



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ในการผลิตข้าวเสริมวิตามิน

Application of Edible Coating in the Production of Vitamin Fortified Rice

นามผู้วิจัย นางสาวลลิตา ชาติยานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล วุฒิจำนงค์, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์กมลวรรณ แจ่มชัด, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์ประสิทธิ์ ยามาลี, M.B.A.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล วุฒิจำนงค์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 7 เดือน เมษายน พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ในการผลิตข้าวเสริมวิตามิน

Application of Edible Coating in the Production of Vitamin Fortified Rice

โดย

นางสาวลลิตา ชาดิยานนท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1470-5

ลลิตา ชาตียนนท์ 2549: การใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ในการผลิตข้าวเสริมวิตามิน
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล วุฒิจำนงค์, Ph.D. 145 หน้า
ISBN 974-16-1470-5

การขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร การล้างและการหุงสุกข้าวสารทำให้ปริมาณวิตามินใน
ข้าวลดน้อยลง ดังนั้นจึงศึกษากระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินโดยใช้สารเคลือบที่รับประทาน
ได้เพื่อทดแทนปริมาณวิตามินที่สูญเสียไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบที่
รับประทานได้ต่อคุณภาพของข้าวพรีมิกซ์ และหาอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสาร
หอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินตามมาตรฐานที่กำหนด รวมถึงการยอมรับข้าว
เสริมวิตามินของผู้บริโภค โดยใช้เพศดินปริมาณเมทอกซิลดำ 3 ชนิด คือ เพศดินปริมาณเมทอก
ซิลร้อยละ 36 ปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 31 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18 และปริมาณเมทอกซิลร้อย
ละ 28 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21 และสิ่งทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้เคลือบเพศดิน พบว่า ค่า L^* , a^* ,
 b^* และปริมาณความชื้นของข้าวพรีมิกซ์ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่า L^* , a^* และ b^* 71.67-
73.00, 13.07-14.32, 78.97-80.92 และความชื้นร้อยละ 8.01-8.93 ตามลำดับ และข้าวพรีมิกซ์ที่
เคลือบด้วยเพศดินที่มีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 มีปริมาณการสูญเสียไทอะมีน ไโรโบฟลาวิน
และไนอะซินจากการล้างน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการเคลือบข้าวด้วยเพศดินไม่สามารถป้องกันการ
การสูญเสียไทอะมีน ไโรโบฟลาวินและไนอะซินในระหว่างการหุงสุกในน้ำที่มากเกินไปได้อย่างมี
นัยสำคัญ ($p > 0.05$) อัตราส่วนระหว่างข้าวพรีมิกซ์ต่อข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสม คือ 1 ต่อ 70
เมื่อนำไปหุงสุกมีปริมาณไทอะมีน และไนอะซิน 0.17 และ 27.89 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม
ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 10 ของปริมาณไทอะมีนและไนอะซินที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน
สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคแบบ
Central Location Test และ Home Use Test ให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ ผู้บริโภคยอมรับข้าว
เสริมวิตามินคิดเป็นร้อยละ 95 และ 98 ตามลำดับ

ลลิตา ชาตียนนท์
ลายมือชื่อนิติกร


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

3 / พ.ช. / 49

Lalita Chatiyant 2006: Application of Edible Coating in the Production of Vitamin Fortified Rice. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Phaisan Wuttijumnong, Ph.D. 145 pages. ISBN 974-16-1470-5

The quality of vitamins in rice grain is decreased by milling, washing and cooking process. Therefore, the production of vitamin fortified rice using edible coating was investigated. The objectives were to study the effect of edible coating on quality of rice premix, the ratio of rice premix to milled rice to attain desired enrichment levels in the final product and consumer acceptance. Three types of low methoxyl pectin (degree of methoxyl 36%, degree of methoxyl 31% degree of amidation 21% and degree of methoxyl 28% degree of amidation 18%) and control (no pectin coating) were investigated. The results showed that L* a* b* values and moisture contents of rice premix were not significantly different ($p > 0.05$). Their values were 71.67-73.00, 13.07-14.32, 78.97-80.92 and 8.01-8.93% respectively. Rice premix coated with pectin degree of methoxyl 36% showed the lowest in washing loss for thiamine, riboflavin and niacin. However pectin coating could not prevent the significant loss of thiamine and riboflavin during cooking in excess water ($p > 0.05$). The suitable ratio of rice premix to milled rice was 1:70. The cooked vitamin fortified rice at this ratio had 0.17 mg/100 g of thiamine and 27.89 mg/100 g of niacin content that attaining the desire enriched thiamine and niacin levels which were more than 10% of thiamine and niacin content recommended by Thai Reference Daily Intake (Thai RDI). The results of consumer acceptance test using Central Location Test (CLT) and Home Use Test (HUT) were similarly. It was found that HUT and CLT consumers accepted vitamin fortified rice 95 and 98% respectively.

Lalita Chatiyant

Student's signature

P. Wuttijumnong

Thesis Advisor's signature

3 / April / 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ. ดร. ไพศาล วุฒิจำนงค์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. กมลวรรณ แจ่มชัด กรรมการที่ปรึกษา วิชาเอก และอาจารย์ประสิทธิ์ ยามาดี กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และ คำแนะนำระหว่างดำเนินงานวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ธนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อความ สมบูรณ์แห่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และอาจารย์ ดร.มาศอุบล ทองงาม ที่คอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการ ใช้ Confocal Laser Scanning Microscopy

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณวิสุทธิ เสือวิไล บริษัทเลอวิไทย จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อ วิตามิน บริษัท อีสต์เอเชียติก จำกัดและห้างหุ้นส่วน จำกัด นิวทริชั่น ที่เอื้อเฟื้อเพคติน เจ้าหน้าที่ของ คณะอุตสาหกรรมเกษตร และภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกใน การทำงาน การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีต่าง ๆ นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และ น้อง ๆ นิสิตปริญญาเอก ปริญญาโท และปริญญาตรี ที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จ อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณที่มีได้เอยนามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน สำหรับความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจ และกำลังใจที่มีให้โดยตลอดการศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการ โครงการทุนวิจัยมหบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2548 และความเห็น ในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย เสมอไป

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอมอบส่วนที่ดีของวิทยานิพนธ์นี้ให้แก่ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุก ท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว

ลลิตา ชาตียนนท์

เมษายน 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจสอบเอกสาร	3
โครงสร้างของข้าว องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของข้าว	3
การแปรรูปข้าว	20
การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว	21
การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว	26
ปริมาณสารอาหารของข้าวเสริมวิตามิน	56
อุปกรณ์และวิธีการ	62
อุปกรณ์	62
วิธีการ	67
ผลและวิจารณ์	75
สรุป	106
ข้อเสนอแนะ	107
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	108
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	119
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณวิตามินต่อหนึ่งหน่วยบริโภค	132
ภาคผนวก ค แบบสอบถาม	136
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	145

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการขัดสีข้าวเปลือก 100 กรัม ที่ความชื้นร้อยละ 14	8
2 ความคงตัวของวิตามินภายใต้สภาวะต่าง ๆ	17
3 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขาว ข้าวเหนียว และข้าวกล้อง หุงสุกใน ปริมาณ 100 กรัม	18
4 ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินที่สูญเสียที่ระดับการขัดสีข้าวต่าง ๆ กัน	22
5 อิทธิพลของการขัดสีข้าวต่อปริมาณวิตามินบี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	23
6 ร้อยละของการสูญเสียสารอาหารในระหว่างการล้างหุงต้มโดยที่ใช้น้ำมากเกินไป	24
7 คุณสมบัติทางหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองในอาหาร	44
8 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสาร ข้าวพรีมิกซ์ ข้าวกล้อง และข้าวเสริมวิตามินผสม 1 ต่อ 200 (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	51
9 ปริมาณวิตามินที่คงอยู่หลังจากการหุงต้มข้าวพรีมิกซ์ (Shingen)	53
10 ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน (Dietary Reference Intake [DRI]): ปริมาณวิตามินที่แนะนำสำหรับแต่ละบุคคล	57
11 ปริมาณสารอาหารที่แนะนำต่อวันของไทย (Thai Reference Daily Intake [RDI]): ปริมาณวิตามินที่แนะนำต่อวัน	57
12 ปริมาณวิตามินของข้าวเคลือบวิตามินบีของไทย	58
13 มาตรฐานข้าวเสริมสารอาหารของสหรัฐอเมริกา (มิลลิกรัม ต่อ ปอนด์)	58
14 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสาร ข้าวกล้องและข้าวเสริมวิตามินผสม 1 ต่อ 200 ของข้าวญี่ปุ่น (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	59
15 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของข้าวหอมมะลิเติมวิตามิน (ข้าวช้างทิพย์)	59
16 ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของกลุ่มธัญพืชและผลิตภัณฑ์	60
17 เงื่อนไขการกล่าวอ้างทางโภชนาการของวิตามิน โดยใช้เกณฑ์ต่อปริมาณหนึ่งหน่วย บริโภค	61
18 ค่า L^* , a^* และ b^* ของข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบเพคตินและเคลือบเพคตินทั้ง 3 ชนิด	80
19 ปริมาณไทอะมีนของข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้าง หลังล้างและหุงสุกในน้ำมากเกินไปและ รินน้ำทิ้ง และร้อยละการสูญเสียไทอะมีนของข้าวพรีมิกซ์ จากการล้างและหุงสุก	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
20 ปริมาณไรโบฟลาวินของข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้าง หลังล้างและหุงสุกในน้ำมากเกินพอและ รินน้ำทิ้ง และร้อยละการสูญเสียไทอะมีนของข้าวพรีมิกซ์ จากการล้างและหุงสุก	84
21 ปริมาณไนอะซินของข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้าง หลังล้างและหุงสุกในน้ำมากเกินพอและ รินน้ำทิ้ง และร้อยละการสูญเสียไทอะมีนของข้าวพรีมิกซ์ จากการล้างและหุงสุก	85
22 ค่า $L^* a^* b^*$ ของข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุก	86
23 ปริมาณไทอะมีนของข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก	87
24 ปริมาณไรโบฟลาวินของข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก	88
25 ปริมาณไนอะซินของข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก	90
26 คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของข้าวหุงสุก	91
27 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test	93
28 พฤติกรรมการซื้อและการบริโภคข้าวของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการ ยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test	97
29 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนของผู้ตอบแบบสอบถามใน การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test	100
30 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนของผู้ตอบแบบสอบถามใน การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Home Use Test	101
31 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริม วิตามินก่อนหุงสุกและข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกในการทดสอบการยอมรับของ ผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test	103
32 การยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและข้าว เสริมวิตามินหลังหุงสุกในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก 1 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเกิดไทโอโครม	124
ก 2 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของไรโบฟลาวิน	131
ข 1 ปริมาณวิตามินต่อหนึ่งหน่วยบริโภคของข้าวหุงสุก	133
ข 2 ร้อยละของปริมาณวิตามินตาม Thai RDI	135
ข 3 ปริมาณไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน (มิลลิกรัม) ที่ได้รับของข้าวหอมมะลิ และข้าวเสริมวิตามินหุงสุกเมื่อบริโภค 3 มื้อ ใน 1 วัน	135

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	5
2	สูตรโครงสร้างทางเคมีของไทอะมีน	9
3	สูตรโครงสร้างทางเคมีของไรโบฟลาวิน	12
4	สูตรโครงสร้างทางเคมีของไนอะซินและไนอะซินาไมด์	13
5	สูตรโครงสร้างทางเคมีของโทโคเฟอรอล 4 ชนิด คือแอลฟา- บีตา- แกมมา- และ เดลตา-โทโคเฟอรอล	15
6	สูตรโครงสร้างของอะไมโลส	31
7	สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพคติน	32
8	สูตรโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบของแอลจินต (a) กรดแมนนูโรนิก (b) กรดกลูโรนิก (c) โพลีเมอร์ของกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูโรนิก	33
9	สูตรโครงสร้างของเพคติน	34
10	โมเดลกล่องไข่	35
11	กระบวนการเกิดโมเดลกล่องไข่	36
12	โครงสร้างของเจลในส่วนที่โมเลกุลของสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกัน (junction zone)	36
13	ส่วนที่โมเลกุลของสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกัน (a) พันธะไฮโดรเจน (b) พันธะไอออนิก	37
14	สูตรโครงสร้างของคาราจีแนน (a) แคลปป์-คาราจีแนน (b) ไอโอตา-คาราจีแนน (c) แลมบ์ดา-คาราจีแนน	40
15	สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	42
16	กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินของ Hoffman-La Roche	49
17	กระบวนการผลิตข้าวสารเสริมวิตามินของ Ricegrowers' Co-operative Limited	50
18	กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามิน "Shingen" (พรีมิกซ์)	52
19	วิธีการเตรียมข้าวพรีมิกซ์	69
20	เครื่องผสมแบบลูกเต๋า	72
21	ลักษณะเมล็ดข้าวพรีมิกซ์ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ (a) ไม่ได้เคลือบเพคติน (b) เคลือบเพคติน	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
22	
ลักษณะข้าวพรีมิกร์ก่อนล้างที่ถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy (a) ไม่ได้เคลือบเพคติน (b) เคลือบเพคติน	77
23	
การแพร่ของวิตามินเข้าไปข้างในเมล็ดข้าวพรีมิกร์เป็นระยะประมาณ 259.74 ไมครอน ที่ถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy	78
24	
ลักษณะเมล็ดข้าวพรีมิกร์หลังการล้างที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล (a) ไม่ได้เคลือบเพคติน (b) เคลือบเพคติน	78
25	
สีของข้าวพรีมิกร์ที่เคลือบด้วยเพคตินที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล (a) ก่อนล้าง (b) หลังจากการล้าง (c) หลังจากหุงสุกในน้ำมากเกินพอและรินน้ำทิ้ง	79
26	
ลักษณะข้าวพรีมิกร์ที่เคลือบด้วยเพคตินซึ่งถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ที่กำลังขยาย 5 เท่า (a) ก่อนล้าง (b) หลังจากการล้าง (c) หลังจากหุงสุก ในน้ำมากเกินพอและรินน้ำทิ้ง	79

การใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ในการผลิตข้าวเสริมวิตามิน

Application of Edible Coating in the Production of Vitamin Fortified Rice

คำนำ

คนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ซึ่งปริมาณการบริโภคข้าวในปี พ.ศ. 2547 คือ 10.24 ล้านเมตริกตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) ซึ่งมีทั้งข้าวกล้องและข้าวขาว (ข้าวสาร) ในลักษณะข้าวหุงสุก แต่ผู้บริโภคมักนิยมบริโภคข้าวขาวมากกว่าข้าวกล้อง ถึงแม้ว่าข้าวกล้องซึ่งให้คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาวก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากข้าวขาวอร่อยและสามารถย่อยได้ง่ายกว่าข้าวกล้อง การแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ประกอบด้วยขั้นตอนการกะเทาะเปลือก และการขัดผิวซึ่งทำให้คุณค่าทางอาหารน้อยลงทั้งโปรตีน ไขมัน เยื่อใย ธาตุ รวมทั้งวิตามิน โดยเฉพาะโทอะมิน ไบโอฟลาเวิน และไนอะซิน ซึ่งปริมาณการสูญเสียโทอะมิน ไบโอฟลาเวิน และไนอะซินหลังจากการขัดสี คือ ร้อยละ 76, 56 และ 63 ตามลำดับ (Kik and William, 1945) นอกจากนี้ก่อนการหุงข้าวสาร ผู้บริโภคมักทำความสะอาดข้าวสารโดยการล้าง (ข้าวขาว) ทำให้สูญเสียวิตามินที่ละลายในน้ำทั้งโทอะมิน ไบโอฟลาเวิน และไนอะซินร้อยละ 22-59, 11-26 และ 20-60 ตามลำดับ (Juliano, 1993) ส่งผลให้ข้าวหุงสุกมีปริมาณวิตามินดังกล่าวเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย คือ 0.163, 0.013 และ 1.476 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม (อรอนงค์, 2547) แต่ปริมาณวิตามินดังกล่าวที่แนะนำต่อวันสำหรับคนไทย คือ 1.5, 1.7 และ 20 มิลลิกรัม (คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2546) จึงทำให้ร่างกายได้รับวิตามินไม่เพียงพอ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการผลิตข้าวเสริมวิตามิน โดยใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ เพื่อทดแทนปริมาณวิตามินที่สูญเสียไปในระหว่างการแปรรูปข้าวเปลือก การล้าง และหุงสุก ซึ่งเทคนิคการเคลือบเป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวได้ และเพชดินปริมาณเมทอกซิลดามีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ยาก และคงทนต่อความร้อน (Albert and Mittal, 2002; Shrestha *et al.*, 2003) ดังนั้นจึงนำมาใช้เป็นสารเคลือบที่รับประทานได้เพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินหลังจากการล้างและหุงสุก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดสารเคลือบที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวพรีมิกซ์
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินตามมาตรฐานที่กำหนด
3. เพื่อศึกษาการยอมรับข้าวเสริมวิตามินของผู้บริโภค

การตรวจเอกสาร

1. โครงสร้างของข้าว องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

1.1 โครงสร้างของข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์หญ้า (gramineae) โดยทั่วไปข้าวที่ปลูกเพื่อบริโภคมี 2 สปีชีส์ (species) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa* L. และ *O. glaberrima* ลักษณะโครงสร้างเมล็ดข้าวหรือผลของข้าวแสดงดังภาพที่ 1 และมีส่วนประกอบ ดังนี้ (งามชื่น, 2546; อรอนงค์, 2547)

1.1.1 แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มผลหรือข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) มีลักษณะเป็นเปลือกแข็ง ผิวหยาบ แยกเป็น 2 ฝาประกบกันห่อหุ้มข้าวกล้องตามแนวยาว เรียกว่า เปลือกฝาใหญ่ (lemma) และเปลือกฝาเล็ก (palea) ขอบเปลือกทั้ง 2 ฝา มีลักษณะเป็นตะขอเกี่ยวกันทำให้สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าว ส่วนของแกลบมีประมาณร้อยละ 17-24 ของน้ำหนักข้าวเปลือก ส่วนใหญ่เปลือกจะมีสีฟางและสีน้ำตาล

1.1.2 เยื่อหุ้มผล (pericarp) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก พัฒนามาจากผนังรังไข่ มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์ 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเซลลูโลส (cellulose) เป็นองค์ประกอบสำคัญ ในชั้นเยื่อหุ้มผลนี้แบ่งได้เป็น 3 ชั้น คือ เอพิคาร์พ หรือ เอกโซคาร์พ (epicarp หรือ exocarp) เป็นผิวหรือผนังหรือเปลือกที่อยู่นอกสุด มีลักษณะเรียบ เหนียว และเป็นมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว เมโซคาร์พ หรือ ไฮพอเดิร์ม (mesocarp หรือ hypoderm) เป็นผนังชั้นกลาง และเอนโดคาร์พ (endocarp) เป็นเยื่อชั้นใน

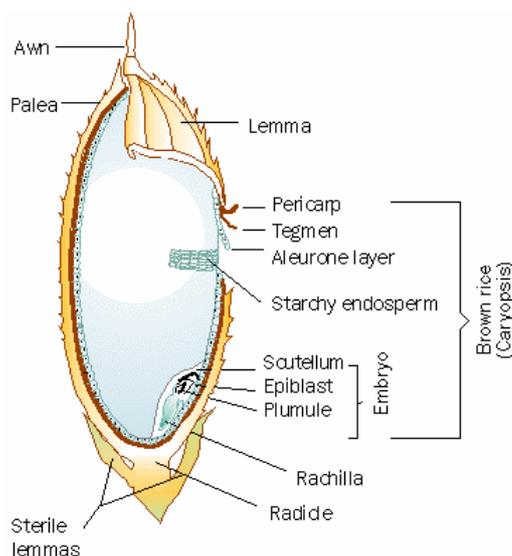
1.1.3 เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tegmen) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปยาวเรียงตามขวาง และมีผนังบางกั้นซึ่งหนาประมาณ 0.5 ไมครอน ภายในเซลล์มีไขมัน และสารสีเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผลทำให้ข้าวกล้องมีสี

1.1.4 นิวเซลลัส (nucellus) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่พ้นระหว่าง นิวเซลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน

1.1.5 เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนาจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ข้าว ลักษณะของเซลล์แอลิวโรนแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ เซลล์ส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อของเมล็ดจะมีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ และมีไซโตพลาซึม (cytoplasm) อยู่หนาแน่น ในเซลล์มีกลุ่มโปรตีน (protein bodies) กลุ่มไขมัน (lipid bodies) และสารอื่น ๆ เช่น นิวเคลียส (nucleus) ไมโครบอดี (microbodies) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (endoplasmic reticulum) เวสิเคิล (vesicle) และพลาสติด (plastid) เป็นต้น ส่วนเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะจะบาง มีไซโตพลาซึม (cytoplasm) น้อย รูปร่างยาว มีกลุ่มไขมัน และกลุ่มโปรตีนน้อย มีเวสิเคิลมาก เป็นต้น ส่วนผนังเซลล์จะมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ประกอบอยู่

1.1.6 คัพภะ หรือเชื้อชีวิต (embryo หรือ germ) จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (radicle) ต้นอ่อน (plumule) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมด้วยโปรตีน และไขมันในส่วนต่าง ๆ

1.1.7 เนื้อเมล็ด หรือเนื้อข้าว (endosperm) มีมากที่สุดที่เมล็ดข้าว (ประมาณ ร้อยละ 80 ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนชั้นซับแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด (starchy endosperm) ในชั้นซับแอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ภายใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด 1-2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5-0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกัน (ขนาด 2-3.5 ไมครอน) แต่ในส่วนเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granules) มีขนาด 3-9 ไมครอน ที่มีอยู่มากอัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช (compound granules) อยู่ภายในเซลล์พาราไคมา (parenchyma cells) ที่ผนังเซลล์บาง มีรูปร่างรี หรือสี่เหลี่ยมเข้าสู่ใจกลางเมล็ดโดยด้านนอกของเมล็ดจะรีและยาวมากกว่าด้านในของเมล็ด



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: Hettel (2004)

1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณเพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหารและโภชนาการ ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนของข้าว (Juliano, 1993)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการขัดสีข้าวเปลือก 100 กรัม ที่ความชื้นร้อยละ 14 แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ข้าวเปลือก 100 กรัม มีโปรตีนประมาณ 5.8-7.7 กรัม ไขมัน 1.5-2.3 กรัม เส้นใยหยาบ 7.2-10.4 กรัม เถ้า 2.9-5.2 กรัม คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ 64-73 กรัม เส้นใยอาหาร 16.4-19.2 กรัม และให้พลังงาน 378 กิโลแคลอรี เมื่อกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือกได้เป็นข้าวกล้องทำให้มีสารอาหารซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีเพิ่มขึ้น คือ ปริมาณโปรตีน (7.1-8.3 กรัม) ไขมัน (1.6-2.8 กรัม) คาร์โบไฮเดรต (73-87 กรัม) และพลังงาน (363-385 กิโลแคลอรี) แต่ปริมาณเส้นใยหยาบ (0.6-1.0 กรัม) เถ้า (1.0-1.5 กรัม) และเส้นใยอาหาร (2.9-3.9 กรัม) ลดลง เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีมากในแกลบ ส่วนข้าวสารซึ่งได้จากการขัดขาวมีปริมาณสารอาหาร คือ โปรตีน (6.3-7.1 กรัม) ไขมัน (0.3-0.5 กรัม) เส้นใย

หยาบ (0.2-0.5 กรัม) เถົา (0.3-0.8 กรัม) เส้นใยอาหาร (0.7-2.3 กรัม) และพลังงาน (349-373 กิโลแคลอรี) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง เพราะส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเคลลัส ชั้นแอลิวโรน และคัพภะหลุดออกไปทำให้เมล็ดข้าวสารมีสีขาวขึ้น และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (77-89 กรัม) เพิ่มขึ้น ส่วนผลพลอยได้จากการขัดสีข้าวเปลือกที่สำคัญ คือ รำข้าวซึ่งประกอบด้วยรำจากการขัดขาว รำจากการขัดมันและคัพภะปนกันอยู่ ทำให้มีสารอาหารซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายอยู่สูง คือ โปรตีน 11.3-14.9 กรัม ไขมัน 15.0-19.7 กรัม เส้นใยหยาบ 7.0-11.4 กรัม เถົา 6.6-9.9 กรัม เส้นใยอาหาร 24-29 กรัม จึงมีพลังงาน (399-476 กิโลแคลอรี) สูงขึ้น แต่มีคาร์โบไฮเดรต (34-62 กรัม) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสาร ผลพลอยได้อีกอย่าง คือ แกลบ ประกอบด้วย โปรตีน (2.0-2.8 กรัม) ไขมัน (0.3-0.8 กรัม) และ คาร์โบไฮเดรต (22-24 กรัม) น้อยที่สุด ในขณะที่มีเส้นใยหยาบ (34.5-45.9 กรัม) เถົา (13.2-21.0 กรัม) เส้นใยอาหาร (66-74 กรัม) มากที่สุด และมีพลังงาน 265-332 กิโลแคลอรี

