียม	130	ไมโครกรัม
34	คลอไรด์	3400	มิลลิกรัม

*หมายถึงปริมาณของแข็งทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่แนะนำให้บริโภคต่อวันคิดจากการเปรียบเทียบพลังงานที่ควรได้ จากสารอาหารดังกล่าวเป็นร้อยละ 30,10,10และ60 ตามลำดับ ของพลังงานทั้งหมด หากพลังงานทั้งหมดที่ควรได้รับต่อวันเป็น 2000 กิโลแคลอรี (ไขมัน 1 กรัมให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี, โปรตีน 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี,คาร์โบไฮเดรต 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ



ภาพที่ ฉ.1 ข้าวสารปกติ

ภาพที่ ฉ.2 ข้าวปกติหุงสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ฉ.3 ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กอัตราส่วน 32 : 100 (ข้าวสาร)

ภาพที่ ฉ.4 ผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมธาตุเหล็กอัตราส่วน 32 : 100 (ข้าวสุก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาว สุธิดา จำปาเทศ

เกิดเมื่อวันที่ 4 สิงหาคม พ.ศ. 2522

ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดกรุงเทพมหานคร

วุฒิการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนศรีอยุธยา

วุฒิการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศรีอยุธยา

นางสาว สุพนิดา ไทยใจดี

เกิดเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2521

ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดอุดรธานี

วุฒิการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสตรีราชินูทิศ

วุฒิการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้