ข้าวเปลือก 100 กรัม มีวิตามินในกลุ่มวิตามินบี คือ ไนอะซิน (niacin) (2.9-5.6 มิลลิกรัม) มากที่สุด รองลงมา คือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α -tocopherol) (0.90-2.00 มิลลิกรัม) มีไทอะมีน (thiamine) (0.26-0.33 มิลลิกรัม) น้อย และไรโบฟลาวิน (riboflavin) (0.06-0.11 มิลลิกรัม) น้อยที่สุด เมื่อกะเทาะเปลือกข้าวออกจะได้ข้าวกล้องซึ่งมีไนอะซิน (3.5-5.3 มิลลิกรัม) มากที่สุด รองลงมาคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (0.90-2.5 มิลลิกรัม) ไทอะมีน (0.29-0.61 มิลลิกรัม) และไรโบฟลาวิน (0.04-0.14 มิลลิกรัม) ตามลำดับ โดยมีปริมาณมากกว่าข้าวเปลือก เมื่อขัดขาว และขัดมันข้าวกล้องได้เป็นข้าวสารพบว่า ในข้าวสารมีวิตามินทุกตัวลดลงเมื่อเทียบกับข้าวกล้อง มีแอลฟา-โทโคเฟอรอล (75-0.30 มิลลิกรัม) รองลงมาคือ ไนอะซิน (1.3-2.4 มิลลิกรัม) ไทอะมีน (0.02-0.11 มิลลิกรัม) และไรโบฟลาวิน (0.02-0.06 มิลลิกรัม) ตามลำดับ แสดงว่าวิตามินมีอยู่ในส่วนเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ดชั้นแอลิวโรน และคัพภะ ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินอีและไนอะซิน ดังนั้นรำข้าวที่ได้จากการขัดขาว และขัดมันจึงมีไนอะซิน (26.7-49.9 มิลลิกรัม) วิตามินอี (2.60-13.3 มิลลิกรัม) ไทอะมีน (1.20-2.40 มิลลิกรัม) และไรโบฟลาวิน (0.18-0.43 มิลลิกรัม) มากกว่าข้าวสาร ส่วนแกลบจะมีวิตามินน้อย และไม่พบวิตามินอีเลย

สำหรับแร่ธาตุในข้าวเปลือก 100 กรัม จะมีแคลเซียม (Calcium [Ca]) 10-80 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส (Phosphorus [P]) 0.17-0.39 กรัม ฟิตินฟอสเฟต (phytin phosphate) 0.18-0.21 กรัม เหล็ก (Iron [Fe]) 1.4-6.0 มิลลิกรัม และสังกะสี (Zinc [Zn]) 1.7-3.1 มิลลิกรัม ในข้าวกล้องมีแคลเซียม (10-50 มิลลิกรัม) เหล็ก (0.2-5.2 มิลลิกรัม) และสังกะสี (0.6-2.8 มิลลิกรัม)

ลดลง แต่ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมใกล้เคียงกับข้าวเปลือก สำหรับข้าวสารมีแร่ธาตุ
ทุกตัวลดลง แสดงว่าแร่ธาตุจะมีอยู่ในส่วนเปลือก เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแกลบโรน และคัพภะ
ทำให้รำข้าวมีปริมาณแคลเซียม (30-120 มิลลิกรัม) มาก และมีฟอสฟอรัส (1.1-2.5 กรัม) โพแทสเซียม
ฟอสเฟต (0.9-2.2 กรัม) เหล็ก (8.6-43.0 มิลลิกรัม) และสังกะสี (4.3-25.8 มิลลิกรัม) มากที่สุด เมื่อ
เปรียบเทียบกับข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวเปลือก แต่ในแกลบจะมีแคลเซียม (60-130 มิลลิกรัม)
มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรำ ข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวเปลือก แต่มีฟอสฟอรัสน้อยมาก และไม่
มีโพแทสเซียมเลย มีเหล็ก (3.9-9.8 มิลลิกรัม) และสังกะสี (0.9-4.0 มิลลิกรัม) น้อยกว่าในรำแต่
มากกว่าในข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวเปลือก ดังนั้นจะเห็นว่ารำจะเป็นแหล่งของวิตามิน และแร่
ธาตุที่ดีที่สุด รองลงมาคือข้าวกล้อง และข้าวสาร (อรอนงค์, 2547)

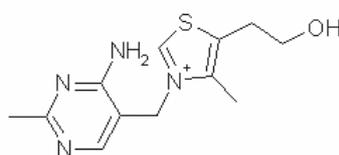
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการขัดสีข้าวเปลือก 100 กรัม ที่ความชื้นร้อยละ 14

องค์ประกอบทางเคมี	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำข้าว	เปลือกข้าว
โปรตีน (กรัม N x 5.95)	5.80 - 7.70	7.10 - 8.30	6.30 - 7.10	11.30 -14.90	2.00 - 2.80
ไขมัน (กรัม)	1.50 - 2.30	1.60 - 2.80	0.30 - 0.50	15.00 -19.70	0.30 - 0.80
เส้นใยหยาบ (กรัม)	7.20 -10.40	0.60 - 1.00	0.20 - 0.50	7.00 -11.40	34.50 -45.90
เถ้า (กรัม)	2.90 - 5.20	1.00 - 1.50	0.30 - 0.80	6.60 - 9.90	13.20 - 21.00
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	64.00- 73.00	73.00-87.00	77.00 -89.00	34.00- 62.00	22.00 - 34.00
เส้นใยอาหาร (กรัม)	16.40- 19.20	2.90- 3.90	0.70 - 2.30	24.00- 29.00	66.00 - 74.00
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	378.00	363.00	349.00	399.00	265.00
		- 385.00	- 373.00	- 476.00	- 332.00
โทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.26 - 0.33	0.29 - 0.61	0.02 - 0.11	1.20 - 2.40	0.09 - 0.21
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.06 - 0.11	0.04 - 0.14	0.02 - 0.06	0.18 - 0.43	0.05 - 0.07
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	2.90 - 5.60	3.50 - 5.30	1.30 - 2.40	26.70 -49.90	1.60 - 4.20
แอลฟา-โทโคเฟอรอล (มิลลิกรัม)	0.90 - 2.00	0.90 - 2.50	75 - 0.30	2.60 -13.30	0.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	10.00-80.00	10.00- 50.00	10.00-30.00	30.00	60.00
				- 120.00	- 130.00
ฟอสฟอรัส (กรัม)	0.17 - 0.39	0.17 - 0.43	0.08 - 0.15	1.10 - 2.50	0.03 - 0.07
ไฟติน ฟอสเฟต (กรัม)	0.18 - 0.21	0.13 - 0.27	0.02 - 0.07	0.90- 2.20	0.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.40 - 6.00	0.20 - 5.20	0.20 - 2.80	8.60-43.00	3.90 - 9.50
สังกะสี (มิลลิกรัม)	1.70 - 3.10	0.60 - 2.80	0.60 - 2.30	4.30-25.80	0.90 - 4.00

ที่มา: Juliano (1993)

1.3 วิตามินที่สำคัญในข้าว ข้าวจัดเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งโปรตีนที่สำคัญ นอกจากนี้ยังมีโทอะมีน ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน แอลฟา-โทโคเฟอรอล และสารอาหารอื่น ๆ ในปริมาณที่ค่อนข้างมาก แต่ในข้าวจะไม่มีวิตามินซี ดี และเอ (Juliano, 1993) วิตามินที่สำคัญที่มีอยู่ในข้าวได้แก่

1.3.1 วิตามินบีหนึ่ง หรือ ไทอะมีน มีหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) ในเมตาบอลิซึม (metabolism) ของคาร์โบไฮเดรต รูปที่ทำงานของไทอะมีน คือ ไทอะมีน ไพโรฟอสเฟต (thiamine pyrophosphate) หรือไทอะมีน ไดฟอสเฟต (thiamine diphosphate) ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ของเอนไซม์ทรานส์คีโตเลส (transketolase) ฟอสโฟคีโตเลส (phosphoketolase) ไพรูเวตดีไฮโดรจีเนส (pyruvate dehydrogenase) และแอลฟา-คีโต-กลูตาเรต ไฮโดรจีเนส (α -keto- glutarate hydrogenase) สูตรโครงสร้างของไทอะมีนประกอบด้วยวงแหวนไพริมิดีน (pyrimidine ring [4'-amino-2'-methylpyrimidinyl-5' -ylmethyl]) ซึ่งมีเมทิลีน (methylene bridge) เป็นตัวเชื่อมต่อกับอะตอมของไนโตรเจนตำแหน่งที่ 3 ของวงแหวนไทออล (thiazole ring [5-(2-hydroxyethyl)-4-methyl-thiazole]) (Eitenmiller and Landen, 1999) แสดงดังภาพที่ 2 โมเลกุลของไทอะมีนมีไนโตรเจนอะตอมที่มีสมบัติเป็นด่างในรูปหมู่เอมิโน (amino group) และหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium) ซึ่งสามารถรวมกับกรดอินทรีย์หรือกรดอนินทรีย์เป็นเกลือได้ ในธรรมชาติไทอะมีนจะอยู่ในรูปเอสเทอร์ (ester) กับฟอสเฟต (phosphate) ส่วนไทอะมีนอิสระ (free thiamine) จะอยู่ในรูปคลอไรด์ (chloride) (นิธิยา, 2545) ไทอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ (thiamine hydrochloride [C₁₂H₁₈ON₄SCl₂]) และไทอะมีน โมโนไนเตรต (thiamine mononitrate [C₁₂H₁₇O₄N₅S]) มักนำมาใช้ในยาและการเสริมสารอาหาร โดยไทอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ เป็นผลึกไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายยีสต์จาง ๆ มีรสเค็ม และรสชาติคล้ายถั่ว ความสามารถในการละลายน้ำ คือ 1 กรัม ต่อ น้ำ 1 มิลลิลิตร ซึ่งแตกต่างกับไทอะมีน โมโนไนเตรตซึ่งละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย คือ 0.027 กรัม ต่อ น้ำ 1 มิลลิลิตร จึงทำให้มีความแตกต่างในการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม (Eitenmiller and Landen, 1999)



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของไทอะมีน

ที่มา: School of Chemistry University (2002)

ไทอะมินถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เป็นกลางและเป็นด่าง (นิธิยา, 2545) หรือทำปฏิกิริยากับออกซิไดซิง เอเจนท์ (oxidizing agent) เช่น เพอร์ริกไซยาไนด์ (ferricyanide) ในภาวะด่างจะได้ไทโอโครม (thiochrome) ให้แสงเรืองสีฟ้า ในช่วงแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) (สมทรง, 2543) แต่ไม่ถูกทำลายด้วยแสง การหุงต้มอาหาร และการเก็บรักษาในภาวะที่เป็นกลางและเป็นด่างสามารถทำลายไทอะมินได้ เช่น การหุงข้าวในน้ำ ก้นจะไม่สูญเสียไทอะมิน แต่การหุงข้าวโดยใช้น้ำประปาและน้ำบ่อทำให้สูญเสียไทอะมินร้อยละ 10 และ 36 ตามลำดับ การที่ไทอะมินละลายในน้ำได้ดีจึงทำให้ถูกชะล้างออกไปจากอาหารได้ง่าย โดยเฉพาะระหว่างการแปรรูปอาหารในขั้นตอนการล้าง การลวก และการหุงต้ม เช่น การซาวข้าว จะสูญเสียไทอะมินร้อยละ 24 กลไกและอัตราการสลายตัวของไทอะมินด้วยความร้อนขึ้นอยู่กับ pH ของตัวกลาง โดยโมเลกุลของไทอะมินจะแยกสลายออกที่พันธะเมทิลีน แต่ในภาวะที่เป็นกรด การสลายตัวด้วยความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และมีการปล่อยส่วนของโมเลกุลที่เป็นไพริมิดีน และไทเอโซล ถ้า pH อยู่ในช่วง 6-7 จะเร่งการสลายตัวของไทอะมินและมีการแยกสลายที่วงแหวนไทเอโซลด้วย การสลายตัวของไทอะมินจะได้สารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเกิดจากการแตกตัวและเรียงตัวใหม่ของวงแหวนไทเอโซล ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดรสชาติคล้ายเนื้อ (นิธิยา, 2545)

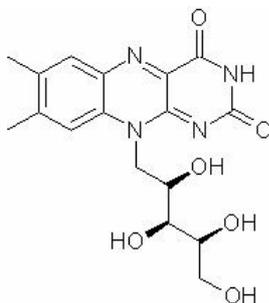
อาหารที่มีไทอะมินมาก ได้แก่ ข้าวซ้อมมือ เนื้อหมู เครื่องในสัตว์ และถั่วเหลือง โดยไทอะมินที่ได้จากสัตว์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปฟอสโฟริเลตเตด (phosphorylated) ส่วนในพืชจะอยู่ในรูปไทอะมินอิสระ (สมทรง, 2543) การขาดไทอะมินจะมีผลต่อระบบทางเดินอาหารทำให้การเคลื่อนไหวของลำไส้ลดน้อยลง เนื้อเยื่อขาดความยืดหยุ่นทำให้ท้องผูก บางครั้งมีอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน เป็นต้น ในร่างกายมีการสะสมไทอะมินได้ไม่มาก ในคนปกติจะมีประมาณ 25-30 มิลลิกรัม ซึ่งเพียงพอใช้ได้ประมาณ 2-3 สัปดาห์ ถ้าไม่ได้รับจากอาหารนานกว่านี้จะเกิดอาการของโรคเหน็บชาขึ้นได้ ซึ่งโรคเหน็บชาเป็นโรคที่ส่วนใหญ่เกิดจากการกินอาหารไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง ได้รับไทอะมินไม่เพียงพอกับแคลอรีที่ได้ โรคนี้พบบ่อยในประเทศไทย เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่กินข้าวสารขาวเป็นอาหารหลัก มีการกินอาหารประเภทเนื้อสัตว์และน้ำมันน้อย หรือได้รับอาหารที่มีสารต่อต้านไทอะมิน

ความต้องการไทอะมินขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้รับจากอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มาเกี่ยวข้องอีกด้วย เช่น อายุ น้ำหนักตัว การทำงานประจำวัน เด็กที่กำลังเจริญเติบโต หญิงตั้งครรภ์และให้นมบุตร

สำหรับคนไทย เด็กควรได้รับ 1.1-1.4 มิลลิกรัมต่อวัน ผู้ใหญ่ 1.0-1.2 มิลลิกรัมต่อวัน ส่วนหญิงตั้งครรภ์และระยะให้นมบุตรควรได้รับเพิ่มขึ้นอีกวันละ 0.4-0.5 มิลลิกรัม (สมทรง, 2543)

จากรายงานการสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการของประเทศไทยครั้งที่ 4 พ.ศ. 2538 โดยกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขพบว่า คนไทยได้รับไทอะมีนจากอาหาร โดยเฉลี่ยวันละ 0.9 มิลลิกรัม สำหรับปริมาณสูงสุดของไทอะมีนที่ได้รับในแต่ละวัน (Tolerable Upper Intake Level [UL]) โดยไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายยังไม่ได้กำหนดไว้เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเพียงพอ (คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2546)

1.3.2 วิตามินบีสอง หรือ ไรโบฟลาวิน ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโคเอนไซม์ฟลาวินโมโนนิวคลีโอไทด์ (flavin mononucleotide [FMN]) และฟลาวิน อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (flavin adenine dinucleotide [FAD]) ทำหน้าที่เป็นตัวพาอิเล็กตรอน (electron carrier) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำตาลกลูโคส (glucose) กรดไขมัน (fatty acid) กรดอะมิโน (amino acid) และพิวรีน (purine) (นิธิยา, 2545) นอกจากนี้ไรโบฟลาวินยังมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของร่างกาย การผลิตและการควบคุมฮอร์โมน (hormone) และการเกิดเซลล์เม็ดเลือดแดง (Ajayi and Ipadeola, 1993) ไรโบฟลาวิน ประกอบด้วยวงแหวนไอโซอัลโลซาซีน (isoalloxazine) ต่ออยู่กับสายข้างไรบิทิล (ribityl side chain) รวมเรียกว่า 7,8 dimethyl-10-Z1-D-ribityl isoalloxazine หรืออีกนัยหนึ่งคือ สารอนุพันธ์ของไอโซอัลโลซาซีนที่มีสายข้างเป็นไรบิทิล (สมทรง, 2543) ไรโบฟลาวินมีพันธะคู่ที่เป็นแบบคอนจูเกตเตด (conjugated) และในโตรเจนที่อยู่ในวงแหวนมากมายในโครงสร้าง (Choe *et al.*, 2005) แสดงดังภาพที่ 3 ไรโบฟลาวินมีน้ำหนักโมเลกุล 376 (สมทรง, 2543) เป็นผลึกรูปเข็มสีเหลืองปนแสด ละลายน้ำได้น้อยเพียง 12 มิลลิกรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ 27.5 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเติมยูเรีย (urea) หรือนำไปรวมกับธาตุโบรอน (Boron [B]) จะละลายน้ำได้ดีขึ้น (สมทรง, 2543) เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่เรืองแสงสีเหลืองอมเขียว มีรสขม และไม่มึน (นิธิยา, 2537) ที่ pH ต่ำกว่า 4 จะอยู่ในรูปของแคทไอออนิก (cationic [RFH₂⁺]) ซึ่งไม่สามารถเกิดการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) ที่สภาวะเป็นกลางจะอยู่ในรูปที่ไม่มีประจุ (RFH) สามารถเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ได้ และที่ pH สูงกว่า 9.7 จะอยู่ในรูปแอนไอออนิก (anionic [RF⁻]) สามารถเกิดการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ได้น้อยมาก (Drossler *et al.*, 2002) ปริมาณควอนตัม (quantum yield) และช่วงชีวิต (lifetime) สำหรับฟลูออเรสเซนซ์ของไรโบฟลาวินขึ้นอยู่กับตัวทำละลาย pH และการมีอยู่ของกรดอะมิโนที่อยู่ในระบบ (Drossler *et al.*, 2003)



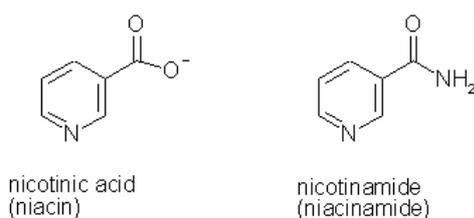
ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของไรโบฟลาวิน

ที่มา: Department of Biology Davidson College (2001)

ไรโบฟลาวิน มีความคงตัวต่อออกซิเจน ภาวะที่เป็นกรด และกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน โดยไรโบฟลาวินมีความคงตัวต่อความร้อนมากกว่าและมีความไวต่ออนุมูลฝอยน้อยกว่าไทอะมีน (Kwok *et al.*, 1998) แต่ไม่คงตัวในภาวะที่เป็นกลาง สลายตัวอย่างรวดเร็วในภาวะที่เป็นด่าง และถูกทำลายได้ง่ายเมื่อถูกแสง อัตราการถูกทำลายด้วยแสงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH และอนุมูลฝอยเพิ่มขึ้น ภายใต้ภาวะที่มีแสง และ pH ที่เป็นด่าง ไรโบฟลาวินจะถูกเปลี่ยนเป็นลูมิฟลาวิน (lumiflavin) ซึ่งไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย สารนี้สามารถเรืองแสงสีเขียวอมเหลือง แต่เมื่อ pH เป็นกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นลูมิโครม (lumichrome) ซึ่งให้สารเรืองแสงสีน้ำเงินและไรบิทอล (ribitol) การใช้ความร้อนร่วมกับภาวะที่เป็นกรดจะไม่ทำลายไรโบฟลาวิน แต่จะถูกทำลายได้ง่ายเมื่อถูกแสง กลไกการสลายตัวของไรโบฟลาวินด้วยแสงจะได้สารประกอบใหม่ 2 ชนิด คือ ลูมิฟลาวิน และลูมิโครม ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) การสลายตัวของไรโบฟลาวินด้วยแสงจะได้ซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide) และอนุมูลไรโบฟลาวิน (riboflavin radical) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical) และสารอื่น ๆ อีกมาก (นิริยา, 2545) ในสภาวะที่มีแสงจะมีการสูญเสียไรโบฟลาวินในปริมาณที่มากอย่างมีนัยสำคัญ เช่น น้ำนมมีการสูญเสียไรโบฟลาวินถึงร้อยละ 30 เมื่อโดนแสงอาทิตย์ แต่จากการต้มเป็นเวลา 30 นาที มีการสูญเสียเพียงร้อยละ 12 (Wishner, 1964) สำหรับมะกะโรนเมื่อโดนแสงภายใน 1 วัน สูญเสียไรโบฟลาวินมากกว่าร้อยละ 50 การสูญเสียไรโบฟลาวินขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงที่สัมผัสกับอาหาร (Woodcock *et al.*, 1982) ส่วนพาสต้าเมื่อสัมผัสกับแสง 2 วันมีการสูญเสียไรโบฟลาวินร้อยละ 57.8-64.3 (Furuya and Warthesen, 1984)

การขาดไรโบฟลาวินพบว่าเกิดขึ้นในหลายประเทศ เช่น จีน อินเดีย ออฟริกา และไทย ซึ่งจะทำให้มีความผิดปกติที่นัยน์ตา เช่น กลัวแสง น้ำตาไหล คันและปวดแสบปวดร้อนตาแดงเพราะมีการขยายของหลอดเลือดที่ตาขาวรอบ ๆ กระจกตา ส่วนริมฝีปากและมุมปากจะแห้งแตกเป็นร่องที่รอยแตกที่มุมปากเรียกว่า ปากนกกระจอก ลิ้นมีการอักเสบและเลียลิ้น มีสีแดงปนม่วง และที่ผิวหนัง บริเวณข้าง ๆ จมูก รอบตา หู ถุงอัมตะ และอวัยวะเพศหญิงจะเป็นสะเก็ดคัน ๆ ความต้องการไรโบฟลาวินของร่างกายพบว่ามีความสัมพันธ์กับอาหาร โปรตีน และเมทาบอลิซึมของร่างกาย เพราะว่าปริมาณที่ขับถ่ายทางปัสสาวะจะเปลี่ยนไป เมื่อดุลไนโตรเจนเปลี่ยนในกรณีที่มีการสร้างหรือการเจริญของเนื้อเยื่ออย่างรวดเร็ว (สมทรง, 2543)

1.3.3 วิตามินบีสาม หรือ ไนอะซิน เป็นผลึกรูปเข็ม ทนต่อความร้อนได้ถึง 230 องศาเซลเซียส ละลายน้ำ (1 กรัม ในน้ำ 60 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส) และแอลกอฮอล์ได้ดี (1 กรัม ในแอลกอฮอล์ 80 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส) ไม่ละลายในอีเทอร์ (ether) (สมทรง, 2543) ละลายในน้ำร้อนได้ดีกว่าน้ำเย็น มีสีขาว รสขม (นิธิยา, 2537) ในธรรมชาติมีไนอะซิน 2 รูป คือ กรดนิโคตินิก (nicotinic acid) มักพบในพืช และรูปอนุพันธ์นิโคตินาไมด์ (nicotinamide) มักพบในสัตว์ (นิธิยา, 2537, 2545) มีสูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 4 สูตรทางเคมีของไนอะซิน คือ ไพริมิดีน-3-คาร์บอกซิลิก เอซิด (pyridine-3-carboxylic acid) มีน้ำหนักโมเลกุล 123 ไนอะซินสามารถเปลี่ยนไปเป็นเอไมด์ (amide) ได้ง่าย และละลายน้ำได้ดีกว่า (1 กรัม ในน้ำ 1.5 มิลลิลิตร) แต่ไม่ละลายในอีเทอร์ ส่วนนิโคตินาไมด์เป็นแอคทีฟ ฟอรัม (active form) ของวิตามินนี้ที่ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ 2 ชนิด คือ นิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (nicotinamide adenine dinucleotide [NAD⁺]) และนิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ ฟอสเฟต (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate [NADP⁺]) (สมทรง, 2543) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาในวิถีไกลโคไลซิส (glycolysis) การสังเคราะห์กรดไขมัน และกระบวนการหายใจของเซลล์ (นิธิยา, 2545)

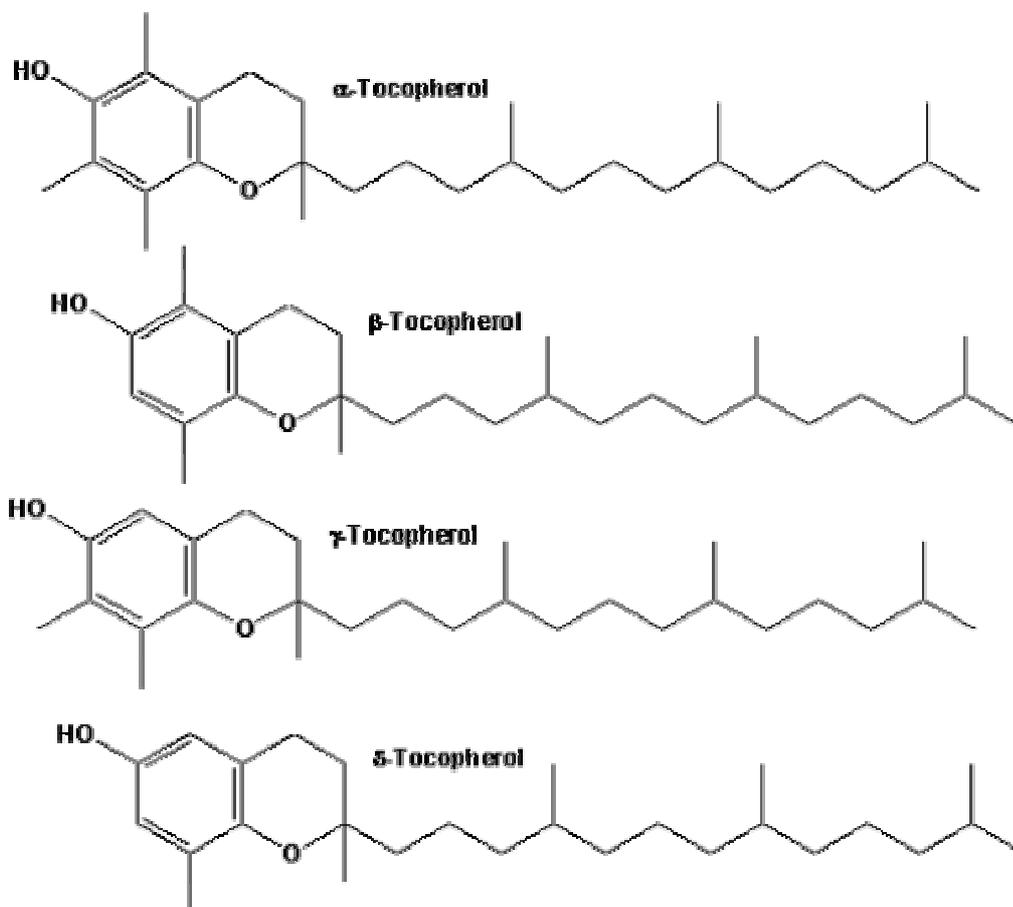


ภาพที่ 4 สูตร โครงสร้างทางเคมีของไนอะซินและไนอะซินาไมด์
ที่มา: Swaney (2002)

ไนอะซินเป็นวิตามินที่มีความคงตัวต่อความร้อน แสง ออกซิเจน กรดและด่าง การสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากไนอะซินละลายได้ในน้ำ จึงสูญเสียไปกับน้ำระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร การได้รับความร้อนในภาวะที่เป็นกรด หรือด่างจะทำให้ไนโคตินาไมด์เปลี่ยนเป็นกรด นิโคตินิกโดยไม่สูญเสียคุณค่าของวิตามิน การได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงจะลดความต้องการไนอะซินของร่างกาย เพราะในปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมของกรดอะมิโนทริปโตเฟน (tryptophane) สามารถเปลี่ยนเป็นไนอะซินได้ (นิธิยา, 2545)

อาการของการขาดไนอะซินมักจะพบได้จากการที่ร่างกายได้รับทริปโตเฟน และไพริดอกซิน (pyridoxine) ไม่เพียงพอและไม่ได้สัดส่วนกัน คนที่ขาดไนอะซินจะเกิดโรคเพลลากรา (pellagra) โรคนี้มีอาการเกี่ยวข้องกับทางเดินอาหาร คือ เบื่ออาหาร ปากลิ้นอักเสบ โดยเฉพาะบริเวณมุมปาก ปวดท้องและท้องเดิน ไม่มีกรดในกระเพาะอาหาร อาการเหล่านี้เกิดจากการอักเสบของเยื่อทางเดินอาหาร ที่ผิวหนังจะมีความผิดปกติที่เรียกว่า เพลลากรัส เดอร์มาติติส (pellagrous dermatitis) มักเป็นบริเวณที่ผิวหนังถูกแสงแดด คือ เมื่อถูกแดดจะมีอาการเป็นผื่นแดง ๆ คล้ายถูกแดดเผา ต่อมาผิวหนังจะมีสีคล้ำและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ผิวหนังจะหนาขึ้น ส่วนอาการของประสาทที่เกิดขึ้นเรียกว่า ดีเมนเทีย (dementia) เกิดจากความผิดปกติของการทำงานของประสาททำให้มีอาการปวดมึนศีรษะ หงุดหงิด นอนไม่หลับ วิตกกังวล ซึมเศร้า ความจำเสื่อมและสับสน และความรู้สึกสัมผัสผิดปกติ (สมทรง, 2543)

1.3.4 วิตามินอี หรือโทโคเฟอรอล ที่พบในธรรมชาติมีอยู่ทั้งในอาหารที่ได้จากพืชและสัตว์มีอยู่ 4 ชนิด คือ แอลฟา- บีตา- แกมมา- และเดลตา- โทโคเฟอรอล (alpha- beta- gamma- delta- tocopherol [α - β - γ - δ - tocopherol]) ซึ่งโทโคเฟอรอลแต่ละชนิดจะมีคุณค่าทางชีวภาพแตกต่างกันโดยแอลฟา-โทโคเฟอรอลมีคุณค่าทางชีวภาพมากที่สุด รองลงมา คือ บีตา-แกมมา- และเดลตา- โทโคเฟอรอล ตามลำดับ วิตามินอีมีลักษณะเป็นน้ำมันข้นหนืด สีเหลืองละลายได้ดีในไขมัน มีสูตรโมเลกุล $C_{29}H_{50}O_2$ น้ำหนักโมเลกุล 430 สูตรโครงสร้างทางเคมีของวิตามินอี แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของโทโคเฟอรอล 4 ชนิด คือแอลฟา- บีตา- แกมมา- และเดลตา-โทโคเฟอรอล

ที่มา: Ivanov and Aitzetmüller (1998)

วิตามินอีมีความคงตัวดีต่อกรดและภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และออกซิไดส์ ลิพิด (oxidized lipid) แต่ไม่ทนต่อแสง อัลตราไวโอเลต และจะสลายตัวมากขึ้นเมื่อมีออกซิเจน วิตามินอีมีหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ในอาหาร ซึ่งมีกลไก คือ จะไปรวมตัวกับอนุมูลอิสระ (free radical) หรืออนุมูลเพอร์ออกไซด์ (peroxyl radical) ได้เป็นสารไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และอนุมูลแอลฟา-โทโคเฟอรอล (α -tocopheryl radical) ซึ่งอาจรวมตัวกันเองด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) เป็น โทโคเฟอรอล ไดเมอร์ (tocopheryl dimer) และไตรเมอร์ (tocopheryl trimer) หรือเกิดออกซิเดชันและมีการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นโทโคเฟอรอกไซด์ (tocopheroxide) โทโคเฟอรอลไฮโดรควิโนน (tocopherylhydroquinone) และโทโคเฟอรอลควิโนน (tocopherylquinone) ปฏิกิริยานี้จะไม่เกิดกับแอลฟา-โทโคเฟอรอลอะซิเตท

(α -tocopheryl acetate) และวิตามินอีเอสเทอร์อื่น ๆ สารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวจะไม่มีกิจกรรมของวิตามินอี ความไวต่อปฏิกิริยาของวิตามินอีแต่ละชนิดซึ่งเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ แอลฟา- บีตา- แกมมา- และเดลตา- แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ เดลตา- แกมมา- บีตา- และ แอลฟา- (นิธิยา, 2545)

ในแต่ละวันคนเราต้องการวิตามินอีประมาณ 30 มิลลิกรัม เพื่อทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระให้แก่ร่างกาย เมื่อร่างกายได้รับอาหารที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากขึ้น จำเป็นต้องได้รับวิตามินอีเพิ่มมากขึ้น และวิตามินอียังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระให้กับวิตามินเอด้วย (นิธิยา, 2545) ความต้องการวิตามินอีของร่างกายมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่รับประทานเข้าไป คือ เมื่อรับประทานกรดไขมันไม่อิ่มตัวเข้าไปมากก็ต้องรับประทานวิตามินอีมากขึ้นตามสัดส่วนไปด้วย การขาดวิตามินอีจะทำให้มีความผิดปกติเกิดขึ้นทั้งในระบบสืบพันธุ์ กล้ามเนื้อ ประสาท และระบบเลือด ทำให้เป็นหมัน กล้ามเนื้อฝ่อลีบ เนื้อตายบางส่วน และเลือดจาง เนื่องจากเม็ดเลือดแตกง่าย การขาดวิตามินอีจะมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นมาก และมีไลโปเปอร์ออกไซด์ (lipoperoxides) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระบบการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางเสียหาย และทำให้กล้ามเนื้อไม่มีแรง (สมทรง, 2543)

1.3.5 ความคงตัวของวิตามิน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของวิตามิน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน แสง pH แร่ธาตุ โดยเฉพาะเหล็กและทองแดง (Copper [Cu]) ปฏิบัติการสัมพันธ์ระหว่างวิตามินกับวิตามิน และองค์ประกอบอื่น ๆ ของอาหาร (Richardson, 1993) โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของวิตามินอย่างมาก คือ ความร้อน ความชื้น pH และแสง จึงทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (Killeit, 1988) วิตามินที่มีความคงตัวน้อย คือ วิตามินซี เอ ดี ไอ โทอะมีน และบีสิบสอง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อมีไอออนของโลหะ เช่น เหล็กและทองแดงซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมสลายของวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินซี เอ และ ไอโทอะมีน (Ottaway, 1993) ความคงตัวของวิตามินที่สภาวะต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความคงตัวของวิตามินภายใต้สภาวะต่าง ๆ

วิตามิน	pH7	กรด	ด่าง	อากาศ	แสง	ความร้อน	การสูญเสียจากการหุงต้ม (ร้อยละ)
วิตามิน เอ	S	U	S	U	U	U	0 - 40
วิตามิน ซี	U	S	U	U	U	U	0 - 100
วิตามินบี 12	S	S	S	U	U	S	0 - 30
วิตามิน ดี	S	S	U	U	U	U	0 - 40
ไนอะซิน	S	S	S	S	S	S	0 - 75
วิตามินบี 6	S	S	S	S	U	U	0 - 40
ไทอะมิน	U	S	U	U	S	U	0 - 80
ไรโบฟลาวิน	S	S	U	S	U	U	0 - 75
วิตามิน อี	S	S	S	U	U	U	0 - 75

หมายเหตุ S = มีความคงตัว; U = ไม่มีความคงตัว

ที่มา: Birdsall (1975)

1.4 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหุงสุก การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขาว ข้าวเหนียว และข้าวกล้องหุงสุกในปริมาณ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ข้าวสารหุงสุกมีคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าข้าวกล้องและข้าวเหนียวหุงสุก ดังนั้นจึงควรปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสารด้วยการเติมสารอาหาร (enrichment) ที่สูญเสียไปเนื่องจากการขัดขาวข้าวกล้องเป็นข้าวสารโดยเฉพาะปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ หรือการเสริมสารอาหาร (fortification) ที่มีคุณค่าทางอาหารให้มากกว่าในข้าวกล้อง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขาว ข้าวหนึ่ง และข้าวกล้องหุงสุกใน ปริมาณ 100 กรัม

องค์ประกอบสารอาหาร	ข้าวขาว	ข้าวหนึ่ง	ข้าวกล้อง
น้ำ (กรัม)	68.440	72.490	73.090
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	130.000	114.000	111.000
โปรตีน (กรัม)	2.690	2.290	2.580
ไขมัน (กรัม)	0.280	0.270	0.900
เถ้า (กรัม)	0.410	0.220	0.460
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	28.170	24.730	22.960
กากใยอาหาร (กรัม)	0.400	0.400	1.800
น้ำตาล, ทั้งหมด (กรัม)	0.050	-	0.350
แร่ธาตุ			
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	10.000	19.000	10.000
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.200	0.200	0.420
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	12.000	12.000	43.000
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	43.000	42.000	83.000
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	35.000	37.000	43.000
โซเดียม (มิลลิกรัม)	1.000	3.000	5.000
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.490	0.310	0.630
ทองแดง (มิลลิกรัม)	0.069	0.094	0.100
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	0.472	0.260	0.905
ซีลีเนียม (ไมโครกรัม)	7.500	8.200	9.800
วิตามิน			
วิตามินซี, กรดแอสคอร์บิกทั้งหมด (มิลลิกรัม)	0.000	0.000	0.000
โทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.163	0.020	0.096
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.013	0.018	0.025
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	1.476	1.400	1.528
กรดแพนโทนิค (มิลลิกรัม)	0.390	0.324	0.285
วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	0.093	0.019	0.145

ตารางที่ 3 (ต่อ)

องค์ประกอบสารอาหาร	ข้าวขาว	ข้าวเหนียว	ข้าวกล้อง
วิตามิน (ต่อ)			
โฟเลตทั้งหมด (ไมโครกรัม)	58.000	4.000	4.000
กรดโฟลิก (ไมโครกรัม)	55.000	0.000	0.000
โฟเลต, อาหาร (ไมโครกรัม)	3.000	4.000	4.000
โฟเลต, DFE (ไมโครกรัม)	97.000	4.000	4.000
วิตามินบี 12 (ไมโครกรัม)	0.000	0.000	0.000
วิตามินเอ, IU (IU)	0.000	-	0.000
วิตามินเอ, RAE (ไมโครกรัม RAE)	0.000	-	0.000
ริตินอล (ไมโครกรัม)	0.000	-	0.000
วิตามินอี (แอลฟา-ทอโคเฟอรอล)		-	
(ไมโครกรัม)	0.040		0.030
วิตามินเค (ฟีโลควอโนล) (ไมโครกรัม)	0.000	-	0.600

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับคุณภาพเมล็ดข้าวทั้งทางตรง และทางอ้อม คือ ปริมาณความชื้นของข้าว ทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร สามารถใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่สำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อ และผู้ขายเกี่ยวข้องกับโดยตรงในการกำหนดราคาซื้อ-ขาย และในทางอ้อมนั้น ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าว หรือบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี จากการทดลองพบว่า ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ระดับความชื้นทั่วไปของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 13 ซึ่งจะเก็บรักษาได้ดีภายในเวลา 6 เดือน และถ้าข้าวมีความชื้นร้อยละ 12 จะทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้ความชื้นของข้าวยังมีผลต่อคุณภาพการสีของข้าวเปลือกโดยเป็นปัจจัยสำคัญตั้งแต่การเก็บเกี่ยวข้าวที่แก่ ซึ่งความชื้นที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 22-26 การตากข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา (ความชื้นไม่สูงกว่าร้อยละ 14) จนถึงเวลาการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นเหมาะสมก็จะทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดสูง และข้าวหักน้อย (อรอนงค์, 2547)

2. การแปรรูปข้าว

กระบวนการแปรรูปข้าวเป็นข้าวสารประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การทำความสะอาด การกะเทาะเปลือก การขัดผิว และการคัดขนาดเมล็ดก่อนบรรจุ (จิตรนา และคณะ, 2539)

2.1 การทำความสะอาด เพื่อแยกสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวเปลือกออกให้หมดโดยการใช้ตะแกรงและเครื่องเขย่าแยกส่วนที่หนักและรูปร่างไม่เหมือนเมล็ดข้าวออก เครื่องแยกจะติดแม่เหล็กเพื่อดูดเศษเหล็กและตะปู รวมทั้งเครื่องลมเป่าเพื่อแยกส่วนที่เบากว่าเมล็ดข้าว นอกจากนี้การทำความสะอาดมีความสำคัญต่อการป้องกันการเสียหายของเครื่องกะเทาะเปลือกอีกด้วย

2.2 การกะเทาะเปลือก เป็นการแยกเปลือกที่หุ้มเมล็ดอยู่ออกโดยการใช้เครื่องกะเทาะเปลือกซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ทำด้วยยาง 2 ลูก หมุนเข้าหากันด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดแรงดึงแยกเปลือกออกจากเมล็ดข้าว หรือใช้เครื่องกะเทาะเปลือกที่ทำด้วยแผ่นเหล็กหรือจานเหล็ก 2 แผ่นประกบกัน ด้านในของแผ่นจานบุด้วยหินหยาบทั้ง 2 แผ่น เมื่อใช้งานแผ่นล่างจะหมุนขณะที่แผ่นบนอยู่กับที่จึงเกิดการดึงแยกเปลือกออกจากเมล็ดได้ ในการกะเทาะเปลือกข้าวนี้จะได้ข้าวเต็มเมล็ดมาก ถ้าความชื้นของข้าวเปลือกเหมาะสม (ประมาณร้อยละ 14) และข้าวที่ได้เรียกว่าข้าวกล้อง

2.3 การขัดผิว เนื่องจากผู้บริโภคนิยมข้าวขาวจึงต้องทำการขัดผิวข้าวกล้องให้ขาวด้วยเครื่องขัดผิว ซึ่งใช้หลักการหมุนเหวี่ยงเมล็ดข้าวกับผิวเครื่อง ลักษณะคล้ายกรวยหมุน แล้วแยกรำลอดผ่านตะแกรงไปอีกทาง ในการขัดผิวควรใช้เครื่องขัดผิว 3-4 ชุด เพื่อลดอัตราการขัดผิวข้าวไม่ให้มากเกินไปจนเกิดข้าวหักหรือทำให้เกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นจนทำลายคุณภาพของข้าว ข้าวที่ขัดสีดีแล้วนี้เรียกว่า ข้าวสาร

2.4 การคัดขนาดเมล็ดก่อนบรรจุ โดยใช้ตะแกรงขนาดต่าง ๆ เพื่อแยกข้าวสารเต็มเมล็ดออกจากข้าวหักและปลายข้าว ได้ข้าวสารที่มีคุณภาพต่างกันได้แก่ ข้าวสารเจ้า 100% ชั้น 1 ข้าวสารเจ้า 100% ชั้น 2 ข้าวสารเจ้า 100% ชั้น 3 ข้าวสารเจ้า 5% ข้าวสารเจ้า 10% ข้าวสารเจ้า 15% และข้าวสารคละ เป็นต้น

3. การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

สาเหตุของการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว ได้แก่

3.1 การขัดขาวข้าว การขัดสีข้าวทำให้เชื้อหุ้มผล เปลือกหุ้มเมล็ด เยื่อชั้นแอลิวโรน และคัพภะหลุดออกเป็นข้าวขาว ทำให้มีการสูญเสียไขมัน โปรตีน เยื่อใย ธาตุโพแทสเซียม ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน และ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (Juliano, 1993) โดยปริมาณสารอาหารที่สูญเสียไปขึ้นอยู่กับระดับของการสีข้าว ซึ่งการขัดสีข้าวกล้องเป็นข้าวขาวจะสูญเสียโปรตีนร้อยละ 29 ไขมันร้อยละ 79 และเหล็กร้อยละ 67 (Grist, 1975) สำหรับวิตามินบีพบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียม ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจะลดลงจาก 3.55, 0.60 และ 53.08 ไมโครกรัมต่อกรัม เป็น 0.8, 0.26 และ 19.62 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นร้อยละของการสูญเสีย ดังนี้ โพแทสเซียมร้อยละ 76 ไรโบฟลาวินร้อยละ 56 และไนอะซินร้อยละ 63 (Kik and William, 1945) ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินที่สูญเสียที่ระดับการขัดสีข้าวต่าง ๆ กันแสดงดังตารางที่ 4 และอิทธิพลของการขัดสีข้าวต่อปริมาณวิตามินบี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) แสดงดังตารางที่ 5

นันทยา (2532) ศึกษาวิตามินในข้าวพบว่า ข้าวที่ผ่านการสีเพียงเล็กน้อย เช่น ข้าวกล้อง ข้าวมันปู ข้าวมะลิอนามัย และข้าวซ้อมมือ มีปริมาณโพแทสเซียม และไรโบฟลาวิน เท่ากับ 0.34-0.61 และ 0.11-0.18 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวที่ผ่านการสีและขัดหลาย ๆ ครั้งมีปริมาณโพแทสเซียม 0.08-0.28 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และไรโบฟลาวิน 0.02-0.09 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนข้าวเหนียวของข้าวกล้อง ข้าวมันปู ข้าวมะลิอนามัย และข้าวซ้อมมือจะมีปริมาณวิตามินทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันมากคือ มีปริมาณโพแทสเซียม และไรโบฟลาวิน 0.06-0.11 และ 0.04-0.06 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณแร่ธาตุและวิตามินที่สูญเสียที่ระดับการขัดสีข้าวต่าง ๆ กัน

ปริมาณสารอาหาร		ชนิดของข้าว		
		(ร้อยละของระดับการขัดสี)		
		ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
		(ร้อยละ 100)	(ร้อยละ 82)	(ร้อยละ 72)
แร่ธาตุ	แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกรัม)	0.3	0.1	0.1
	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	3.1	3.2	1.5
	สังกะสี (ส่วนในล้านส่วน)	24.0	33.0	18.0
	เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	38.0	8.8	4.1
	ทองแดง (ส่วนในล้านส่วน)	2.8	2.7	2.2
วิตามิน	โทอะมีน (ไมโครกรัมต่อกรัม)	2.8	2.4	1.6
	ไรโบฟลาวิน (ไมโครกรัมต่อกรัม)	0.5	0.3	0.2
	ไนอะซิน (ไมโครกรัมต่อกรัม)	29.6	29.0	6.0
	ไพริดอกซิน (ไมโครกรัมต่อกรัม)	5.1	5.1	1.9
	โฟเลท (ไมโครกรัมต่อกรัม)	0.5	0.3	0.1
	ไบโอติน (นาโนกรัมต่อกรัม)	91.0	48.0	43.0

ที่มา: Dexter (1998)

ตารางที่ 5 อิทธิพลของการขัดสีข้าวต่อปริมาณวิตามินบี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)

ชนิดของข้าวตามระดับการขัดสี	ปริมาณวิตามิน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)		
	ไทอะมีน	ไรโบฟลาวิน	ไนอะซิน
ข้าวกล้อง	0.54	0.06	4.50
ข้าวที่มีระดับการขัดสีธรรมดา (half-milled) น้ำหนักรำหายไปร้อยละ 5	0.39	0.05	3.50
ข้าวที่มีระดับการขัดสีดี (under-milled) น้ำหนักรำหายไปร้อยละ 7	0.32	0.04	2.40
ข้าวขัดขาว	0.12	0.03	1.40

ที่มา: ดัดแปลงจาก Juliano (1985)

3.2 การล้างข้าว ผู้บริโภคมักทำความสะอาดข้าวเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ ฝุ่น แมลง และสิ่งเจือปนอื่น ๆ โดยการซาวข้าวและเปลี่ยนน้ำหลายครั้งก่อนการหุงสุก ซึ่งในการซาวข้าวจะละลายสารอาหารบางส่วนออกจากเมล็ดข้าว และปริมาณสารอาหารที่สูญเสียไปขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการล้าง และปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง (Grist, 1975)

Malakar and Banerjee (1959) ได้ศึกษาอิทธิพลของการล้างและการหุงต้มต่อปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวพบว่า หลังจากการล้างและหุงข้าว มีการสูญเสียปริมาณเกลือแร่ถึงหนึ่งในสาม และสูญเสียปริมาณวิตามินที่ละลายในน้ำเกือบครึ่งหนึ่ง และการล้างข้าว 2 ครั้ง ก่อนการหุงต้มทำให้สูญเสียไทอะมีนร้อยละ 22-40 ไรโบฟลาวินร้อยละ 12-24 และไนอะซินร้อยละ 36-45

3.3 การหุงต้ม วิธีหุงต้มข้าวมีส่วนทำให้สารอาหารสูญเสียแตกต่างกันไป การหุงข้าวแบบแช่น้ำ (รินน้ำทิ้ง) จะทำให้เกลือแร่และวิตามินสูญเสียไปกับน้ำข้าวมากกว่าการหุงข้าวแบบไม่แช่น้ำ (Grist, 1975; อัมมาร และ วิโรจน์, 2533) ร้อยละของการสูญเสียสารอาหารในระหว่างการล้างหุงต้ม โดยที่ใช้น้ำมากเกินพอ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ร้อยละของการสูญเสียสารอาหารในระหว่างการล้างหุงต้มโดยที่ใช้น้ำมากเกินไป

สารอาหาร	การล้าง			การหุงต้มโดยไม่มี การล้างและการ หุงต้ม			
	ข้าวขัดขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวหนึ่ง	ข้าวขัดขาว	ข้าวขัดขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวหนึ่ง
น้ำหนักร	1 - 3	0.3 - 0.4		5 - 9	2 - 6	1 - 2	3
โปรตีน	2 - 7	0.0 - 1.0		2	0 - 7	4 - 6	0
ไขมัน	25-65			50	36-58	2-10	27-51
เยื่อใย	30						
เถ้า	49				16-25	11-19	29-38
น้ำตาลอิสระ	60			40			
คาร์โบไฮเดรต							
ทั้งหมด	1 - 2			10			
กรดอะมิโน							
อิสระ	15			15			
แคลเซียม	18-26	4.0 - 5.0		1-25			
ฟอสฟอรัส							
ทั้งหมด	20-47	4.0		5			
ไฟติน							
ฟอสเฟต	44						
เหล็ก	18-47	1.0-10.0					
สังกะสี	11			1			
แมกนีเซียม	7-70	1.0		1			
โพแทสเซียม	20-41	5.0		15			
ไทอะมีน	22-59	1.0-21.0	7-15	11	47-52		
ไรโบฟลาวิน	11-26	2.0 - 8.0	12-15	10	35-43		
ไนอะซิน	20-60	3.0-13.0	10-13	13	45-55		

ที่มา: คัดแปลงจาก Juliano (1993)

Malakar and Banerjee (1959) ศึกษาอิทธิพลของการหุงข้าวแบบรินน้ำทิ้งต่อปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวโดยใช้ข้าว 1,200 และ 1,600 มิลลิลิตร พบว่า การหุงข้าวด้วยปริมาณน้ำที่สูงกว่าแล้วรินน้ำทิ้ง จะสูญเสียสารอาหารมากกว่าการหุงข้าวด้วยปริมาณน้ำน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินบีซึ่งจะสูญเสียไปเกือบครึ่ง และการหุงข้าวแบบรินน้ำทิ้งทำให้สูญเสียโทอะมิน ไโรโบฟลาบิน และไนอะซินร้อยละ 32-54, 18-36 และ 31-41 ตามลำดับ

นันทยา (2532) ศึกษาการสูญเสียโทอะมินภายหลังการทำให้สุก โดยคิดจากปริมาณข้าวดิบ 302.37 กรัม (ปริมาณการบริโภคข้าวของคนไทยต่อคนต่อวัน) พบว่า การทำให้ข้าวสุกทั้ง 2 วิธี คือ หุงข้าวแบบไม่เช็ดน้ำ หรือเช็ดน้ำ จะทำให้ไม่มีโทอะมินเหลืออยู่ในปริมาณที่พอเพียงกับความต้องการตามที่ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Recommended daily Dietary Allowances for Healthy Thais [RDA]) แต่การหุงข้าวโดยวิธีไม่เช็ดน้ำในกลุ่มข้าวที่ขัดสีน้อยยังคงมีปริมาณโทอะมินมากกว่าข้าวขาวโดยทั่วไปอยู่มาก โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.52-0.93 มิลลิกรัม ในขณะที่ข้าวขาวหรือข้าวที่ขัดสีมาก ๆ และผ่านการหุงโดยวิธีเช็ดน้ำจะมีโทอะมินเหลืออยู่เพียง 0.04-0.12 มิลลิกรัม เท่านั้น สำหรับข้าวเหนียวภายหลังการแช่ค้างคืนแล้วนึ่งสุกจะมีโทอะมินน้อยมากเพียง 0.08-0.13 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

3.4 การเก็บรักษา การสูญเสียวิตามินในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ในการเก็บ ซึ่งในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวจะมี การสูญเสียโทอะมิน โดยปริมาณการสูญเสียผันแปรตามความชื้นของเมล็ดเป็นปัจจัยสำคัญ เช่น ความชื้นของเมล็ดร้อยละ 12 เมื่อเก็บรักษาไว้ 5 เดือน จะสูญเสียโทอะมินร้อยละ 12 ถ้าความชื้นของเมล็ดร้อยละ 17 จะสูญเสียโทอะมินร้อยละ 30 และถ้าความชื้นของเมล็ดร้อยละ 6 จะไม่มีการสูญเสียโทอะมินเลย (นิธิยา, 2545)

Kik and William (1945) ได้ศึกษาการเก็บรักษาข้าวไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน 2 และ 6 เดือน พบว่า การสูญเสียวิตามินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการเก็บรักษาเมล็ดข้าวไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เวลานานเท่ากันทำให้สูญเสียโทอะมิน ไโรโบฟลาบิน และไนอะซินร้อยละ 24.9, 5.3 และ 3.9 ตามลำดับ

Cort *et al.* (1976) ได้ศึกษาความคงตัวของข้าวพรีมิกซ์พบว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่ผลิตโดยวิธี HLR-Mickus Procedure ซึ่งเป็นการแช่ข้าวในสารละลายกรดที่มีโทอะมินและไนอะซิน จากนั้นเติมสารละลายซีน (zein) กรดสเตียริก (stearic acid) ที่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol) แล้วเคลือบ

ด้วยเซลแลค (shellac) ผงเหล็ก และทาลค์ (talc) ในเครื่องผสม หลังจากเก็บรักษาไว้ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องมีการสูญเสียวิตามินเอร้อยละ 4 กรดโฟลิก และไพริดอกซินร้อยละ 10

4. การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

วิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขัดขาว อาจทำได้โดยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

4.1 การขัดสีข้าวให้ชั้นรำข้าวออกไปน้อยลง (undermilling) เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ที่มีอยู่ในชั้นรำข้าว (Bramall, 1986) เช่น วิตามินบี แต่ข้าวที่ได้จากวิธีนี้มีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากมีไขมันเหลืออยู่มากในชั้นรำข้าวที่ขัดสีออกไปน้อย จึงเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้มีกลิ่นหืน และข้าวที่ได้จะมีสีขาวน้อยกว่าข้าวสารปกติทำให้ไม่น่ารับประทาน (Grist, 1975; Juliano, 1993)

4.2 การทำเป็นข้าวเหนียว (parboiled rice) วิธีนี้เป็นการทำให้สารอาหารที่อยู่ในชั้นรำข้าว กระจายเข้าไปในเนื้อเมล็ดก่อนที่จะนำไปขัดสีและกำจัดชั้นรำข้าวออกไป (Dexter, 1998) ดังนั้นข้าวเหนียวจึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวธรรมดาเนื่องจากการนี้ทำให้สารต่างๆ ในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ทำให้สารอาหารต่าง ๆ กระจายเข้าไปในเมล็ดและคงอยู่ในข้าวสารเมื่อผ่านการขัดสี นอกจากนี้ยังช่วยลดการแตกหักของเมล็ดข้าวในระหว่างการขัดสีอีกด้วย ข้าวเหนียวสามารถทำได้โดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำจากนั้นนำไปนึ่งแล้วทำให้แห้ง สีเอาเปลือกออกเป็นข้าวสาร แต่ข้าวเหนียวที่ผ่านการขัดสีแล้วจะมีปริมาณโทอะมีน และไนอะซินมากกว่าข้าวสารปกติ ประมาณ 2-4 เท่า (Grist, 1975) ประเทศที่ผลิตข้าวเหนียวได้แก่ อินเดีย บังกลาเทศ พม่า ไทย ศรีลังกา และประเทศทางแถบเอเชียอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งมีทั้งวิธีการดั้งเดิมและวิธีที่ทันสมัย (Pillaiyar, 1990) แต่ข้าวเหนียวมีข้อเสีย คือในการนึ่งข้าวความร้อนจะไปทำลายสารกันหืนที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกตามธรรมชาติ ทำให้ข้าวเหนียวมักมีกลิ่นหืนซึ่งผู้บริโภคไม่ยอมรับด้านสีและกลิ่น เพราะข้าวมีสีเหลืองทอง และมีกลิ่นหืน (Bramall, 1986) นอกจากนี้ในการผลิตข้าวเหนียวต้องใช้ต้นทุนในการผลิตสูง และการหุงต้มต้องใช้เวลานานเพื่อให้ข้าวสุกและไม่แข็งมาก ข้อดีของการทำข้าวเหนียวคือช่วยลดการสูญเสียสารอาหารในน้ำที่ใช้ล้าง เมล็ดข้าวสุกทรงรูปร่าง ไม่แฉะ และละติดกัน และไม่สูญเสียสารอาหารในน้ำต้ม (อัมมาร และ วิโรจน์, 2533; อรอนงค์, 2538)

การศึกษาการทำข้าวหนึ่งต่อปริมาณโทอะมินแสดงให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งโทอะมินในคัพทะและชั้นรำข้าวร้อยละ 50-90 กระจายเข้าไปในเนื้อเมล็ด ทำให้เมื่อนำข้าวไปขัดสีแล้วยังคงมีปริมาณโทอะมินสูง (180-330 ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัม) นอกจากนี้ผู้ที่บริโภคข้าวหนึ่งเป็นประจำยังมีร่างกายและสุขภาพที่แข็งแรงอีกด้วย (Misaki and Yasumatsu, 1985)

4.3 การทำข้าวที่ปรับปรุงให้เก็บไว้ได้นาน (converted rice) ซึ่งมีกระบวนการคล้ายกับการทำข้าวหนึ่งแต่มีข้อแตกต่างกันคือ ข้าวที่ปรับปรุงให้เก็บไว้ได้นานเป็นการใช้ความดันในการกระจายสารอาหารเข้าไปในเนื้อเมล็ด (Dexter, 1998) โดยข้าวที่ได้มีความเหมาะสมในการเก็บรักษา แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเล็กน้อย และมีกลิ่นไม่เป็นที่พึงพอใจอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต (Misaki and Yasumatsu, 1985)

Huzenlaub (1935) ได้ศึกษาการทำข้าวที่ปรับปรุงให้เก็บไว้ได้นาน โดยปรับปรุงจากวิธีการทำข้าวหนึ่ง โดยมีขั้นตอน คือ กำจัดอากาศที่ยังคงมีอยู่ในข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องในถังสุญญากาศ จากนั้นแช่ข้าวในอ่างน้ำร้อนและใช้ความดันเพื่อให้วิตามิน และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในชั้นรำข้าวกระจายไปยังเนื้อเมล็ด จากนั้นนำข้าวในหม้อไอน้ำ (rotary steam kettle) ทำให้เย็นและนำไปขัดสี วิธีการนี้จะทำให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะแข็ง (hard gelatinous film) ที่ผิวหน้าของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดซึ่งจะทำให้ช่วยป้องกันการสูญเสียวิตามินจากการล้างได้

Gibbon (1936) ได้ศึกษาการทำข้าวที่ปรับปรุงให้เก็บไว้ได้นาน โดยจุ่มข้าวในน้ำร้อนก่อน และปริมาณน้ำในข้าวถูกปรับเป็นร้อยละ 15-30 จากนั้นจึงนำข้าวไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ (-40 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5-10 นาที แล้วนำไปให้ความร้อนอีกครั้งแล้วจึงทำให้แห้ง

4.4 การเติมวิตามิน และเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในเมล็ดข้าวขัดขาว มีวัตถุประสงค์เพื่อแทนที่วิตามินและเกลือแร่ที่สูญเสียไปในกระบวนการขัดสี เรียกว่า ข้าวพรีมิคซ์ (premix) (Dexter, 1998) ซึ่งเป็นการผลิตเมล็ดข้าวขัดขาวที่มีความเข้มข้นของอาหารสูง เพื่อนำไปผสมกับข้าวขัดขาวปกติในอัตราส่วนที่เหมาะสม และได้ข้าวที่มีปริมาณสารอาหารที่ต้องการใกล้เคียงกับข้าวกล้องและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Bramall, 1986)

การเสริมวิตามิน และเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในเมล็ดข้าวขัดขาวในทางการค้ามี 2 แบบ คือ การผสมสารอาหารที่เป็นผงละเอียดโดยตรง และการทำข้าวพรีมิกซ์ซึ่งใช้วิธีการเคลือบ การผสมสารอาหารที่เป็นผงละเอียดโดยตรงสามารถทำได้โดยผสมวิตามินบี คือ ไทอามีน ไรโบฟลาวิน ไนอะซินหรือไนอะซินาไมด์ และเหล็กในรูปของเฟอร์ริกออร์โทฟอสเฟต (ferric orthophosphate) เฟอร์ริกซัลเฟต (ferric sulfate) หรือ รีดิซซ์ ไอรอน (reduced iron) แต่มักใช้ในรูป เฟอร์ริกออร์โทฟอสเฟต เนื่องจากไม่ละลายในน้ำ และมีสีขาว เมื่อผสมวิตามินและแร่ธาตุซึ่งมีลักษณะเป็นผงแล้วจึงนำไปใส่ในข้าว สำหรับข้าวหนึ่ง ส่วนผสมของวิตามิน และแร่ธาตุจะเติมในข้าวหลังจากกระบวนการขัดสีที่มีความร้อนและปริมาณความชื้นบนผิวหน้าของเมล็ดข้าวที่เหมาะสมที่จะสามารถเกาะติดกับเมล็ดข้าวได้ การเสริมวิตามินในข้าวโดยวิธีนี้จะได้ข้าวเสริมวิตามินที่ราคาถูกกว่าข้าวเสริมวิตามินที่ผลิตโดยวิธีอื่น ๆ (Dexter, 1998)

Cort *et al.* (1976) ศึกษาการเคลือบสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการบนเมล็ดข้าวสารและได้สรุปว่า การผสมสารอาหารที่เป็นผงละเอียดโดยตรงลงในข้าวสารนั้นไม่เป็นผลดี เนื่องจากการผสมไม่สม่ำเสมอและมักจะมีการสูญเสียไปเมื่อทำการล้างข้าวก่อนการหุงต้ม ซึ่งสารอาหารที่เติมลงไปจะถูกล้างออกร้อยละ 20-100 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและเวลาในการล้าง

ส่วนวิธีการเคลือบได้พัฒนาจากงานวิจัยของ William *et al.* ในปี ค.ศ. 1940 สามารถใช้กับธัญชาติเสริมสารอาหาร (enriched cereal) โดยการพ่นฝอยสารละลายที่มีไทอามีน ไรโบฟลาวิน กรดนิโคตินิก และแร่ธาตุต่าง ๆ ลงบนเมล็ดธัญชาติเพื่อให้เมล็ดได้ดูดซับสารอาหาร แล้วเคลือบด้วยสารเคลือบ (protective coating) ซึ่งต้องไม่ละลายในน้ำเย็นแต่สามารถละลายได้ในน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินตลอดจนถึงขั้นตอนการล้าง และเพื่อกระจายวิตามินอย่างทั่วถึงในการหุงต้ม (Misaki and Yasumatsu, 1985)

4.4.1 ฟิล์ม (film) หรือสารเคลือบที่รับประทานได้ (edible coating) หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้ซึ่งนำมาใช้กับอาหารด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การห่อหุ้ม (enrobing) การจุ่ม (dipping) การแปรง (brushing) หรือการพ่นฝอย (spraying) เพื่อกั้นมิให้แก๊ส ไอรระเหย และสารถูกละลาย (solute) เข้าหรือออกจากอาหารได้ (มณฑาทิพย์, 2535)

คุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ มีดังนี้ (Mathlouthi, 1994)

- 1) การป้องกันการซึมผ่านความชื้น ฟิล์มที่มีคุณสมบัตินี้จะควบคุมปริมาณความชื้นและกิจกรรมของอาหารที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง หรือมีส่วนผสมของธาตุอาหารซึ่งมีอิทธิพลต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยา ทางกายภาพ ทางเคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหาร
- 2) การป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส ฟิล์มที่มีคุณสมบัตินี้จะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารเพื่อลดการเกิดกลิ่นเหม็นหืนและการสูญเสียวิตามิน อย่างไรก็ตามฟิล์มและสารเคลือบที่ใช้กับผักและผลไม้สดควรจะยอมให้มีการซึมผ่านของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) ได้ในระดับที่เหมาะสม
- 3) การป้องกันการซึมผ่านของลิปิดและสารถูกละลาย ฟิล์มที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของลิปิดจะช่วยลดการซึมผ่านของน้ำมัน/ไขมันเข้าไปในอาหารทอดได้ ในระหว่างการแช่แข็งของเนื้อสัตว์ และอาหารทะเลในน้ำเกลือ หรือระหว่างการทำแห้งด้วยออสโมติก (osmotic) ของชิ้นผักและผลไม้ นั่นจำเป็นที่จะต้องเคลือบด้วยฟิล์มก่อนจึงจะสามารถลดการซึมผ่านของสารถูกละลายได้

ข้อดีของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ มีดังนี้ (มณฑาทิพย์, 2535)

- 1) สามารถบริโภคได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- 2) เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส ชวนให้ผลิตภัณฑ์น่ารับประทานมากขึ้น และสามารถเข้ากันได้ดีกับสารประกอบที่ให้กลิ่นรสและความหวาน เป็นต้น
- 3) เสริมคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากโปรตีน
- 4) ใช้หุ้มอาหาร โดยแยกออกเป็นแต่ละชิ้นได้ เช่น ถั่ว สตรอเบอร์รี่

5) ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พิซซ่า (pizza) พาย (pie) เป็นต้น

6) ทำหน้าที่เป็นตัวพา (carrier) สำหรับป้องกันจุลินทรีย์ และสารกันหืน นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมอัตราการซึมผ่านของสารกันเสียและสารกันหืนจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร

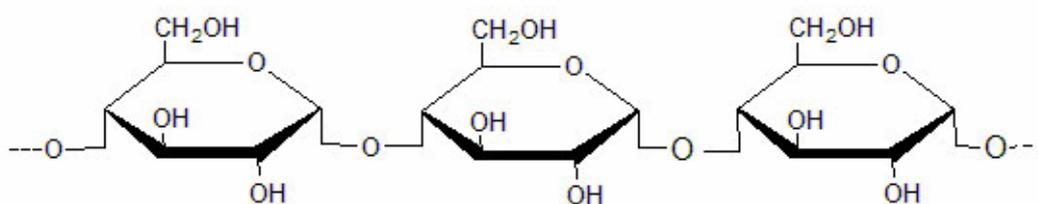
7) สามารถทำฟิล์มให้เป็นเม็ดแคปซูลเพื่อบรรจุสารให้กลิ่นรสและสารทำให้ขึ้นฟู (leavening agent) ได้เพื่อควบคุมการเติมสารเหล่านี้ลงในอาหารให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สารที่ใช้ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้มีหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) โปรตีน และลิพิด (lipid) ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียว หรือใช้สารหลายชนิดร่วมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างฟิล์มที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ฟิล์มที่มีสตาร์ช (starch) และ แอลจีเนต (alginate) หรือ มีสตาร์ช วุ้น (agar) และไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เป็นต้น สารหลายชนิดที่นำมารวมกันเป็นฟิล์มที่รับประทานได้จะทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติการห่อหุ้มอาหารที่ดี ทำให้อาหารมีลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่น่ารับประทาน และยังสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่อาหารอีกด้วย (มณฑาทิพย์, 2535)

1) ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide film) โพลีแซคคาไรด์บางชนิดสามารถใช้ผลิตฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ เช่น สตาร์ช แอลจีเนต เพคติน (pectin) คาราจีแนน (carrageenan) สตาร์ช ไฮโดรไลเซต (starch hydrolysate) และอนุพันธ์ของเซลลูโลส (cellulose derivative) โดยธรรมชาติของโพลิเมอร์ (polymer) พวกนี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophilic) ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาใช้ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น โพลีแซคคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบมีลักษณะเหมือนวุ้น (gelatinous) และมีความชื้นสูงจึงช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงอายุการเก็บสั้น ๆ เช่น ผลัดกันซ์เนื้อ โดยที่สารเคลือบเจลทำหน้าที่เป็นตัวเก็บความชื้นในอาหาร (sacrificing agent) มากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้น

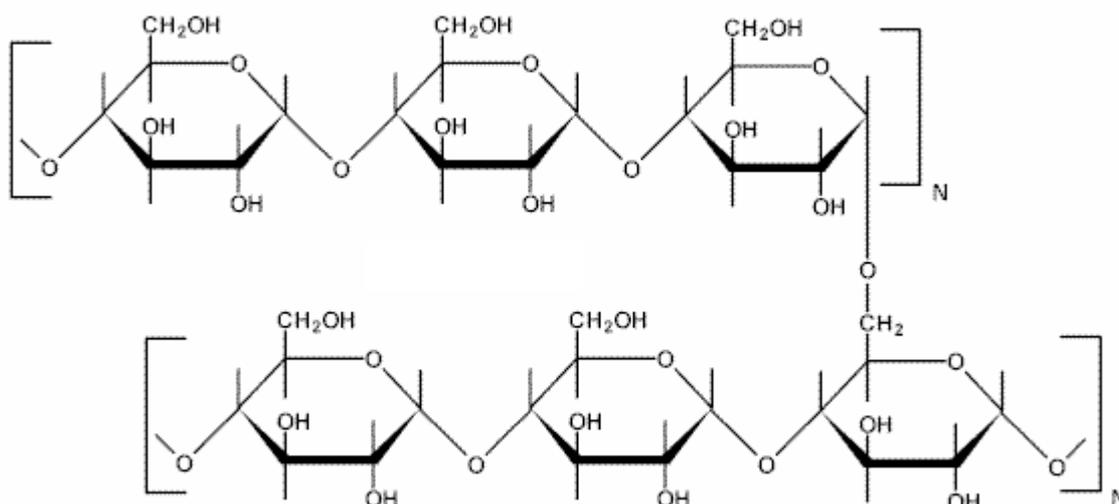
การส่งผ่านความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางชนิดยังสามารถช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และองค์ประกอบอื่นในอาหารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน (มณฑาทิพย์, 2535)

สตาร์ช (starch) เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส และเป็นโฮโมโพลีแซคคาไรด์ (homopolysaccharide) สตาร์ชจะอยู่รวมกันเป็นเม็ดสตาร์ชซึ่งประกอบด้วยโพลิเมอร์กลูแคน (glucan polymer) 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) ที่เป็นโพลิเมอร์สายยาวของ α -(1 \rightarrow 4) กลูแคน (ภาพที่ 6) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ที่เป็นสายแขนงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงต่อกันด้วยพันธะ α -(1 \rightarrow 4) ซึ่งเป็นสายตรง และมีพันธะ α -(1 \rightarrow 6) เป็นสายแขนง (ภาพที่ 7) (นิธิยา, 2545) ความแตกต่างของปริมาณและอัตราส่วนอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์พืช อะไมโลสมีคุณลักษณะที่สามารถทำเป็นฟิล์มในตัวเอง จึงใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมฟิล์มได้ สตาร์ชสามารถนำมาเตรียมฟิล์มได้แต่จะได้ฟิล์มที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการแยกส่วนอะไมโลสจากสตาร์ชเพื่อนำมาเตรียมฟิล์ม ลักษณะของฟิล์มอะไมโลสจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่นรส ไม่เป็นพิษ มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติในการต้านทานกรีส (grease) ได้สูง และออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้ต่ำ แต่ข้อเสียของฟิล์มอะไมโลสคือ ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มจะต้องละลายอะไมโลสด้วยความร้อนสูงภายใต้ความดัน ดังนั้นจึงนิยมใช้ออนุพันธ์ของอะไมโลส (amylose derivative) ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า ฟิล์มอะไมโลสสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำถุงบรรจุกาแฟ ชา ชูปสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์เทียมสำหรับบรรจุไส้กรอก และใช้เคลือบผลไม้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาด จึงทำให้ไม่เหนียวติดกันเป็นก้อน (มณฑาทิพย์, 2535)



ภาพที่ 6 สูตรโครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: The Linus Pauling Institute (2005)

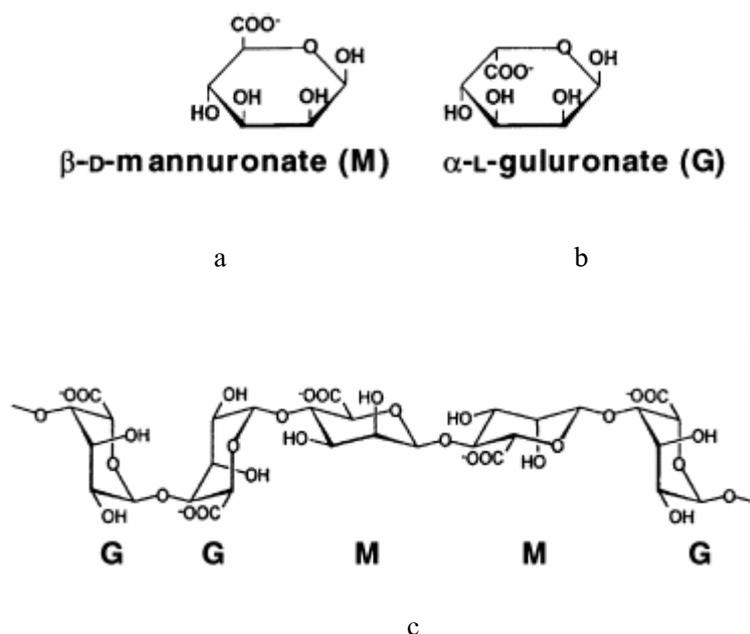


ภาพที่ 7 สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา: Ford *et al.* (2000)

แอลจินेट (alginate) เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) เป็นโพลิเมอร์ผสมชนิดสายตรงของกรดแมนนูโรนิก (1,4- β -D-mannuronic acid) และกรดกลูโรนิก (L-guluronic acid) ได้เป็นโพลิยูโรนิก (polyuronide) โมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่เป็นโพลิเมอร์ 3 ชนิด คือ โพลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิก กรดกลูโรนิก และทั้งสองชนิดสลับกัน (ภาพที่ 8) โดยสัดส่วนของโพลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด และโครงสร้างของโพลิเมอร์จะเป็นตัวชี้บ่งสมบัติของแอลจินेट (นิธิยา, 2545) แอลจินेटนิยมใช้ในรูปแบบโซเดียมแอลจินेट (sodium alginate) การเกิดฟิล์มของโซเดียมแอลจินेटเป็นผลจากการเกิดเจลซึ่งแอลจินेटทำปฏิกิริยากับ โพลิวาเลนท์ แคทไอออน (polyvalent cation) โดยแคลเซียมเป็นไอออนที่ทำให้เกิดเจลได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และมักใช้ในรูปแบบเกลือแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride [CaCl₂]) เพราะทำให้เกิดเจลวุ้นเนื้อแน่นและคุณภาพดี การเคลือบด้วยฟิล์มแอลจินेटส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่ การเคลือบชิ้นเนื้อทำให้มีการสูญเสียให้น้ำน้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ได้เคลือบ ถึงแม้ว่าฟิล์มแอลจินेटจะยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้สูงแต่การเคลือบก็ให้ผลดี เนื่องจากเจลในฟิล์มมีปริมาณความชื้นสูง ความชื้นในเจลจะระเหยออกไปก่อนที่ชิ้นเนื้อที่เจลห่อหุ้มไว้จะสูญเสียความชื้น นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ รักษาสีแดงของเนื้อได้นานกว่าปกติ ป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วย ป้องกันการเกิดตำหนิที่เกิดบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เป็นรอยแห้ง และมีสีน้ำตาล (freezer burn) กับชิ้นเนื้อปลา

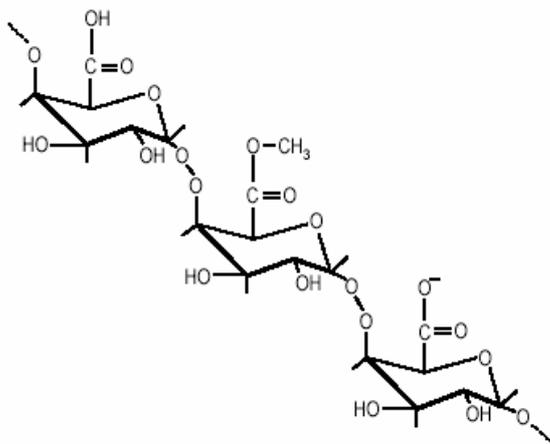
เพิ่มความคงตัวระหว่างการแช่แข็ง-การละลาย (freeze-thaw) ของพายมะนาวที่แช่เย็น (มณฑาทิพย์, 2535; นิธิยา, 2545)



ภาพที่ 8 สูตรโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบของแอลจินต (a) กรดแมนนูโรนิก (b) กรดกลูโรนิก (c) โพลีเมอร์ของกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูโรนิก

ที่มา: Draget *et al.* (2005)

เพคติน (pectin) เป็นกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของโพลีแซคคาไรด์ พบในชั้นลามลลา (lamella) ส่วนกลางของเซลล์พืชชั้นสูง เป็นโพลีเมอร์เชิงเส้น (linear chain) ของกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid หรือ α -D-galactopyranosyluronic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic linkage) ที่ตำแหน่ง β (1 \rightarrow 4) โดยหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group [-COOH]) ในโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิกบางส่วนจะทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) กับหมู่เมทิล (methyl group) ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) และมีบางส่วนคงเหลือเป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (นิธิยา, 2545) สูตรโครงสร้างของเพคตินแสดงดังภาพที่ 9

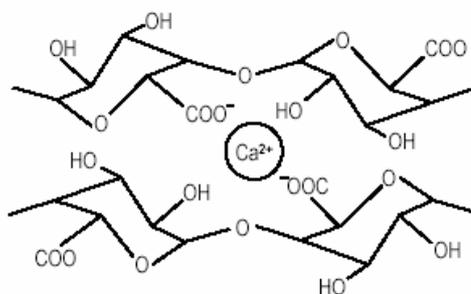


ภาพที่ 9 สูตรโครงสร้างของเพคติน

ที่มา: Oakenfull (1991)

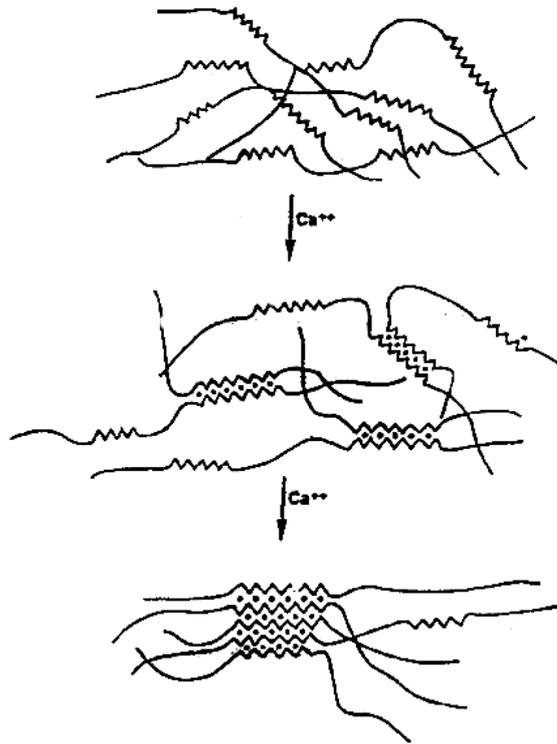
เพคตินสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ตามปริมาณเมทอกซิล (Degree of Methoxyl [DM]) คือ ชนิดปริมาณเมทอกซิลต่ำ (Low Methoxyl [LM]) ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 25-50 สามารถเกิดเจลได้เมื่อมีแคลเซียม ไอออน (calcium ion [Ca^{2+}]) โดยเกิดจากพันธะไอออนิก (ionic bond) ซึ่งมีแคลเซียม ไอออน เป็นตัวเชื่อมซึ่งจะเชื่อมระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group [$-\text{COO}^-$]) 2 หมู่ ของเพคติน 2 สายที่อยู่ติดกัน ปฏิกริยาระหว่างแคลเซียม ไอออนกับหมู่คาร์บอกซิลของเพคตินสามารถอธิบายได้โดยโมเดลกล่องไข่ (egg box model) แสดงดังภาพที่ 10 กระบวนการเกิดโมเดลกล่องไข่มี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะเป็นการรวมตัวกันของสายโพลีกลูคโรรินิค 2 สาย โดยมีแคลเซียม ไอออนเป็นตัวเชื่อม เรียกว่า ไดเมอร์ไรเซชัน (dimerization) และขั้นที่สอง คือ การไหลไปรวมกันจนเกิดกล่องไข่ คือสายโพลีกลูคโรรินิคหลายสายมาเชื่อมกัน โดยมีแคลเซียมไอออนเป็นตัวเชื่อม ลักษณะทางกายภาพของเจลเป็นผลมาจากการเกิด โครงข่ายร่างแห 3 มิติ อย่างต่อเนื่องของโมเลกุลของสายโพลีเมอร์ที่เกิดพันธะข้าม แสดงดังภาพที่ 11 โครงสร้างของเจล ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ส่วนที่โมเลกุลของสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกัน (junction zone) (ภาพที่ 12) ซึ่งเกี่ยวข้องกับพันธะโควาเลนต์เดี่ยวระหว่างสายโพลีเมอร์ 2 สาย หรือพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic linkage) ระหว่างสายข้างของสายโพลีเมอร์ 2 สาย หรือพันธะไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลกับแคลเซียม ไอออน (ภาพที่ 13) ส่วนของโพลีเมอร์ที่เคลื่อนที่ได้ (interjunction segment) และส่วนที่จับกับน้ำในโครงข่ายของสายโพลีเมอร์ ขนาดของกล่องไข่ของส่วนที่โมเลกุลของสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกันถูกจำกัดโดยการมีเกลือของแมนนูโรเนต (mannuronate) ที่เหลืออยู่ซึ่งจะถูกขัดขวางโดยสายโพลีกลูโคโร

เนต (polyguluronate) สภาวะการเกิดเจลควรมีค่า pH สูง เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลซึ่งจะทำให้เกิดพันธะข้ามกับไอออนประจุบวกได้ การที่มีหมู่เมทิลจะช่วยป้องกันการเกิดส่วนที่โมเลกุลของสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกัน ในส่วนของโพลีเมอร์ที่เคลื่อนที่ได้ของโมเลกุลซึ่งจะทำให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และสายข้างของโมเลกุลจะช่วยป้องกันการรวมตัวกันของสายเพคติน ถ้ามีจำนวนหมู่คาร์บอกซิลที่สามารถทำปฏิกิริยาได้มากก็สามารถเกิดพันธะไอออนิกได้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้โมเลกุลที่มีหมู่ที่มีประจุเพิ่มขึ้นและมีปริมาณเมทอกซิลต่ำจะทำให้เจลยืดตรงมากกว่าโมเลกุลที่มีการเอสเทอร์ฟิเคชันมาก



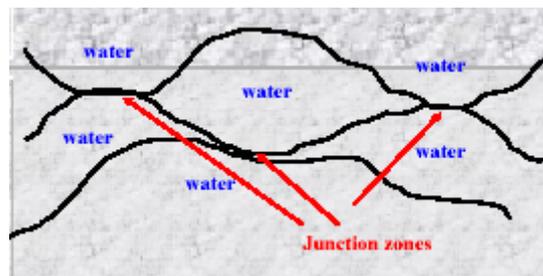
ภาพที่ 10 โมเดลกล่องไข่

ที่มา: Axelos and Thibault (1991)



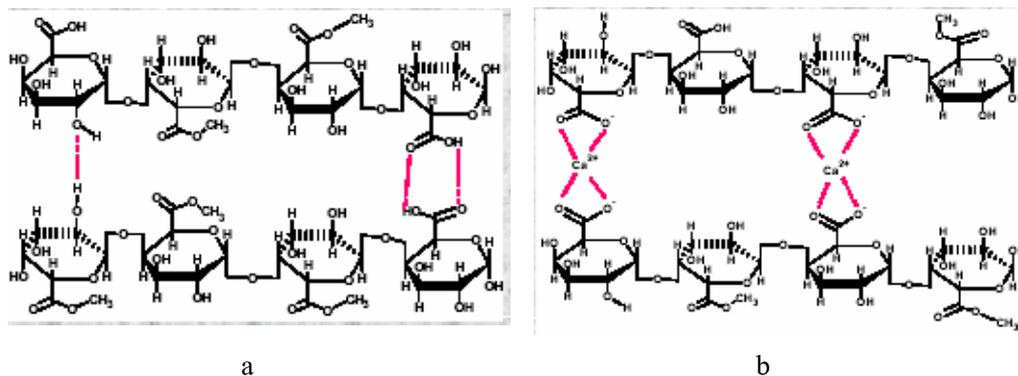
ภาพที่ 11 กระบวนการเกิดโมเดลคอลลอยด์

ที่มา: Department of Aquatic Products Ministry of Agriculture (1990)



ภาพที่ 12 โครงสร้างของเจลในส่วนที่โมเลกุลของสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกัน (junction zone)

ที่มา: Purdue University (2004a)



ภาพที่ 13 ส่วนที่โมเลกุลของสายโพลิเมอร์เชื่อมต่อกัน (a) พันธะไฮโดรเจน (b) พันธะไอออนิก
ที่มา: Purdue University (2004b)

ขนาดของการรวมตัวกันของสายเพคตินที่เกิดขึ้นในส่วนที่โมเลกุลของสายโพลิเมอร์เชื่อมต่อกันขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซียม ถ้ามีปริมาณแคลเซียมที่น้อยเกินไปจะทำให้การรวมตัวกันของสายโพลิกลาแลคตูโรนเตของเพคติน 2 สายที่ขนานกันแต่อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามที่มีการทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลได้เพียงประมาณร้อยละ 50 ดังนั้นผลของค่า pH กับน้ำตาลจะช่วยให้เกิดเจลได้ในสถานะที่มีแคลเซียมต่ำโดยจะช่วยลดจำนวนของหมู่คาร์บอกซิลที่จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียม ไอออน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลจากน้ำตาลต่อค่า a_w กับไฮโดรโฟบิก แต่ถ้ามีปริมาณแคลเซียมมากเกินไปจะทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นแบบชีท (sheet) ของเพคติน 2 สาย และทำให้มีพันธะที่ไม่แข็งแรง ความเข้มข้นของแคลเซียม ไอออนที่ค่า pH 3-5 สามารถทำลายเจลโดยการเพิ่มพันธะข้ามเพื่อเพิ่มการรวมตัวกันของเพคติน ช่วงเวลาของส่วนที่โมเลกุลของสายโพลิเมอร์เชื่อมต่อกันของเจลเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะไอออนิก ซึ่งความแข็งแรงของพันธะไอออนิกขึ้นอยู่กับความยาวของส่วนของเพคติน โดยไม่ถูกขัดขวางส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ พันธะจะมีความเสถียรเมื่อมีหมู่คาร์บอกซิลอย่างน้อย 7 หมู่ บนสายระหว่างที่เกิดการรวมตัวกันในแต่ละสาย ความแข็งแรงของเจลที่เกิดจากพันธะไอออนิกของแคลเซียมขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุล ระดับของโพลิเมอร์ไรเซชัน (degree of polymerization) และความสามารถในการเกิดพันธะกับแคลเซียม ถึงแม้จะมีแคลเซียมไอออนในปริมาณที่เพียงพอแต่สามารถเกิดพันธะได้เต็มที่ประมาณ 14 หน่วย โดยสามารถมีหมู่เมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) ได้เพียงเล็กน้อยในสายความยาวนั้น หมู่อะซิล (acetyl group) จะลดความแข็งแรงของพันธะและรอยขาดซึ่งเกิดจากการแทรกตัวของแรมโนส (α -L-rhamnose) ที่บริเวณด้านปลายของส่วนที่เกิดพันธะเชื่อมต่อกัน สำหรับระดับของโพลิเมอร์ไรเซชัน ถ้าปริมาณเมทอกซิลมากกว่าร้อยละ 45 จะ

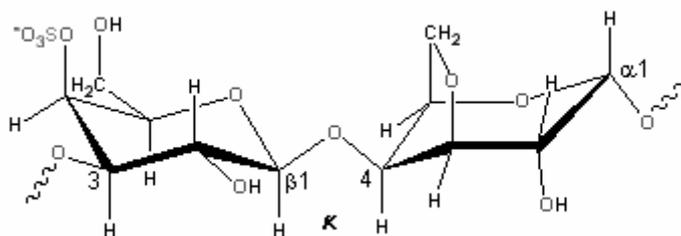
ต้องการแคลเซียมน้อยมากในการเกิดพันธะเชื่อม แคทไอออนที่มีประจุ 2 และ 3 บวกจะเพิ่มความแข็งแรงของเจลให้กับเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ และการที่มีหมู่เอไมด์ (amide group) อยู่ในเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำจะช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลในตัวมันเอง และความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เอไมด์

เพคตินเมทอกซิลต่ำนิยมใช้เป็นสารเคลือบโดยทำให้เกิดเจล เมื่อสารละลายเพคตินทำปฏิกิริยากับแคลเซียม ไอออน หลังจากทำให้เจลแห้งจะเกิดเป็นฟิล์มเพคตินคัมกใช้เคลือบบนผิวอาหารโดยตรง ฟิล์มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันอาหารที่ห่อหุ้มมิให้สูญเสียน้ำ แต่ฟิล์มเพคตินเนต (pectinate film) ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดี ดังนั้นจึงต้องเคลือบฟิล์มปิดทับบนฟิล์มเพคตินเนตก่อนเพื่อให้มีการซึมผ่านไอน้ำลดลง

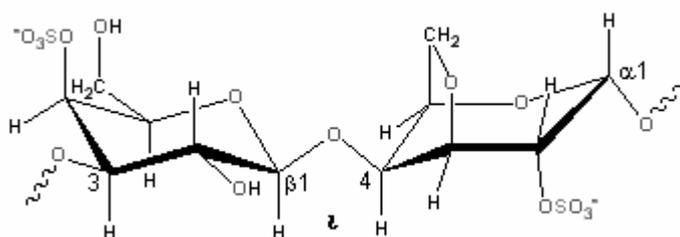
เพคตินอีกชนิดหนึ่ง คือ เพคตินปริมาณเมทอกซิลสูง (High Methoxyl [HM]) ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 50-80 สามารถเกิดเจลในสภาวะที่เป็นกรด ถ้า pH ต่ำกว่า 3.6 และมีสารช่วยคือน้ำออกจากโมเลกุล (cosolute) ได้แก่ น้ำตาลทรายที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก หน้าที่ของน้ำตาลคือ ช่วยให้ส่วนที่โมเลกุลของสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกันมีความเสถียร โดยช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาของไฮโดรโฟบิกระหว่างกลุ่มของเมทิลเอสเทอร์ พันธะที่ทำให้เกิดเจล คือพันธะไฮโดรเจน และปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก (Thakur *et al.*, 1997)

คาราจีแนน (carrageenan) เป็นกลุ่มสารโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟต (polysaccharide sulfate) ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีแดง คือ *Chondrus crispus* และ *Gigartina stellata* ด้วยสารละลายด่างเจือจาง คาราจีแนนแบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ แคปปา (kappa [K]) ไอโอตา (iota [I]) และแลมบ์ดา (lambda [λ]) ซึ่งชนิดแคปปา และไอโอตาเท่านั้นที่มีสมบัติเกิดเจลได้เมื่อมีโพแทสเซียม ไอออน (potassium ion [K^+]) คาราจีแนนทั้ง 3 ชนิดมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโทส (galactose) ที่ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ที่ตำแหน่งและระดับต่าง ๆ กัน เช่น แคปปา-คาราจีแนนเป็น กาแลคโทส-4-ซัลเฟต (galactose-4-sulfate) ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1 \rightarrow 3 และต่อกับ 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโทส (3,6-anhydro-D-galactose) ด้วยพันธะ 1 \rightarrow 4 ในโมเลกุลของ 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโทส คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ซัลเฟต (sulfate group) ประมาณร้อยละ 20-30 และบางส่วนของพันธะ 1 \rightarrow 4 อาจเป็นกาแลคโทส-6-ซัลเฟต (galactose-6-sulfate) แทน 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโทส แคปปา-คาราจีแนนมีความไวต่อโพแทสเซียม (potassium) โมเลกุลไอโอตา-

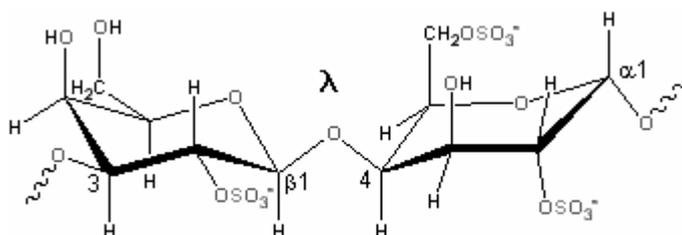
การาจี้แนนประกอบด้วย กาแลคโทส-4-ซัลเฟต ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1→3 และต่อกับ 3,6-แอนไฮโดร-ดี-กาแลคโทส-2-ซัลเฟต (3,6-anhydro-D-galactose-2-sulfate) ด้วยพันธะ 1→4 ไอโอตา-การาจี้แนนมีความไวต่อแคลเซียม โมเลกุลแลมบ์ดา-การาจี้แนนประกอบด้วย กาแลคโทส-2-ซัลเฟต (galactose-2-sulfate) ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1→3 และต่อกับ กาแลคโทส-2,6-ไดซัลเฟต (galactose-2,6-disulfate) ด้วยพันธะ 1→4 สูตรโครงสร้างของการาจี้แนนทั้ง 3 ชนิดแสดงดังภาพที่ 14 การาจี้แนนแต่ละชนิดมีสมบัติในการเกิดเจลแตกต่างกัน โดยแคปไซ-และไอโอตา-การาจี้แนนจะเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน และจะกลับเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อปล่อยให้เย็น (thermo-reversible) โดยมีกลไกการเกิดเป็นโพลีเมอร์สายเกลียวคู่ (double-helix) แคปไซ-การาจี้แนนจะเกิดเจลที่เปราะแตกง่ายและมีน้ำอิสระซึมออกมาจากเจล (syneresis) ส่วนไอโอตา-การาจี้แนนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นและไม่เกิดน้ำซึมออกมาจากเจล (นิธิยา, 2545) เจลการาจี้แนนที่ใช้เคลือบอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาความชื้นในอาหาร นิยมเคลือบชิ้นเนยแข็งเทียมกึ่งชื้น (intermediate moisture cheese analog) ด้วยเจลผสมการาจี้แนน และวุ้น (agarose) ที่มีกรดซอร์บิก (sorbic acid) อยู่ด้วย มีผลทำให้จุลินทรีย์เติบโตบนผิวผลิตภัณฑ์ไม่ได้ (มณฑาทิพย์, 2535)



a



b



c

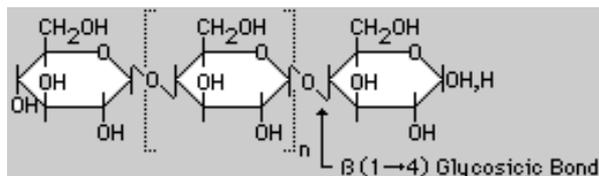
ภาพที่ 14 สูตรโครงสร้างของคาราจีแนน (a) แคลป้า-คาราจีแนน (b) ไอโอดา-คาราจีแนน
(c) แลมบ์ดา-คาราจีแนน

ที่มา: Chaplin (2005)

เซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส (cellulose และ cellulose derivatives) เซลลูโลสประกอบด้วย หน่วยของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ 1→4 (β -1,4 glycosidic linkage) (ภาพที่ 15) ส่วนอนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose [CMC]) ซึ่งเป็นเซลลูโลสที่มีการดัดแปลงโดยการเติมหมู่คาร์บอกซี

เมทิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสทำให้มีการละลายน้ำดีขึ้น มีความคงตัวที่ pH 4-10 โพรพิลเมทิลเซลลูโลสสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มใสและมีความแข็งแรงโดยไม่มีผลกระทบจากน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose [MC]) และไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส (hydroxymethylcellulose [HMC]) มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ จะเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน และจะกลับเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อปล่อยให้เย็น ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายได้รับความร้อน ทั้งเมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและน้ำที่ให้ความร้อน โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิวิกฤติจะทำให้เกิดโครงสร้าง 3 มิติ ของเจลขึ้นซึ่งจะทำให้มีการเพิ่มแรงระหว่างโมเลกุลที่เป็นปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก โดยความร้อนจะทำลายส่วนที่จับกับน้ำ (hydration shell) รอบ ๆ สายโพลิเมอร์ เมื่อทำให้เย็นลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติเจลจะสามารถหลอมละลายในสารละลายได้ จากความสามารถของเมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สามารถเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนจึงได้นำไปใช้ในอาหารทอด โดยจะทำให้ลดการดูดซึมของน้ำมันในระหว่างการทอดของเฟรนช์ฟรายส์และหอมหัวใหญ่ (Kester and Fennema, 1986)

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose [HPMC]) เป็นกัมชนิดหนึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของโพรพิลีน ออกไซด์ (propylene oxide) และเมทิลคลอไรด์ (methyl chloride) กับอัลคาไล เซลลูโลส (alkali cellulose) มีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบนอน ไอออนิก (non ionic) ซึ่งสามารถเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนและจะกลับเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อปล่อยให้เย็นลง จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงนำไปใช้กับอาหารประเภททอด ทั้งเมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจะเป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ใช้ทอดในอาหารถูกดูดซึมเข้าไปในผลิตภัณฑ์อาหารมากเกินไป และช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหรือความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อาหารด้วย ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจล คือ 60–90 องศาเซลเซียส โดยเกิดเป็นเจลกึ่งแข็ง (semifirm) จึงอ่อนนุ่ม สามารถใช้ในขนมอบ น้ำสลัด และอาหารชุบขนมปัง และสามารถควบคุมการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เนื้อสัมผัส และให้ความหนืดขณะร้อนในน้ำสลัดแบบผสม ระดับความเข้มข้นในการใช้ร้อยละ 0.05 – 1.0 (กล้านรงค์ และ จันทน์, 2539; นิธิยา, 2545)



ภาพที่ 15 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: Ford *et al.* (2000)

2) ฟิล์มลิปิด (lipid film) การใช้ลิปิดห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารมีมานาน เช่น ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) เช่น การเคลือบช็อคโกแลต หรือใช้กับผักผลไม้โดยเคลือบผลไม้ด้วยไข (wax) สารประกอบลิปิดหลายชนิดรวมทั้ง อะซิทิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ (acetylate monoglyceride) ไชธรรมชาติ (natural wax) และสารตึงผิว (surfactant) สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้ โดยทั่วไปการเคลือบอาหารด้วยลิปิดมีวัตถุประสงค์หลักคือ ป้องกันการถ่ายเทความชื้น นอกจากนี้ยังมีผลดีในด้านอื่น ๆ เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ในระหว่างการขนย้ายเพื่อไม่ให้เกิดรอยข่วน (soft scald) หรือเคลือบผลแอปเปิ้ลทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว เพื่อป้องกันมิให้เกิดสีน้ำตาล

ไข (wax) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid) กับแอลกอฮอล์ (alcohol) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความชื้นสามารถซึมผ่านฟิล์มไขโดยเฉพาะไขพาราฟิน (parafin wax) และขี้ผึ้งได้ต่ำมากและต่ำกว่าฟิล์มลิปิดส่วนใหญ่ นอกจากนี้ฟิล์มไขพาราฟินและคาร์นูบา (carnuba) ยังลดอัตราการแพร่กระจายของเกลือเบนโซเอท (benzoate) เข้าสู่อาหารได้ดีแต่ฟิล์มจากขี้ผึ้งจะให้ผลต่ำกว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้ฟิล์มไขเพื่อรักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน การเคลือบไขมักใช้กับผักผลไม้สด เช่น ส้ม แอปเปิ้ล กล้วย แตง มันเทศ และมะนาว เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อยืดอายุการเก็บ โดยเคลือบฟิล์มลิปิดที่ผิวผักผลไม้แทนสารเคลือบผิว (cuticle) ซึ่งเป็นไชธรรมชาติที่ถูกชะล้างได้ง่าย ฟิล์มลิปิดที่เคลือบผิวจะช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำและลดอัตราการหายใจของผักผลไม้ด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผักผลไม้เก็บได้นาน นอกจากนี้ยังมีการเคลือบผลไม้บางชนิดด้วยไขหรือน้ำมันเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ เช่น การเคลือบลูกกวาดเพราะการสูญเสียน้ำทำให้น้ำตาลที่ผิวตกผลึกหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

สารตั้งผิว (surfactant) การเคลือบอาหารด้วยสารตั้งผิวจะช่วยลดค่า a_w ที่ผิวหน้า และลดอัตราการระเหยของความชื้น สารเคลือบที่ให้ผลดีมากที่สุด คือ แอลกอฮอล์ประเภทไขมัน (fatty alcohol) ที่มีคาร์บอน (Carbon [C]) 16-18 ตัว ได้แก่ กลีเซอรอล โมโนปาล์มิเตท (glycerolmonopalmitate) และ กลีเซอรอล โมโนสเตียเรท (glycerolmonostearate) เป็นต้น a_w ที่ผิวหน้ามีผลต่อการเสื่อมสภาพของอาหาร เช่น ถ้าอาหารมี a_w ที่ผิวหน้าต่ำจะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ลดปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วย ดังนั้นสารตั้งผิวจึงสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้ฟิล์มสารตั้งผิวยังช่วยป้องกันการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ในมันฝรั่งซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารพิษไกลโคอัลคาลอยด์ (glycoalkaloid) เนื่องจากสารตั้งผิวช่วยลดการคายคาร์บอนไดออกไซด์ที่บริเวณเปลือกมันฝรั่งทำให้เม็ดคลอโรพลาสต์ (chloroplast) เกิดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงระดับที่จะยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ได้ จึงมีการเคลือบมันฝรั่งด้วยสารตั้งผิวจำพวกเลซิทีน (lecithin) หรือไฮดรอกซิเลท เลซิทีน (hydroxylated lecithin) หรือทวิน (tween) เป็นต้น (มณฑาทิพย์, 2535)

3) ฟิล์มโปรตีน (protein film) การศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มโปรตีนที่รับประทานได้ยังคงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับฟิล์มจากโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนที่สามารถใช้ในการผลิตฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ ได้แก่ คอลลาเจน (collagen) เจลาติน (gelatin) เคซีน (casein) โปรตีนจากข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่วเหลือง เป็นต้น โดยธรรมชาติของโปรตีนมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ดังนั้นฟิล์มโปรตีนจึงมีข้อจำกัดในด้านการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น นอกจากนี้ในการผลิตฟิล์มจะมีการเติมสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophobic) ลงไปด้วย (Damodaran and Paraf, 1997) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโปรตีนในอาหารแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโปรตีนในอาหาร

คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี	บทบาทของโปรตีน	ระบบอาหาร
การละลาย	ใช้สารละลายโปรตีนซึ่งขึ้นอยู่กับ pH	เครื่องดื่ม
การดูดซับและจับกับน้ำ	การเกิดพันธะไฮโดรเจนของน้ำ, การดักจับน้ำ	เนื้อ, ไข่กรอก, ขนมปัง และเค้ก
ความหนืด	การให้ความข้นหนืด, การเกิดพันธะกับน้ำ	ซूप และเกรวี่
การเกิดเจล	ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม	เนื้อ และชีส
การยึดเกาะ	การยึดเกาะกับตัวเองและวัสดุ	เนื้อ ไข่กรอก ขนมอบ และพาสต้า
การให้ความยืดหยุ่น	การเกิดพันธะไดซัลไฟด์ในโครงสร้างของเจล เป็นพันธะไฮโดรโฟบิก	เนื้อ และ ขนมอบ
การเกิดอิมัลชัน	การเกิดอิมัลชันและความคงตัว	ไข่กรอก โยโยน่า ซุป และเค้ก
การดูดซับไขมัน	การเกิดพันธะกับไขมันอิสระ	เนื้อ ไข่กรอก และ โคนัท
ตัวจับสารให้กลิ่น	การดูดซับ การจับและการปลดปล่อยสารให้กลิ่น	เนื้อเทียม และขนมอบ
การเกิดโฟม	ห่อหุ้มฟองอากาศ ช่วยให้โฟมคงตัว	วิป ครีม และชิฟฟอน
การควบคุมสี	การฟอกสี โดยใช้ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase)	ขนมปัง

ที่มา: นิธิยา (2545)

ฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี กลูเตน (gluten) เป็นโปรตีนข้าวสาลีที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยไกลอะดีน (gliadin) ร้อยละ 75 (เป็นส่วนที่ละลายในแอลกอฮอล์) และกลูเตนิน (glutenin) ร้อยละ 25 โดยส่วนประกอบทั้งสองนี้มีพันธะของไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ซึ่งมียบทบาทในการเกิดฟิล์มกลูเตนทำให้มีลักษณะการยึดเกาะและความยืดหยุ่นดี มีความแข็งแรง

ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อยแต่เป็นฟิล์มที่ชื้นง่าย (hydrophilic) จึงมีการนำกลูเตนมาใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ทำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น เช่น ใช้เคลือบถั่วลิสงอบแห้งก่อนเติมเกลือ ใช้ทำแคปซูล (capsule) บรรจุลีและสารให้กลิ่นรสเพื่อใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น

ฟิล์มจากโปรตีนข้าวโพด ซีน (zein) เป็นโปรตีนข้าวโพดกลุ่มหนึ่งที่ละลายในแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 ที่เรียกว่าโพรลามีน (prolamine) สามารถผลิตเป็นการค้า ซีนประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีซัลเฟอร์และไม่ชอบรวมตัวกับน้ำ เช่น ลิวซีน (leucine) อะลานีน (alanine) และโพรลีน (proline) ซีนไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ และยังประกอบด้วยกรดกลูตามิก (glutamic acid) ในรูปกลูตามีน (glutamine) เป็นส่วนใหญ่ ฟิล์มจากซีนมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ออกซิเจน และไขมัน ได้จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมยา โดยใช้ซีนเคลือบเม็ดยาในการป้องกัน ควบคุม และปล่อยกลิ่นและกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ขนมหวาน ถั่ว ผลไม้แห้ง เยลลี่ การเคลือบด้วยซีนจะให้ผลดีเพราะมีอัตราการแห้งเร็วกว่าทำให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น สามารถเก็บได้นานในสภาพที่มีความชื้นสูง สามารถป้องกันการดูดความชื้นของอาหาร ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของอัลมอนต์ และถั่ว นอกจากนี้ยังใช้เคลือบเปลือกไข่เพื่อรักษาคุณภาพและกลิ่นรสของไข่และยังทำให้ไข่มีความต้านทานต่อจุลินทรีย์สูงขึ้น ส่วนการเคลือบซินบนผิวอาหารกึ่งชื้นมักมีการเติมสารกันเสียลงไปด้วยเพื่อมิให้จุลินทรีย์เติบโตที่ผิวอาหาร ลดอัตราการแพร่กระจายของสารเคมีเข้าสู่อาหารและรักษาความเข้มข้นของสารเคมีที่ผิวไว้ได้นาน (มณฑาทิพย์, 2535; Damodaran and Paraf, 1997)

ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพืชที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่ามาก เพราะเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง มีใยอาหารสูง ช่วยป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ เช่น ลดปริมาณโคเลสเตอรอล (cholesterol) โปรตีนในถั่วเหลืองจัดเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์และย่อยได้ง่าย และมีแอสพาราจีน (asparagine) และกลูตามีนในปริมาณที่สูงด้วย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางหน้าที่ที่ดี และต้นทุนในการผลิตต่ำ แหล่งของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับกันเป็นอย่างดี คือ แป้งโปรตีนถั่วเหลือง (Soy Protein Flour [SPF]) โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (Soy Protein Concentrate [SPC]) และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy Protein Isolate [SPI]) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่างกันคือ ร้อยละ 50, 70 และ 90 ตามลำดับ โปรตีนถั่วเหลืองส่วนใหญ่จะละลายน้ำหรือละลายในสารละลายเกลือเจือจางซึ่งมี pH สูง หรือต่ำกว่าจุดที่ทำให้เกิดการ

ตกตะกอนของโปรตีน (Isoelectric point [pH 4 – 5]) และโครงสร้างแบบธรรมชาติ (native structure) ของโปรตีนถั่วเหลืองจะอยู่ในรูปกลม (globular) มีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ คอนไกลิซีนิน (conglycinin) ร้อยละ 60–70 และไกลิซีนิน (glycinin) ทั้งคอนไกลิซีนินและไกลิซีนินเป็นโปรตีนที่จับตัวกันแน่น พันธะไดซัลไฟด์ที่อยู่ภายนอกโมเลกุลของคอนไกลิซีนินสามารถเกิดพันธะข้าม (crosslinking) ได้น้อย เพราะมีกลุ่มของซิสเทอีน (cysteine) เพียง 2–3 กลุ่ม ต่อ 1 โมเลกุล โปรตีน ในขณะที่ไกลิซีนินมีพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ภายในโมเลกุลถึง 20 พันธะ ซึ่งพันธะไดซัลไฟด์มีบทบาทสำคัญในการเกิดฟิล์ม การใช้ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองก็เพื่อช่วยให้การรวมตัวกันของน้ำแข็งชุบทอดนั้นดีขึ้น ห่อหุ้มเส้นใยของเนื้อสัตว์เพื่อรักษากลิ่นรส ช่วยลดการเคลื่อนที่ของน้ำในลูกเกิดและถั่วตากแห้ง ใช้แทนคอลลาเจนในการทำไส้เทียมของไส้กรอก หรือช่วยลดปริมาณการดูดซับของน้ำมันในอาหารทอด (Damodaran and Paraf, 1997)

กลไกในการเกิดฟิล์มและสารเคลือบ มี 3 ลักษณะ ดังนี้ (Guilbert *et al.*, 1996)

1) การเกิดฟิล์มและสารเคลือบอย่างง่าย เป็นการทำให้ไฮโดรคอลลอยด์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำเกิดการตกตะกอน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสหลังจากระเหยตัวทำละลายโดยการทำให้แห้ง หรือหลังจากเติมสารที่ละลายในน้ำที่ไม่ใช่ไอออนิก (hydro-soluble non-electrolyte) ซึ่งจะทำให้ไฮโดรคอลลอยด์ไม่ละลายน้ำ หรือหลังจากปรับ pH จากการเติมอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะข้าม

2) การเกิดฟิล์มและสารเคลือบอย่างซับซ้อน ซึ่งเป็นการผสมระหว่างสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ที่มีประจุตรงข้ามกันซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างกัน และเกิดการตกตะกอนของโพลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน

3) การเกิดเจลหรือการเสียสภาพจากความร้อน กลไกในการเกิดเจลเกิดจากสารที่สามารถเกิดเจลได้จะถูกทำให้เปียก แล้วมีการคูดน้ำ ซึ่งบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ บางชนิดมีการพองตัว เมื่อมีการคูดน้ำและอุ้มน้ำไว้ได้แล้ว สารที่ทำให้เกิดเจลบางชนิดต้องได้รับความร้อนเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในระดับโมเลกุล เช่น การเสียสภาพของโปรตีน การเกิดเจลจากพอลิเมอร์ของสตาร์ช เป็นต้น จากนั้นโมเลกุลที่มีโครงสร้างใหม่จะจัดเรียงตัวประสานกันเป็นร่างแหสามมิติซึ่งอาจเป็นแบบแมโครโมเลกุลาร์ เจล (macromolecular gel) หรือพาร์ทิเคิล เจล (particle gel)

การเกิดเจลนั้นเป็นการเกิดโครงสร้างที่มีระเบียบขององค์ประกอบต่าง ๆ การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูด และแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (colloid) ด้วยตัวเองและระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว หากแรงผลักรมีมากกว่าแรงดึงดูดจะไม่เกิดโครงสร้างของเจลขึ้น แต่ถ้าแรงดึงดูดภายในโครงสร้างมีมากกว่าแรงผลัก โครงสร้างที่ได้จะไม่อุ้มน้ำหรือเกิดการสูญเสียของเหลวภายในโครงสร้างได้ง่าย พันธะเคมีที่เกี่ยวข้องกับการรักษาโครงสร้างของเจล คือ พันธะไฮโดรเจน พันธะโควาเลนต์ พันธะไอออนิก และแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก เจล เป็นโครงสร้างของระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหลเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยมีของเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกลางและของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่เป็นตัวประสานกันเป็นร่างแห (นิธิยา, 2542)

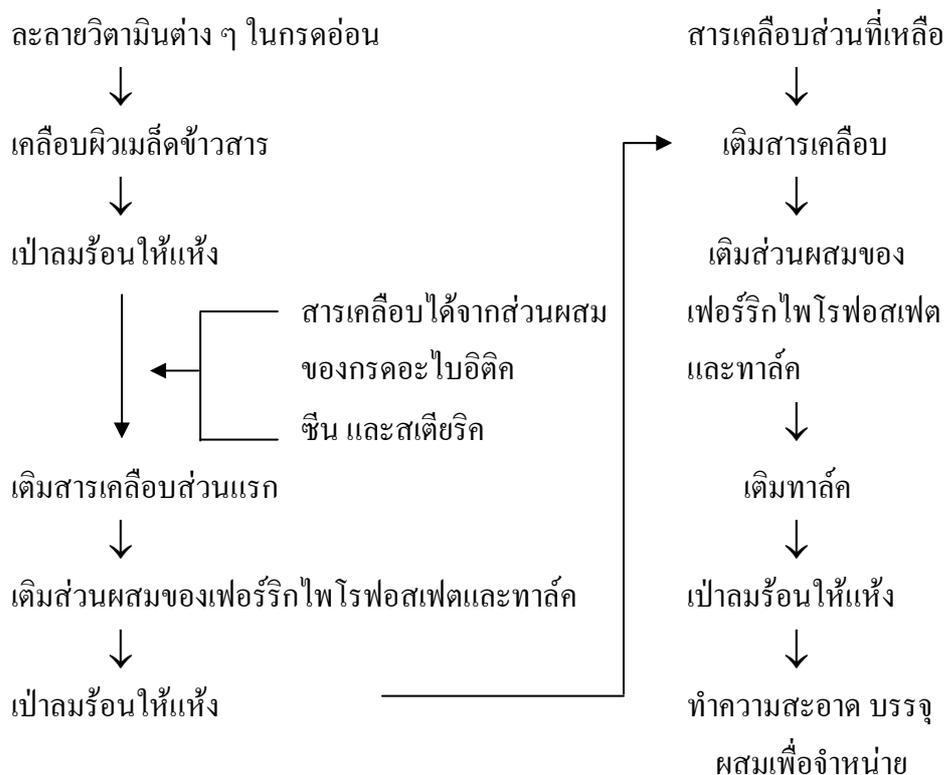
คุณสมบัติของการเกิดฟิล์ม ฟิล์มที่รับประทานได้ต้องมีลักษณะที่เฉพาะ เช่น การป้องกันการซึมผ่านความชื้น สารถูกละลาย และแก๊ส การละลายน้ำหรือไขมัน สีและลักษณะปรากฏ ลักษณะทางกลและรีโอโลยี (rheology) การไม่เป็นพิษ เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำฟิล์ม ลักษณะของการเกิดฟิล์มและการนำฟิล์มไปใช้ นอกจากนี้ สารเจือปนที่เติมเข้าไปในฟิล์มหรือสารเคลือบ ได้แก่ พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) สารที่ทำให้เกิดพันธะข้าม (cross-linking agent) สารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial) สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สารที่ช่วยให้เกิดเนื้อสัมผัส (texture agent) สามารถเติมลงไปในฟิล์มเพื่อเสริมคุณสมบัติทางหน้าที่ (Guilbert *et al.*, 1996)

ในการเกิดฟิล์มจะเกี่ยวข้องกับแรง 2 ชนิด คือ แรงยึดระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม (cohesion) และแรงเกาะติดกันระหว่างฟิล์มกับผิวสัมผัสอื่น (adhesion) ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของไบโอโพลิเมอร์ (biopolymer) การเกิดฟิล์มและปัจจัยต่าง ๆ ในการเกิดฟิล์ม เช่น อุณหภูมิ ความดัน ชนิดของตัวทำละลายและการเจือจาง เทคนิคในการนำไปใช้ เทคนิคในการระเหยตัวทำละลาย เป็นต้น การเติมสารเจือปนในฟิล์ม และความหนาของฟิล์ม และระดับของแรงยึดระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม ได้แก่ ความต้านทาน (resistance) ความยืดหยุ่น (flexible) ความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) เป็นต้น (Guilbert *et al.*, 1996) Gontard *et al.* (1993) ได้รายงานว่ แรงยึดระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์มที่แข็งแรงจะลดความยืดหยุ่น การป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส และสารถูกละลาย และเพิ่มความเป็นรูปทรง

4.4.2 เทคนิคการเคลือบสารเคมีที่มีคุณค่าทางโภชนาการบนเมล็ดข้าวสาร การทำข้าวพรีมิกซ์ได้ใช้เทคนิคการเคลือบสารอาหารลงบนผิวเมล็ดข้าวและเคลือบสารป้องกันการสูญเสียสารอาหารลงไปบนเมล็ดข้าวที่เสริมสารอาหารแล้วอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำข้าวพรีมิกซ์ผสมกับข้าวขาวปกติในอัตราส่วนที่ทำให้ได้ปริมาณสารอาหารที่ต้องการ เทคนิคเหล่านี้ได้แก่

1) Feiger Method วิธีนี้จะผสมเมล็ดข้าวสารกับสารละลายของไทอะมิน ไนอะซิน และเกลือแร่ที่ละลายน้ำได้ดี จากนั้นนำไปทำแห้งแล้วเคลือบด้วยสารพวกคอลลอยด์ (colloid) ที่เกิดเป็นเยื่อแผ่นบางได้เพื่อป้องกันการสูญเสียสารอาหารจากการล้างข้าวก่อนการหุงต้ม ซึ่งฟิล์มนี้จะสลายตัวด้วยความร้อนขณะหุงต้ม ข้าวที่ได้จะมีความเข้มข้นของวิตามินและเกลือแร่สูง ดังนั้นจึงนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 100 ข้าวเสริมวิตามินที่ได้จากวิธีการนี้เมื่อล้างข้าวจะสูญเสียไทอะมินและไนอะซินร้อยละ 13.5 และ 14.1 ตามลำดับ (Grist, 1975)

2) Hoffman-La Roche process วิธีนี้ได้มีการทดลองที่เมือง Bataan ประเทศฟิลิปปินส์ ในปี ค.ศ. 1948-1950 ซึ่งข้าวเสริมวิตามินที่ผลิตโดยวิธีนี้ช่วยลดการเสียชีวิตด้วยโรคเหน็บชา (beri-beri) ลงได้มาก (Brooke, 1972) กระบวนการผลิตแสดงดังภาพที่ 16 โดยนำข้าวสารใส่ถังรูปทรงกระบอกที่วางตามแนวนอน ปล่อยให้ถังหมุนช้า ๆ จากนั้นพ่นส่วนผสมของสารละลายกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) กับไทอะมิน และไนอะซินลงบนผิวของเมล็ดข้าวสาร ใช้ลมร้อนเป่าให้ข้าวแห้ง จากนั้นเคลือบสารป้องกันการสูญเสียวิตามินที่มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งประกอบด้วยสารละลายเอทานอล (ethanol) หรือไอโซโพรพานอล (isopropanol) ของซิน กรดไขมันคือ กรดปาล์มิติก (palmitic acid) หรือกรดสเตียริก (stearic acid) และกรดอะไบติค (abietic acid) ลงไปครั้งหนึ่งก่อน เมื่อทำแห้งเสร็จแล้วเติมส่วนผสมของเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตกับทัลค (talc) เพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวเกาะรวมกัน จากนั้นเคลือบสารป้องกันที่เหลืออยู่อีกชั้นหนึ่งแล้วทำแห้งด้วยลมร้อน ข้าวพรีมิกซ์ที่ผลิตได้นี้จะนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 199 จะได้ข้าวเสริมวิตามินที่มีไทอะมิน ไนอะซิน และเหล็ก ปริมาณ 2, 16 และ 13 มิลลิกรัม ต่อ ข้าว 454 กรัม ตามลำดับ (Misaki and Yasumatsu, 1985)



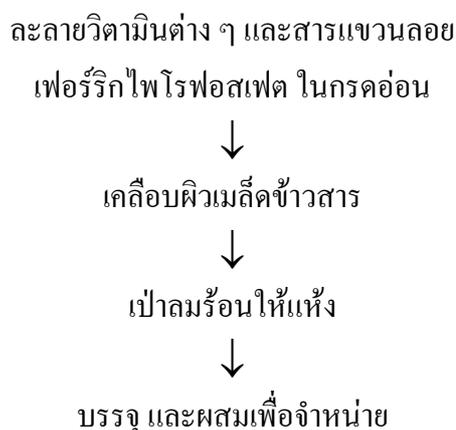
ภาพที่ 16 กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามินของ Hoffman-La Roche

ที่มา: Bramall (1986)

3) Merck premix process เป็นวิธีที่คิดค้นโดยบริษัท Merck ซึ่งกระทรวงกลาโหมแห่งสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ว่าจ้างการผลิตข้าวเสริมวิตามินนี้ให้แก่กองทัพของจีนคณะชาติ (ไต้หวัน) ในปี ค.ศ. 1958 โดยมีกระบวนการผลิตคือ นำข้าวสารใส่ถังรูปทรงกระบอกที่วางตามแนวนอนที่หมุนอย่างช้า ๆ จากนั้นพ่นด้วยสารละลายของอะซิโตน (acetone) และน้ำซึ่งละลายไทอะมิน ไนอะซิनाไมด์ เฟอร์ริกออร์โทฟอสเฟต และเอทิลเซลลูโลส (ethylcellulose) จากนั้นใช้ลมเป่าให้ข้าวแห้ง แล้วเคลือบทับด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ของคอนเฟลชันเนอร์ี เซลแลค (shellac) และผงทาลค์ (Brooke, 1972)

4) RCL process บริษัท สหกรณ์ผู้ปลูกข้าว (Ricegrowers' Co – operative Limited) ประเทศออสเตรเลีย ได้ปรับปรุงวิธี Hoffman – La Roche process ทำโดยละลายวิตามินในกรดเจือจาง และทำให้เกลือเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตกระจายตัวในสารละลายของวิตามินในกรดเคลือบบนผิวเมล็ดข้าวสารแล้วทำให้แห้ง วิธีนี้ขั้นตอนการผลิตง่าย คือมีเพียง 4 ขั้นตอน เมื่อ

เปรียบเทียบกับวิธี Hoffman – La Roche process ซึ่งมีถึง 13 ขั้นตอน ผลิตได้เร็วกว่าและใช้สารเคมีน้อยกว่า ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้หลายเท่า วิธี RCL process (ภาพที่ 17) จะกระจายสารเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตในสารละลายกรดเจือจางก่อน แล้วจึงฉีดพ่นลงบนข้าวในถังผสม เพื่อให้กรดเปลี่ยนสสารซ์ที่ผิวเป็นน้ำตาลซูโครสบนผิวเมล็ดข้าวในช่วงเวลาที่เหมาะสม และดูดซับสารอาหารเข้าไปในเมล็ดข้าวและจับยึดเหล็กไว้ภายในชั้นของน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยของกรด วิธี Hoffman – La Roche process และ Merck premix process จำเป็นต้องใช้สารจำพวกกัม (gum) หรือเรซิน (resin) เพื่อยึดเกลือเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟต เมื่อนำข้าวพรีมิกซ์ไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 จะมีปริมาณสารอาหาร คือ ไทอะมิน 3.5 มิลลิกรัม ไนอะซิน 50 มิลลิกรัม และเหล็ก 20 มิลลิกรัม ต่อกรัม (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 17 กระบวนการผลิตข้าวสารเสริมวิตามินของ Ricegrowers' Co-operative Limited
ที่มา: ดัดแปลงจาก Bramall (1986)

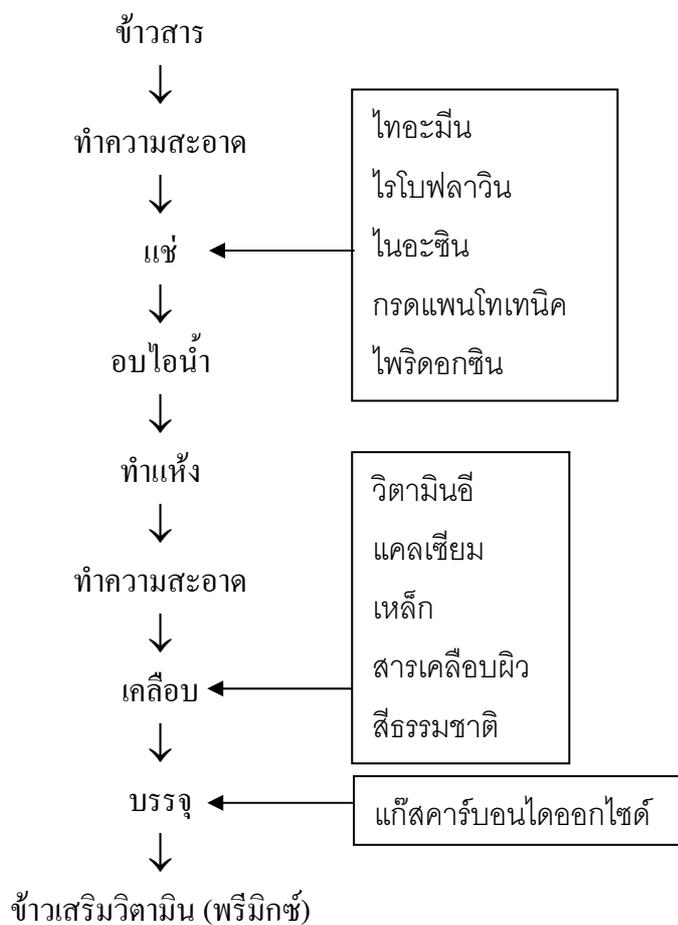
ตารางที่ 8 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพรีมิกซ์ ข้าวกล้อง และข้าวเสริมวิตามินผสม
1 ต่อ 200 (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)

ผลิตภัณฑ์	ไทอะมีน	ไนอะซิน	เหล็ก
ข้าวพรีมิกซ์	70.00	1000.00	400.00
ข้าวกล้อง	0.20 - 0.51	4.00 - 6.40	1.50 - 2.50
ข้าวเสริมวิตามิน	0.35	5.00	2.00

ที่มา: Furter *et al.* (1946)

5) การแช่ข้าวแบบญี่ปุ่น (soaking method) ชาวญี่ปุ่นได้ผลิตข้าวเสริมวิตามินซึ่งวิธีดั้งเดิมทำโดยแช่เมล็ดข้าวสารในสารละลายกรดอะซิติก (acetic acid) เข้มข้นร้อยละ 1 กับไทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ไวนานระยะหนึ่ง รินน้ำทิ้งไปแล้วนำข้าวมานึ่งเพื่อให้ข้าวเกิดเจลลิตินซ์บางส่วน แล้วทำให้แห้งเพื่อให้สูญเสียวิตามินจากการล้างและหุงต้มน้อยที่สุด เมล็ดข้าวพรีมิกซ์ที่ได้นี้จะนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 ก็จะได้ข้าวเสริมวิตามิน (Brooke, 1972)

ปัจจุบันการผลิตข้าวเสริมวิตามินของญี่ปุ่นจะเสริมคุณค่าทางอาหาร 8 ชนิด คือ ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน กรดแพนโทเทนิค (pantothenic acid) ไพริดอกซิน (pyridoxine) วิตามินอี แคลเซียม และเหล็ก ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท Takeda Chemical Industries Ltd. มีชื่อทางการค้าว่า “Shingen” เมื่อผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 จะมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับข้าวกล้อง กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามิน (ภาพที่ 18) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การแช่ในสารละลายกรดและการเคลือบ โดยแช่ข้าวสารในสารละลายกรดอะซิติกที่มีวิตามินต่าง ๆ ที่ละลายได้ในน้ำละลายอยู่ จากนั้นนำข้าวที่แช่เสร็จแล้วนี้ไปอบไอน้ำเพื่อลดการสูญเสียวิตามินทำให้ข้าวแห้ง แล้วเคลือบวิตามินอี แคลเซียม และเหล็ก หลังจากนั้นเคลือบสารเคลือบผิวเพื่อป้องกันการสูญเสียสารอาหารในการล้างข้าว บรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมลามิเนต และอัดแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ เพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินอีในระหว่างการเก็บรักษาพบว่า มีการสูญเสียสารอาหารตอนล้างข้าวก่อนหุงต้มร้อยละ 10 (Misaki and Yasumatsu, 1985) ปริมาณวิตามินที่คงอยู่หลังจากการหุงต้มข้าวพรีมิกซ์ (Shingen) แสดงดังตารางที่ 9



ภาพที่ 18 กระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามิน “Shingen” (พรีมิกซ์)

ที่มา: Misaki and Yasumatsu (1985)

ตารางที่ 9 ปริมาณวิตามินที่คงอยู่หลังจากการหุงต้มข้าวพรีมิกซ์ (Shingen)

สารอาหาร	ปริมาณเริ่มต้น (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	ปริมาณที่คงอยู่ (ร้อยละ)
โทอะมิน	1.50	89
ไรโบฟลาวิน	0.06	88
ไนอะซิน	6.20	92
กรดแพนโทเทนิค	2.34	97
ไพริดอกซีน	0.08	100
วิตามินอี	1.38	85

ที่มา: Misaki and Yasumatsu (1985)

4.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตข้าวเสริมวิตามิน โดยใช้เทคนิคการเคลือบ

Peil *et al.* (1981) ศึกษาการเคลือบเมล็ดข้าวด้วยโพลีเมอร์ที่บริโภคได้ เพื่อรักษาสารอาหารที่เดิมในเมล็ดข้าวระหว่างการหุงข้าวแบบรินน้ำทิ้งพบว่า การใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสร่วมกับเมทิลเซลลูโลส ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 เคลือบเมล็ดข้าวให้ผลดีที่สุด ซึ่งในการหุงข้าวที่เคลือบแล้ว 1 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิกรัม และรินน้ำทิ้ง จะยังคงมีสารอาหารเหลืออยู่ดังนี้ วิตามินเอร้อยละ 70 เหล็กร้อยละ 100 ไนอะซินร้อยละ 18 โทอะมินร้อยละ 18 และไรโบ ฟลาวินร้อยละ 21

อารี (2534) ศึกษาการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเคลือบวิตามินและเกลือแร่ที่มีความเข้มข้นสูงบนเมล็ดข้าวสาร ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ข้าวพรีมิกซ์ โดยข้าวพรีมิกซ์มีปริมาณ โทอะมิน ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน วิตามินบีหก แคลเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 130, 250, 1,050, 250, 720 และ 215.40 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อนำไปผสมข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 จะได้ข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่ที่มีปริมาณ โทอะมิน ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน วิตามินบีหก แคลเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.7, 1.3, 6.4, 1.3, 7.8 และ 100.4 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และคุณค่าทางโภชนาการที่เหลือหลังจากหุงต้มข้าวพรีมิกซ์บรรจุกระป๋องโดยไม่มีการล้างพบว่า มีปริมาณโทอะ

มีน ไรบโพลาวิน ในอะซิน และวิตามินบีหกเหลืออยู่ร้อยละ 96, 96, 96 และ 97 ของปริมาณเริ่มต้น ตามลำดับ

อรอนงค์ (2545) ศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวเคลือบที่มีกลิ่นหอมเพิ่มคุณค่าทางอาหารและทนต่อการเสื่อมคุณภาพ โดยมีขั้นตอนแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเตรียมสารเคลือบเมล็ดข้าว และกรรมวิธีการเคลือบเมล็ดข้าวด้วยสารเคลือบ การเตรียมสารเคลือบเมล็ดข้าวทำได้โดยการละลายส่วนผสมที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินที่ละลายในน้ำ เกลือแร่ คาร์โบไฮเดรต และสารกันเสียลงในน้ำไบเดย และละลายส่วนผสมที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินที่ละลายในไขมัน สารต้านอนุมูลอิสระ และสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifying agent) ลงในน้ำมันพืช แล้วนำส่วนผสมทั้ง 2 ส่วนมาปั่นผสมด้วยเครื่องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำสารเคลือบฉีดพ่นลงบนเมล็ดข้าวสาร หรือข้าวกล้อง แล้วทำให้แห้ง จะทำให้ได้ข้าวสารหรือข้าวกล้องที่มีคุณภาพดีขึ้นกว่าข้าวที่ไม่ได้เคลือบ โดยมีกลิ่นหอม มีคุณค่าทางอาหารและโภชนาการเพิ่มขึ้น ทนต่อการเสื่อมคุณภาพได้นานกว่าข้าวที่ไม่ได้เคลือบ

Shrestha *et al.* (2003) ศึกษาความเป็นไปได้ของการเติมกรดโฟลิก (folic acid) ลงในเมล็ดข้าวแล้วเคลือบด้วยสารเคลือบที่รับประทานได้ชนิดต่าง ๆ การเตรียมข้าวพรีมิกซ์เข้มข้นโดยพ่นฝอยสารละลายกรดโฟลิกจากนั้นพ่นฝอยด้วยสารละลายโพลีเมอร์ แล้วนำไปทำให้แห้ง พบว่า การสูญเสียปริมาณกรดโฟลิกในขั้นตอนการล้าง ซึ่งเรียงจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด คือ ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเอทิลเซลลูโลส (ethylcellulose) เพคติน องค์กรประกอบที่มีส่วนผสมของโลคัสบีน (locust bean) และอาร์การ์ (agar) โดยสูญเสียร้อยละ 2, 9 และ 11 ตามลำดับ และยังพบว่าไม่มีสารเคลือบชนิดใดที่ใช้ในการทดลองสามารถช่วยคงปริมาณกรดโฟลิกให้เหลืออยู่ในระหว่างการหุงต้มเมื่อมีการใช้ปริมาณน้ำที่มากเกินไป นอกจากนี้สารเคลือบยังมีผลทำให้ข้าวมีสีเหลืองของกรดโฟลิกอีกด้วย

4.5 การเติมสารอาหารในขณะหุงต้ม เป็นการเตรียมข้าวหุงสุกเสริมสารอาหารโดยการเติมสารอาหารในปริมาณที่ต้องการในขณะหุงต้ม ซึ่งสามารถทำได้โดยผสมสารอาหารที่เป็นผง หรือเป็นเม็ดละลายในน้ำ สารละลายสารอาหารที่ได้นั้นจะเติมในระหว่างการหุงต้ม (Kawasaki, 1951; Watanabe, 1952) วิธีนี้เหมาะสำหรับการหุงต้มครั้งละจำนวนมาก เช่น อาหารกลางวันสำหรับนักเรียนที่โรงเรียน หรือสำหรับคนงานในโรงงาน และวิธีนี้จะง่ายต่อการปรับปริมาณสารอาหารที่ต้องการและเป็นวิธีการที่ประหยัด (Misaki and Yasumatsu, 1985)

4.6 การสร้างเมล็ดข้าวเทียม (simulated rice) ทำโดยการผสมแป้งสาธิตกับแป้งข้าวเจ้า จากนั้นเติมสารอาหารลงไป เติมน้ำและนวดเป็นโด (dough) ซึ่งแป้งสาธิตจะทำหน้าที่เป็นตัวจับสารอาหาร และให้อยู่เป็นเมล็ดข้าว จากนั้นนำโดไปผ่านเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ (extruder) ภายใต้อุณหภูมิ ความดัน และตัดเป็นชิ้นขนาดเท่าเมล็ดข้าว เมื่อนำไปทำแห้งก็จะได้เมล็ดข้าวเทียม เมล็ดข้าวเทียมที่ได้จะมีสารอาหารเป็น 200 เท่าของข้าวขัดขาวจึงนำไปผสมกับข้าวขัดขาวในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 (Ariyama and Cort, 1974; Misaki and Yasumatsu, 1985) วิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของพรีมิกซ์ได้ตามความต้องการของสารอาหารชนิดนั้น แต่มีข้อเสีย คือ สารอาหารที่เติมลงไปมีการสูญเสียในระหว่างการล้างและหุงต้มสูง และเนื่องจากโปรตีนในแป้งสาธิตเป็นกลูเต็น (gluten) จึงทำให้ข้าวมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับและมีความน่ารับประทานน้อยลง (Brooke, 1972)

Ariyama *et al.* (1952) และ Sakurai *et al.* (1952) ศึกษาวิธีการผลิตข้าวเสริมสารอาหาร โดยการนำข้าวเทียมเสริมสารอาหารแล้วจึงผสมกับข้าวขัดขาวปกติ มีวัตถุประสงค์หลักคือ แป้งสาธิต (ร้อยละ 75) แป้งข้าวเหนียว (glutinous rice flour) (ร้อยละ 20) และแป้งข้าวเจ้า (nonglutinous rice flour) (ร้อยละ 5) หลังจากการเติมไทอะมีนแล้ว นำไปผสมกับน้ำและนวดเป็นโด แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นเมล็ดข้าวโดยใช้แกรนูลเลเตอร์ (granulator) ซึ่งมักใช้ขึ้นรูปทำมะกะโรนี หรือเส้นก๋วยเตี๋ยว จากนั้นนำไปนึ่งเพื่อให้เกิดเจลที่ขึ้นผิวหน้าและอบให้แห้ง วิธีการนี้จะง่ายต่อการควบคุมชนิดและปริมาณสารอาหารที่นำไปผสม แต่เมื่อทำให้สุกแล้วจะมีลักษณะปรากฏที่ไม่ดี

4.7 การใช้วิธีพันธะข้าม (crosslinking) Joseph *et al.* (1990) ศึกษาการพัฒนาวิธีการล้างและการหุงต้มสำหรับเมล็ดข้าวเสริมวิตามิน คือ ไนอะซิน ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไพรีดอกซินแบบผสมกับข้าวแล้วทำให้เกิดพันธะข้ามภายใต้สภาวะความเป็นกรดและด่าง โดยใช้อะเซทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และอีพิคลอไฮดริน (epichlorohydrin) ตามลำดับ พบว่า การทำพันธะข้ามภายใต้สภาวะความเป็นกรดสามารถดูดซับวิตามินได้มากกว่าสภาวะความเป็นด่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือที่สภาวะความเป็นกรดมีการสูญเสียไพรีดอกซิน ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินร้อยละ 16.02, 79.08, 22.30 และ 43.02 ตามลำดับ ส่วนที่สภาวะความเป็นด่างมีการสูญเสียร้อยละ 84.48, 92.30, 38.92 และ 49.49 ตามลำดับ ข้าวที่ได้จากการทำพันธะข้ามภายใต้สภาวะความเป็นกรดจะยังคงมีวิตามินอยู่ แม้ว่าจะมีการล้างข้าวในสภาวะที่ใช้น้ำปริมาณที่มากเกินไป การหุงต้มและการบรรจุกระป๋องจะลดระดับวิตามินของข้าว แต่ข้าวที่เสริมวิตามินยังคงมีวิตามินปริมาณสูงกว่าข้าวปกติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีไพรีดอกซิน ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และ

ไนอะซินในข้าวหุงต้ม 0.075, 0.088, 0.098 และ 1.392 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนข้าวบรรจุกระป๋องมีปริมาณ 0.074, 0.042, 0.099 และ 1.786 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ปิยธิดา (2541) ศึกษาการผลิตข้าวเสริมวิตามิน โดยวิธีพ่นระฆังเพื่อลดปริมาณการสูญเสียวิตามินในระหว่างการล้างและหุงต้ม โดยการเติมไนอะซินและไพรีดอกซินลงในข้าวสาร โดยปล่อยให้วิตามินแพร่กระจายเข้าไปในเมล็ดข้าวก่อนแล้วจึงสร้างพ่นระฆังสารด้วยอะซิตัลดีไฮด์ในสภาพที่เป็นกรดเพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินและทำแห้งจนมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 14 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ข้าวพรีมิกซ์ นำผลิตภัณฑ์ข้าวพรีมิกซ์ผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 199 จะได้ข้าวเสริมวิตามินโดยข้าวเสริมวิตามินมีปริมาณไนอะซินและไพรีดอกซิน 6.90 และ 1.30 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และศึกษาผลของการแปรรูปการผลิตข้าวเสริมวิตามินบรรจุกระป๋องพบว่า มีปริมาณไนอะซินและไพรีดอกซินเหลือในข้าวเสริมวิตามินหลังหุงต้มแล้วร้อยละ 71 และ 98 ตามลำดับ

5. ปริมาณสารอาหารของข้าวเสริมวิตามิน

ปริมาณสารอาหารของข้าวเสริมวิตามินควรเท่ากับหรือสูงกว่าข้าวกล้องเล็กน้อยเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสารให้เท่ากับหรือสูงกว่าข้าวกล้อง หรือพิจารณาจากข้อกำหนดของปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน (Dietary Reference Intake [DRI]) ปริมาณสารอาหารที่แนะนำต่อวันของไทย (Thai Reference Daily Intake [ThaiRDI]) ปริมาณวิตามินของข้าวเคลือบวิตามินบีของไทย มาตรฐานข้าวเสริมสารอาหารของสหรัฐอเมริกา หรือข้าวเสริมวิตามินของญี่ปุ่น หรือเทียบจากปริมาณวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ของข้าวหอมมะลิเดิมวิตามินที่มีขายในท้องตลาด คือ ข้าวข้างทิพย์ ของบริษัท สาทรธุรกิจเลิศรวมมิตร จำกัด แสดงดังตารางที่ 10-15

ตารางที่ 10 ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน (Dietary Reference Intake [DRI]):
ปริมาณวิตามินที่แนะนำสำหรับแต่ละบุคคล

อายุ (ปี)	ไทอะมีน (มิลลิกรัม)		ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)		ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	
	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
9-12	0.9	0.9	0.9	0.9	12	12
13-18	1.2	1.0	1.3	1.0	16	14
ตั้งแต่ 19-70	1.2	1.1	1.3	1.1	16	14

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2547)

ตารางที่ 11 ปริมาณสารอาหารที่แนะนำต่อวันของไทย (Thai Reference Daily Intake [RDI]):
ปริมาณวิตามินที่แนะนำต่อวัน

สารอาหาร	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	1.5
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	1.7
ไนอะซิน (มิลลิกรัม เอ็น อี)	20.0

หมายเหตุ เอ็น อี คือ ไนอะซิน อิกควิวาเลนต์ (niacin equivalent [NE])

1 มิลลิกรัม เอ็น อี เท่ากับ 1 มิลลิกรัม ไนอะซิน หรือ 60 มิลลิกรัม ทริปโตเฟน

ที่มา: คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (2546)

ตารางที่ 12 ปริมาณวิตามินของข้าวเคลือบวิตามินบีของไทย

สารอาหาร	ปริมาณ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมที่บริโภคได้)
ไทอะมีน	1.25
ไรโบฟลาวิน	0.97
ไนอะซิน	8.20

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2544)

ตารางที่ 13 มาตรฐานข้าวเสริมสารอาหารของสหรัฐอเมริกา (มิลลิกรัม ต่อ ปอนด์)

สารอาหาร	มาตรฐาน
ไทอะมีน	2.0 - 4.0
ไรโบฟลาวิน	1.2 - 2.4
ไนอะซิน	16.0 - 32.0
แคลเซียม	500.0 - 1,000.0
เหล็ก	13.0 - 26.0
วิตามินดี (IU ต่อปอนด์)	250.0 - 1,000.0
กรดโฟลิก	0.7 - 1.4

หมายเหตุ ไรโบฟลาวิน แคลเซียม วิตามินดี และกรดโฟลิกอาจใส่หรือไม่ใส่ก็ได้

ที่มา : The Department of Health and Human Services Food and Drug Administration (1998)

ตารางที่ 14 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสาร ข้าวกล้องและข้าวเสริมวิตามินผสม 1 ต่อ 200 ของข้าวญี่ปุ่น (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)

สารอาหาร	ข้าวสาร	ข้าวกล้อง	ข้าวผสมวิตามิน
โทอะมีน	0.12	0.54	0.87
ไรโบฟลาวิน	0.03	0.06	0.06
ไนอะซิน	1.40	4.50	4.50
กรดแพนโทเทนิค	0.23	1.40	1.40
ไพริดอกซิน	0.06	0.43	0.10
วิตามินอี	0.09	0.78	0.78
แคลเซียม	6.00	10.00	10.00
เหล็ก	0.50	1.10	1.10

ที่มา: ดัดแปลงจาก Misaki and Yasumatsu (1985)

ตารางที่ 15 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของข้าวหอมมะลิเต็มวิตามิน (ข้าวข้างทิพย์)

สารอาหาร	ปริมาณ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ข้าวสาร)
โทอะมีน	0.98
ไรโบฟลาวิน	0.87
ไนอะซิน	5.13
วิตามินบี 6	2.30
เหล็ก	0.6.5

หมายเหตุ ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของข้าวหอมมะลิเต็มวิตามิน (ข้าวข้างทิพย์) ได้จากฉลากโภชนาการ

นอกจากนี้ปริมาณสารอาหารของข้าวเสริมวิตามินสามารถพิจารณาจากหลักเกณฑ์ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541 เรื่อง ฉลากโภชนาการ ซึ่งต้องทราบปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของกลุ่มธัญพืชและผลิตภัณฑ์ก่อน ตลอดจนเงื่อนไขในการกล่าวอ้างทางโภชนาการที่เกี่ยวกับสุขภาพ เช่น “เพื่อสุขภาพ (healthy, healthful, healthiness, health)” แสดงดังตารางที่ 16-17

ตารางที่ 16 ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของกลุ่มธัญพืชและผลิตภัณฑ์

ชนิดอาหาร	หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง (กรัม)
1. อาหารเช้าจากธัญพืช (breakfast cereal) (พร้อมบริโภค)	
1.1 ที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 20 กรัมต่อ 1 ถ้วย	15
1.2 ที่มีน้ำหนักระหว่าง 20 กรัม ถึงน้อยกว่า 43 กรัมต่อ 1 ถ้วย	30
1.3 ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 43 กรัม ขึ้นไปต่อ 1 ถ้วย	55
2. รำข้าว (bran) หรือจมูกข้าวสาลี (wheat germ)	15
3. แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งท้าว ยายม่อม และคอร์น มีล (corn meal)	10
4. พาสต้า (มะกะโรนี สปาเกตตี้ และอื่น ๆ)	55 (ดิบ) 140 (ต้มสุก) 25 (ทอดกรอบ)
5. ข้าวเจ้า ข้าวบาร์เลย์	50 (ดิบ) 130 (สุก)

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2541)

ตารางที่ 17 เงื่อนไขการกล่าวอ้างทางโภชนาการของวิตามินโดยใช้เกณฑ์ต่อปริมาณหนึ่งหน่วย
บริโภค

ข้อกล่าวอ้าง	เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก)	เงื่อนไขเพิ่มเติม
1. สูง, อุดม (high, rich in, excellenct source of)	มีสารอาหารนั้นอยู่ในปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 20 ของ Thai RDI ขึ้นไป	
2. เป็นแหล่งของ มี (good source, contains, provides)	มีสารอาหารนั้นอยู่ในปริมาณร้อยละ 10-19 ของ Thai RDI	
3. เสริม เพิ่ม มากกว่า (increased, more, added, fortified, enriched)	เมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิงแล้ว อาหารนี้มีสารอาหารที่จะกล่าวอ้างอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับที่มีอยู่ในอาหารอ้างอิง โดยปริมาณค่าความต่างนั้นจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณร้อยละ 10 ของ Thai RDI	ต้องระบุอาหารอ้างอิงด้วย

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2541)

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. วัสดุ

1.1 ข้าวสารหอมมะลิ พันธุ์ ดอกมะลิ 105 ตราหงส์ทอง จากโมเดิร์นเทรด (modern trade)

1.2 ถุงพลาสติก

1.3 ถุงออลูมิเนียม ฟอล์ย

1.4 กล่องพลาสติก

2. สารเคมี

2.1 ไทอะมิน ไฮโดรคลอไรด์ สำหรับใช้ในอาหาร มีลักษณะเป็นผงสีขาวมีกลิ่นอ่อน ๆ ความสามารถในการละลายน้ำ 100 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร บรรจุในขวดแก้วสีชา ปริมาณการบรรจุ 20 กรัม ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท DSM Nutritional Product ประเทศไทย

2.2 ไรโบฟลาวิน สำหรับใช้ในอาหาร มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองถึงเหลืองส้มไม่มีกลิ่น มีรสขม ความสามารถในการละลายน้ำ 16 มิลลิกรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส บรรจุในขวดแก้วสีชา ปริมาณการบรรจุ 30 กรัม ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท DSM Nutritional Product ประเทศไทย

2.3 ไนอะซินาไมด์ สำหรับใช้ในอาหาร มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ความสามารถในการละลายน้ำ 691.0 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงออลูมิเนียม ฟอล์ย ปิดผนึก ปริมาณการบรรจุ 100 กรัม ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท DSM Nutritional Product ประเทศไทย

2.4 เพคติน ชนิด ปริมาณเมทอกซิลต่ำ สำหรับใช้ในอาหาร 3 ชนิด

2.4.1 เพคติน ชนิด 7210 เป็นเพคตินชนิดปริมาณเมทอกซิลต่ำ สกัดจากเปลือกส้ม ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 28 และปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21 มีปริมาณเพคตินร้อยละ 63 มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงน้ำตาลเหลืองซีด บรรจุในถุงพลาสติกมีซิปปิดสนิท และใส่กระปุกพลาสติก มีฝาปิด ปริมาณการบรรจุ 150 กรัม ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท อีสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด

2.4.2 เพคติน ชนิด 7220 เป็นเพคตินชนิดปริมาณเมทอกซิลต่ำ สกัดจากเปลือกส้ม ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 31 และปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18 มีปริมาณเพคตินร้อยละ 63 มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงน้ำตาลเหลืองซีด บรรจุในถุงพลาสติกมีซิปปิดสนิท และใส่กระปุกพลาสติก มีฝาปิด ปริมาณการบรรจุ 150 กรัม ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท อีสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด

2.4.3 เพคติน เพอเพิล ริบบอน เพียว (Pectin Purple Ribbon pure) เป็นเพคตินชนิด ปริมาณเมทอกซิลต่ำ สกัดจากแอปเปิ้ลเหลืองผสมกับเปลือกส้ม ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 มีปริมาณเพคตินร้อยละ 85-100 มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล บรรจุในกระปุกพลาสติกฝาปิดสนิท ปริมาณการบรรจุ 100 กรัม ได้รับความอนุเคราะห์จากห้างหุ้นส่วน จำกัด นิวทริชั่น ประเทศไทย

2.5 แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride [CaCl₂]) สำหรับใช้ในอาหาร บริษัท ไทยฟูด แอนด์ เคมิคอล จำกัด ประเทศไทย

2.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide [NaOH]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท MERCK ประเทศเยอรมัน

2.7 โพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ (potassium ferricyanide [K₃Fe(CN)₆]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Asia Pasific Specialty Chemical Limited ประเทศออสเตรเลีย

2.8 ไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์ (isobutyl alcohol [(CH₃)₂CHCH₂OH]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Fisher Science UK Limited ประเทศอังกฤษ

2.9 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (hydrochloric acid [HCl]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท MERCK ประเทศเยอรมัน

2.10 กรดอะซิติก (acetic acid [CH₃COOH]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท VWR International Limited ประเทศอังกฤษ

2.11 โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ หรือ โซเดียมไดไทโอไนท์ (sodium hydrosulfite หรือ sodiumdithionite [Na₂S₂O₄ + H₂O]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Asia Pasific Specialty Chemical Limited ประเทศออสเตรเลีย

2.12 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate [KMnO₄]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Fisher Science Limited ประเทศอังกฤษ

2.13 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide [H₂O₂]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Asia Pasific Specialty Chemicals Limited ประเทศออสเตรเลีย

2.14 แอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 (alcohol) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท แล็บชีสเต็มส์ จำกัด ประเทศไทย

2.15 ไทอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ (thiamine hydrochloride [C₁₂H₁₇ON₄SCl.HCl]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Asia Pasific Specialty Chemicals Limited ประเทศออสเตรเลีย

2.16 ไรโบฟลาวิน (riboflavin [C₁₇H₂₀N₄O₆]) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Sigma-Aldrich Limited ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3. อุปกรณ์ในการเตรียมสารละลายวิตามินและสารเคลือบที่รับประทานได้

3.1 เครื่องปั่นผสม รุ่น Depose ยี่ห้อ KEMA KEUR

3.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น BL210S ยี่ห้อ Sartorius

3.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Shinko denshi ยี่ห้อ Vibra

3.4 ชุดเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

3.5 เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท 0-100 องศาเซลเซียส

3.6 อุปกรณ์ครัว

4. อุปกรณ์ในการผลิตข้าวพรีมิคซ์และข้าวเสริมวิตามินโดยใช้สารเคลือบที่รับประทานได้

4.1 เครื่องผสมและเคลือบ รุ่น SPKR ยี่ห้อ MITSUBISHI

4.2 ตู้อบแห้งแบบใช้ลมร้อน (tray dryer) รุ่น BWS

4.3 กระจบอกชนิดสำหรับปั่นฝอย

4.4 หม้อหุงข้าวไฟฟ้าอัตโนมัติ รุ่น SR-D10HN ยี่ห้อ Panasonic

4.5 เครื่องอ่างน้ำเขย่าควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WB 22 ยี่ห้อ memmert

5. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

5.1 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

5.1.1 เครื่องวัดสี (spectrophotometer) รุ่น CM-3500d ยี่ห้อ MINOLTA

5.1.2 Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM) รุ่น AXIO ยี่ห้อ ZEISS

Laser LSM 5 PASCAL

5.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

5.2.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) รุ่น FD115 ยี่ห้อ WTB binder

5.2.2 เครื่องวัดค่าการเรืองแสง (spectrofluorometer) รุ่น RF540 ยี่ห้อ SHIMATZU

5.2.3 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (autoclave Stream Sterilizer) รุ่น 3850 M ยี่ห้อ Tuttnauer

5.2.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น 3320 ยี่ห้อ JENWAY

5.2.5 ชุดเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

5.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

5.3.1 อุปกรณ์ทดสอบการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส

5.3.2 แบบสอบถาม

6. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผล

6.1 โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

6.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

วิธีการ

1. การศึกษาผลของชนิดสารเคลือบที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวพรีมิกซ์

1.1 การเตรียมสารละลายวิตามินผสม

เตรียมสารละลายของวิตามิน 3 ชนิด คือ ไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และ ไนอะซินาไมด์ ปริมาณ 95, 52.6 และ 559 มิลลิกรัม ตามลำดับ โดยการละลายวิตามินทั้ง 3 ชนิด ในน้ำกลั่น ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ได้ปริมาณวิตามินทั้ง 3 ชนิด ตามมาตรฐานข้าวเสริมสารอาหารของสหรัฐอเมริกาซึ่งได้กำหนดปริมาณไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินไม่น้อยกว่า 0.44-0.88, 0.26-0.53 และ 3.52-7.04 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Food and Drug Administration [FDA], 1998) และทดแทนการสูญเสียไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากกระบวนการผลิตร้อยละ 50, 40 และ 30 ตามลำดับ (Roche *et.al.*, n.d.)

1.2 การเตรียมสารเคลือบที่รับประทานได้

ใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ คือ เพคติน ชนิดปริมาณเมทอกซิลต่ำ (low methoxyl pectin) 3 ชนิด ได้แก่ เพคติน เพอเพิล ธิบบอน เพียว ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 เพคติน ชนิด 7220 ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 31 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 และเพคติน ชนิด 7210 ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 28 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 เตรียมเป็นสารละลายตามวิธีการเตรียมสารละลายเพคตินดัดแปลงจาก Rolin *et.al.* (1998) โดยนำเพคตินผสมในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส และปั่นในเครื่องปั่นผสมที่มีความเร็วรอบสูงเป็นเวลา 3 นาที ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเพคตินมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง สารละลายเพคตินทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมได้มีความหนืดอยู่ในช่วง 31-36 เซ็นติพอยท์ (centipoises [cP]) ซึ่งเป็นความหนืดที่สามารถพ่นฝอยในการเคลือบข้าวได้ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง โดยความเข้มข้นของเพคตินแต่ละชนิดและค่าความหนืดที่สามารถพ่นฝอยได้ มาจากการศึกษาเบื้องต้น

1.3 การเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

เตรียมสารละลายแคลเซียมโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.67 (w/v) (Albert and Mittal, 2002) นำสารละลายมา 1.33 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 8 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการพ่นฝอย 1 ครั้ง (โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายพ่นคินต่อสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ คือ 6 ต่อ 1 และปรับปริมาตรสารละลายแคลเซียม 1 ส่วน ให้มีปริมาตรเท่ากับสารละลายพ่นคินที่ใช้ในการพ่นฝอย 1 ครั้ง (8 มิลลิลิตร))

1.4 การเตรียมข้าวพรีมิกซ์

เตรียมข้าวพรีมิกซ์โดยดัดแปลงวิธีการเตรียมข้าวพรีมิกซ์จาก Shrestha *et al.* (2003) โดยนำข้าวสารหอมมะลิ 100 กรัม ใส่ในเครื่องเคลือบและผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร แล้วเคลือบด้วยสารละลายวิตามินผสมที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 จากนั้นเป่าลมร้อน แล้วเคลือบด้วยสารเคลือบที่รับประทานได้ที่เตรียมได้จากข้อ 1.2 จากนั้นเคลือบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้จากข้อ 1.3 แล้วเป่าลมร้อน และเคลือบด้วยสารเคลือบที่สามารถรับประทานได้และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อีกครั้ง และเป่าลมร้อน จากนั้นนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง (ภาพที่ 19) ได้ข้าวพรีมิกซ์ซึ่งเป็นเมล็ดข้าวสารที่เคลือบด้วยไทอะมิน ไบโอฟลาวิน และไนอะซิน จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ

สิ่งทดลองที่ 1 ข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบพ่นคิน

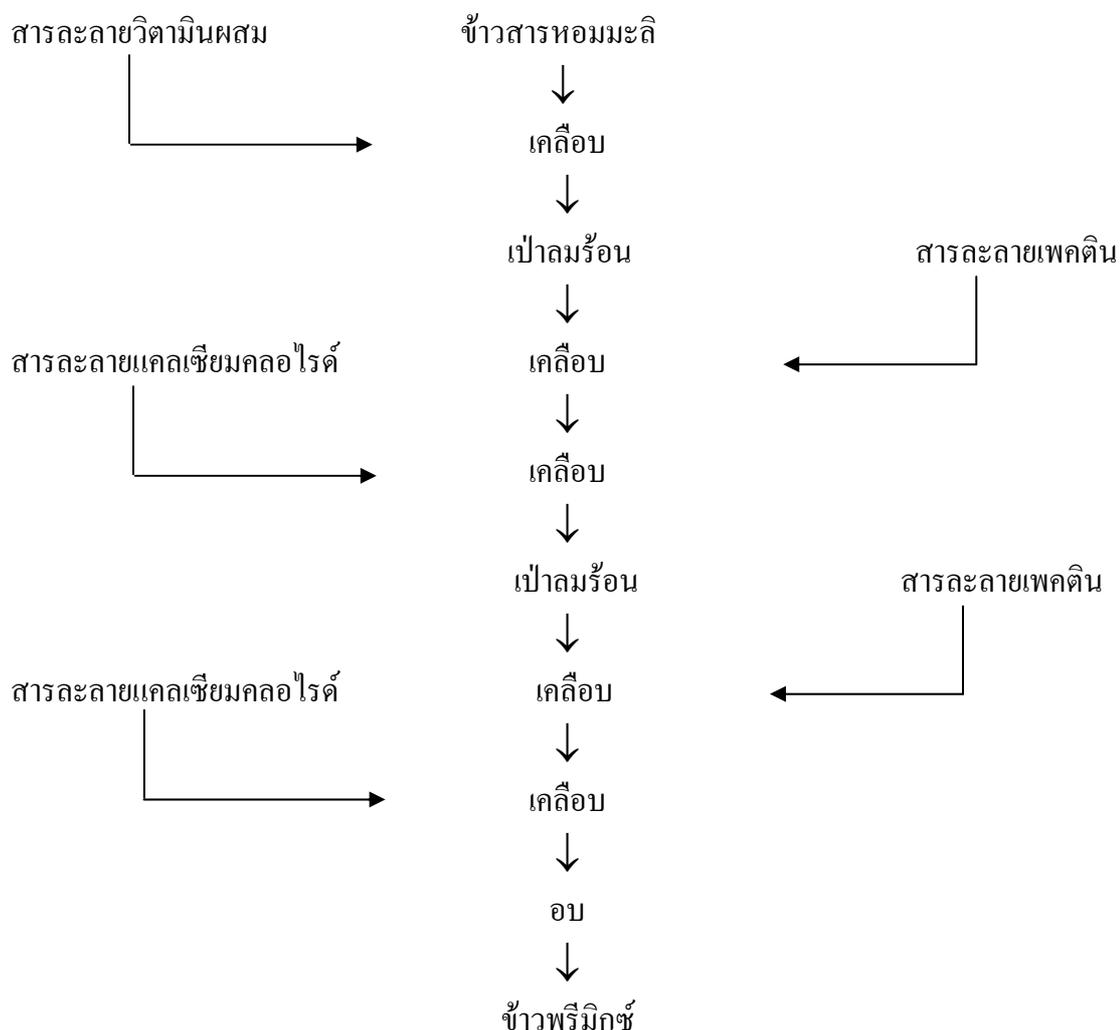
สิ่งทดลองที่ 2 ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยพ่นคินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36

สิ่งทดลองที่ 3 ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยพ่นคินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 31

ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18

สิ่งทดลองที่ 4 ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยพ่นคินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 28

ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21



ภาพที่ 19 วิธีการเตรียมข้าวพรีมิคซ์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Shrestha *et al.* (2003)

ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomize Design [CRD]) และทำการทดลอง 2 ซ้ำ แล้ววัดค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของข้าวพรีมิคซ์ทั้ง 4 สิ่งทดลอง ดังนี้

1.4.1 ถ่ายภาพด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM) เพื่อศึกษา

โครงสร้างของเมล็ดข้าวพรีมิคซ์ที่ไม่ได้เคลือบและเคลือบด้วยเพคติน โดยนำตัวอย่างมาวางบนแผ่นกระจกสไลด์ และถ่ายภาพที่กำลังขยาย 5 เท่า ใช้เลเซอร์ชนิด ฮีเลียม/นีออน (He/Ne laser) เป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้เกิดพลังงานคลื่นแสงในการกระตุ้นอิเล็กตรอนของโรโบฟลาวินซึ่งเคลือบ

บนเมล็ดข้าวและเป็นออโตฟลูออเรสเซนซ์ (autofluorescence) ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร (Guo *et al.*, 1999) เพื่อให้อยู่ในสถานะเร้า (excited state) และคายพลังงานออกมาในรูปการวาวแสง (ฟลูออเรสเซนซ์) ซึ่งมองเห็นเป็นสีเขียวเมื่อกลับสู่สถานะพื้น (ground state) ขนาดภาพ 512x512 พิกเซล

1.4.2 ค่าสี $L^* a^* b^*$ โดยใช้เครื่องวัดสี spectrophotometer

1.4.3 ปริมาณความชื้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน (A.O.A.C., 2000)

1.4.4 ปริมาณไทอะมิน โดยวิธีฟลูออโรเมตริก (A.O.A.C., 2000)

1.4.5 ปริมาณไรโบฟลาวิน โดยวิธีฟลูออโรเมตริก (A.O.A.C., 2000)

1.4.6 ปริมาณไนอะซิน ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์บริการประกันคุณภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 การล้างและหุงสุก

นำข้าวพรีมิกซ์จากข้อ 1.4 มาล้างและหุงสุกตามวิธีของ Shrestha *et al.* (2003) ดังนี้

1.5.1 การล้าง ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร แกว่งตัวอย่างเป็นเวลา 60 วินาที เทน้ำออก

1.5.2 การหุงสุก ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่น้ำอุ่นควบคุมอุณหภูมิ 97 ± 3 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็น (ด้วยน้ำธรรมดา 20 นาที) และเทน้ำทิ้ง

นำตัวอย่างข้าวพรีมิกซ์หลังจากการล้างและหลังจากหุงสุกมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังนี้ ถ่ายภาพด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ตามข้อ 1.4.1 ปริมาณไทอะมิน ตามข้อ 1.4.4 ปริมาณไรโบฟลาวิน ตามข้อ 1.4.5 ปริมาณไนอะซิน ตามข้อ 1.4.6

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อคัดเลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณโทอะมิน ไโรโบฟลาวิน และ ไนอะซินคงอยู่มากที่สุดหลังการล้างและหุงสุก โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance [ANOVA]) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD)

2. การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินตามมาตรฐานที่กำหนด

2.1 การเตรียมข้าวเสริมวิตามิน

เตรียมข้าวพรีมิกซ์โดยใช้สารเคลือบที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 แล้วนำมาผสมกับข้าวสารหอมมะลิในอัตราส่วน 1 ต่อ 100, 1 ต่อ 85 และ 1 ต่อ 70 ในเครื่องผสมแบบลูกเต๋า (ภาพที่ 20) เป็นเวลา 10 นาที และใช้ข้าวสารหอมมะลิเป็นสิ่งทดลองควบคุม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ และทำการทดลอง 2 ซ้ำ แล้วนำข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินทั้ง 4 สิ่งทดลอง มาวัดค่าคุณภาพทางเคมี ดังนี้

2.1.1 ปริมาณโทอะมิน ตามข้อ 1.4.4

2.1.2 ปริมาณโรโบฟลาวิน ตามข้อ 1.4.5

2.1.3 ปริมาณไนอะซิน ตามข้อ 1.4.6



ภาพที่ 20 เครื่องผสมแบบลูกเต๋า

2.2 การล้างและหุงสุก

นำข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินที่เตรียมได้ในข้อ 2.1 มาล้างโดยใช้วิธีการล้างตามข้อ 1.5.1 และการหุงสุก ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1.25 หุงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าอัตโนมัติ จากนั้นนำตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินหลังจากการล้างและหลังจากหุงสุกมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ดังนี้

2.2.1 ค่าสี L^* a^* b^* ตามข้อ 1.4.2 สำหรับข้าวหลังจากหุงสุก

2.2.2 ปริมาณไทอะมิน ตามข้อ 1.4.4

2.2.3 ปริมาณไรโบฟลาวิน ตามข้อ 1.4.5

2.2.4 ปริมาณไนอะซิน ตามข้อ 1.4.6

2.2.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุกมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการประเมินคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ในคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส

และความชอบรวม จากการชิมแบบให้คะแนนความชอบโดยใช้ 9-point Hedonic Scale ตั้งแต่คะแนน 1 ถึง 9 คะแนน โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design [RCBD])

3. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน

ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามินที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่รับประทานได้ โดยวิธีการทดสอบ 2 วิธี คือแบบ Central Location Test และ Home Use Test ดังนี้

วิธีการทดสอบแบบ Central Location Test เป็นการทดสอบในสถานที่ที่มีผู้บริโภคมาอยู่รวมกัน และเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบให้กลุ่มผู้บริโภคในห้องปฏิบัติการ โดยนำตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินมาล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง (อัตราส่วนของข้าว 1 ส่วน ต่อ น้ำ 3 ส่วน) แล้วเทน้ำทิ้ง จากนั้นนำไปหุงสุกในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าอัตโนมัติ (อัตราส่วนข้าว 1 ส่วน ต่อ น้ำ 1.25 ส่วน) สถานที่ทำการทดสอบคือ บริเวณโรงอาหารกลาง 1 และ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวนกลุ่มผู้บริโภค 50 คน ต่อสถานที่ทดสอบ (รวมทั้งหมด 100 คน) (Meilgaard, 1999) โดยแจกแบบสอบถามและเสนอตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและข้าวเสริมวิตามินหุงสุกให้กลุ่มผู้บริโภคที่เป็นบุคคลที่มาใช้บริการโรงอาหารกลาง 1 และ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้วิธีการสุ่มแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (non probability sampling) เพื่อพิจารณาตัวอย่างและทดสอบชิมแล้วจึงตอบคำถามในแบบสอบถาม

วิธีการทดสอบแบบ Home Use Test เป็นการให้ผู้บริโภคได้ทดสอบตัวอย่างที่บ้านหรือในลักษณะที่ใช้หรือบริโภคอยู่เป็นประจำ โดยแจกแบบสอบถามและตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินให้แก่กลุ่มผู้บริโภคจำนวน 100 คน (ไพโรจน์, 2539) ปริมาณ 142 กรัม ต่อคน (สำหรับการทดสอบ 1 มื้อ) โดยใช้วิธีการสุ่มแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (non probability sampling) ให้ผู้ทดสอบพิจารณาตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุก และเตรียมข้าวเสริมวิตามินหุงสุก โดยนำตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินมาล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง (อัตราส่วนของข้าว 1 ส่วน ต่อ น้ำ 3 ส่วน) แล้วเทน้ำทิ้ง จากนั้นนำไปหุงสุกในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (อัตราส่วนข้าว 1 ส่วน ต่อ น้ำ 1.25 ส่วน) และรับประทานขณะยังร้อน แล้วจึงตอบคำถามในแบบสอบถาม

แบบสอบถามการยอมรับและความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน และรายได้ต่อเดือนของทั้งครัวเรือน

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อและการบริโภคข้าว แบบสอบถามส่วนนี้ได้ถามเกี่ยวกับปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือน คือ ประเภทของข้าว พันธุ์ข้าว คุณค่าทางโภชนาการ ลักษณะของข้าว สีของข้าว ราคาสินค้าของผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย รูปแบบการบรรจุหีบห่อ ปริมาณการบรรจุ ราคา สถานที่จำหน่าย การส่งเสริมการจำหน่าย และการรับรองคุณภาพจากหน่วยงานราชการ ซึ่งมีลักษณะเป็นมาตรประเมินค่า (rating scale) ตามแบบวัดของลิเคิร์ต (likert) โดยให้ผู้บริโภคให้ระดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ 5 ระดับ คือ ความสำคัญมากที่สุด ความสำคัญมาก ความสำคัญปานกลาง ความสำคัญน้อย และความสำคัญน้อยที่สุด (ศุภวัฒน์, 2547)

ส่วนที่ 3 เป็นการประเมินคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุก และลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกจากการชิมแบบให้คะแนนความชอบโดยใช้ 9-point Hedonic Scale ตั้งแต่คะแนน 1 ถึง 9 คะแนน โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ความถี่ ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และไคน์สแควร์ (chi-square)

ผลและวิจารณ์

1. ผลของชนิดสารเคลือบที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวพรีมิกร์

1.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากกระบวนการผลิตข้าวพรีมิกร์พบว่า ข้าวพรีมิกร์ที่ไม่ได้เคลือบเพคติน (สิ่งทดลองที่ 1) และข้าวพรีมิกร์ที่เคลือบด้วยเพคติน 3 ชนิด คือ เพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 (สิ่งทดลองที่ 2) เพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 31 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18 (สิ่งทดลองที่ 3) และเพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 28 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21 (สิ่งทดลองที่ 4) ยังคงมีลักษณะเป็นเมล็ดข้าว แต่มีบางเมล็ดจะติดกันเป็นคู่หรือเป็นก้อนเนื่องมาจากขั้นตอนการเคลือบ แสดงดังภาพที่ 21 ซึ่งเป็นภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล (digital camera) และตกแต่งภาพด้วยโปรแกรม Microsoft Photo Editor นอกจากนี้ข้าวพรีมิกร์ที่เคลือบด้วยเพคตินจะมีรอยร้าว รอยแตก และบางเมล็ดมีการแตกหักมากกว่าข้าวพรีมิกร์ที่ไม่ได้เคลือบเพคติน แสดงดังภาพที่ 22 ซึ่งเป็นภาพที่ถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ที่กำลังขยาย 5 เท่า โดยสีเขียวในภาพ คือ ไรโบฟลาวิน ซึ่งรอยร้าวและรอยแตกดังกล่าวเกิดจากกระบวนการผลิตข้าวพรีมิกร์ ได้แก่ขั้นตอนการฟั่นฝอยสารละลายวิตามิน สารละลายเพคติน และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และกระบวนการทำให้แห้งเป็นรอบ โดยกระบวนการผลิตดังกล่าวจะทำให้สตาร์ชชั้นนอกของข้าวเกิดเจลาตินในชั้น คือสตาร์ชจะดูดน้ำและเมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดการพองตัว ซึ่งการพองตัวสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ และเมื่อสตาร์ชสามารถหดตัวได้เมื่อนำไปอบไล่ไอน้ำออก (นิธิยา, 2545) ลักษณะของข้าวพรีมิกร์ที่ได้จากการทดลองมีรอยแตก และมีการแตกหักเช่นเดียวกับข้าวพรีมิกร์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่รับประทานได้ของ Shrestha *et al.* (2003) และข้าวเสริมวิตามิน (ไทอะมิน) ที่ผลิตได้จากประเทศญี่ปุ่น โดยการแช่ข้าวสารในสารละลายกรดอะซิติกของไทอะมิน ไฮโดรคลอไรด์ แล้วเทน้ำทิ้ง และทำให้แห้งทำให้เมล็ดข้าวแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (Mitsuda, 1962)

วิตามินที่เคลือบบนเมล็ดข้าวสามารถแพร่กระจายเข้าไปด้านในของเมล็ดข้าวได้ ดังเกตได้จากภาพที่ 23 ซึ่งถ่ายภาพด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ที่กำลังขยาย 5 เท่า โดยการสไลด์ภาพตามแนวแกน Y และตกแต่งภาพที่เป็นเส้นสีเขียวด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop พบว่า วิตามินสามารถซึมเข้าไปข้างในเมล็ดเป็นระยะประมาณ 259.74 ไมครอน (micron) โดยความชื้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารอาหารที่เคลือบอยู่ด้านบนให้เข้าไปใน

เมล็ด (อรอนงค์, 2538) และเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวของไทยซึ่งมีความกว้าง 2 มิลลิเมตร (อรอนงค์, 2547) พบว่า วิตามินซีเข้าไปด้านในเมล็ดเพียงเล็กน้อย

เมื่อนำข้าวพรีมิกซ์ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มาล้างและหุงสุกแบบใช้น้ำมากเกินพอและรินน้ำทิ้งพบว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบเพคตินหลังล้าง เมล็ดข้าวยังคงมีลักษณะเป็นเมล็ดเต็ม ส่วนข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคติน มีลักษณะของเมล็ดข้าวที่แตกหักไม่คงรูปเมล็ดเต็ม แสดงดังภาพที่ 24 และข้าวหลังจากการล้างและหุงสุกในน้ำมากเกินพอและรินน้ำทิ้งของทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีสีเหลืองอ่อนกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพรีมิกซ์ แสดงดังภาพที่ 25 ซึ่งทั้ง 2 ภาพ เป็นภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล และตกแต่งภาพด้วยโปรแกรม Microsoft Photo Editor เนื่องจากการสูญเสียไรโบฟลาวินซึ่งมีสีเหลืองไปกับน้ำที่ใช้ล้างและหุงสุกแบบใช้น้ำมากเกินพอ ส่วนข้าวพรีมิกซ์หลังหุงสุกแบบใช้น้ำมากเกินพอและรินน้ำทิ้งไม่มีลักษณะเป็นเมล็ดข้าว เนื่องจากเมล็ดข้าวซึ่งประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ เมื่อได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัวจนเมื่อพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ส่วนของแป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมาและอุณหภูมิที่ใช้ในการหุงสุกในการทดลอง (97 ± 3 องศาเซลเซียส) สามารถทำให้เม็ดแป้งพองตัวจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออกได้ ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวเจ้า คือ 77 องศาเซลเซียส (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) และภาพที่ 26 เป็นการเปรียบเทียบลักษณะของข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินทั้งก่อนล้างหลังล้าง และหุงสุกที่ถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ที่กำลังขยาย 5 เท่า ซึ่งสามารถดูลักษณะโครงสร้างของข้าวพรีมิกซ์ได้และสีเขียวของภาพ คือ ไรโบฟลาวิน พบว่าหลังจากการล้างเมล็ดข้าวพรีมิกซ์จะมีการแตกหัก และรอยแตกหักชัดเจนมากขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้าง ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสของวิตามินที่เคลือบอยู่บริเวณผิวด้านบนของเมล็ดกับน้ำที่ใช้ล้างมากขึ้นทำให้วิตามินถูกชะล้างผ่านออกไปตามรอยแตกหัก ดังนั้นรอยแตกหักดังกล่าวนี้จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการสูญเสียวิตามินไปในปริมาณมากหลังจากการล้าง และหลังจากการหุงสุกเมล็ดข้าวมักจะไม่เป็นเมล็ดข้าวเนื่องจากโครงสร้างของสตาrch ถูกทำลายด้วยความร้อน และความเข้มของสีเขียวซึ่งแสดงถึงปริมาณไรโบฟลาวินนั้นอ่อนลงอย่างมากเมื่อเทียบกับข้าวพรีมิกซ์ก่อนและหลังล้าง

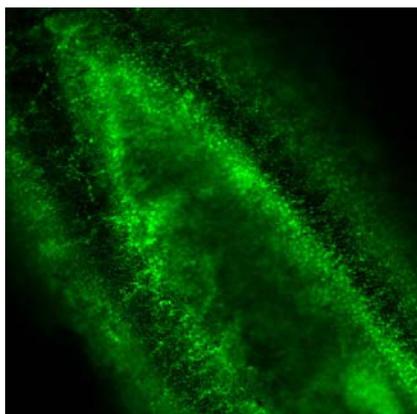


a

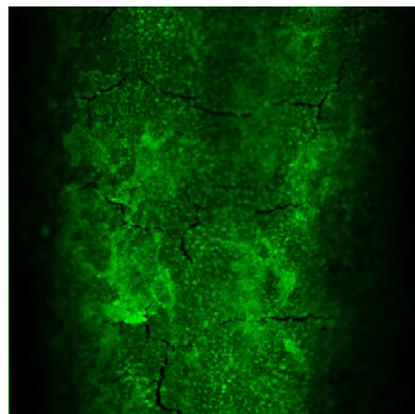


b

ภาพที่ 21 ลักษณะเมสซีขาวพรีมิกซ์ที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล (a) ไม่ได้เคลือบเพคติน (b) เคลือบเพคติน

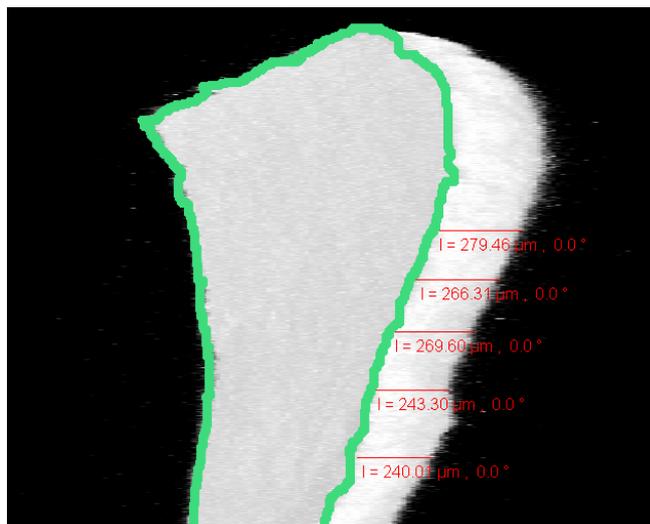


a



b

ภาพที่ 22 ลักษณะข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้างที่ถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ที่กำลังขยาย 5 เท่า (a) ไม่ได้เคลือบเพคติน (b) เคลือบเพคติน



ภาพที่ 23 การแพร่ของวิตามินเข้าไปข้างในเมล็ดข้าวพรีมิกซ์เป็นระยะประมาณ 259.74 ไมครอน ที่ถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ที่กำลังขยาย 5 เท่า

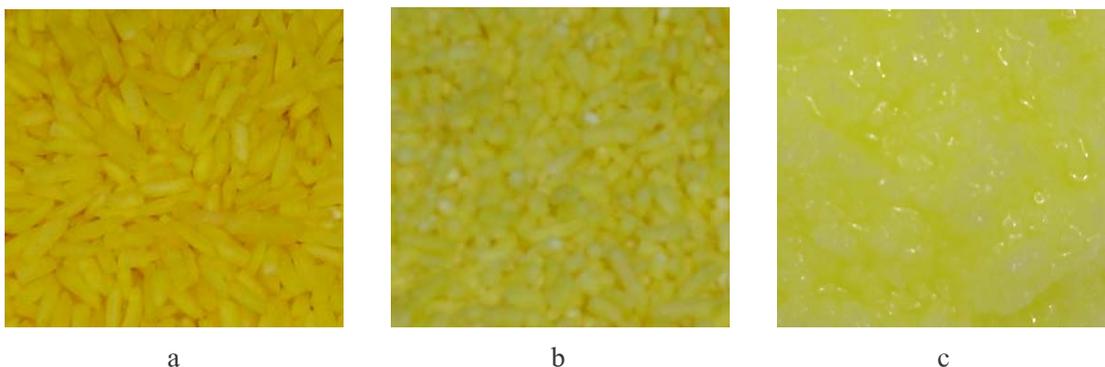


a

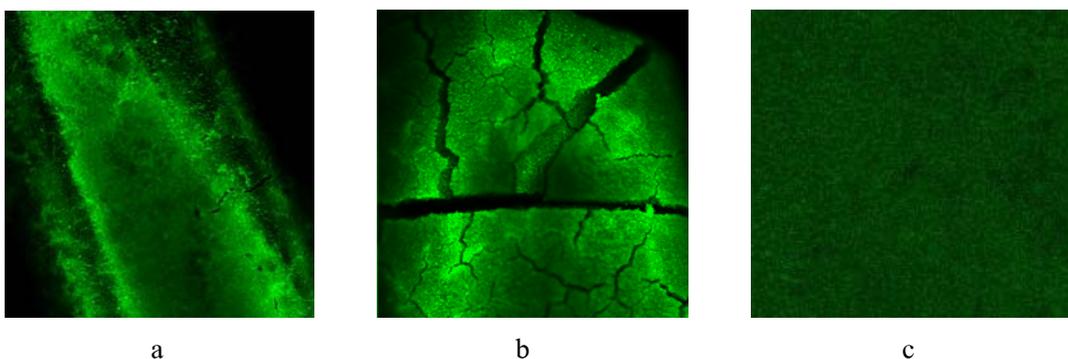


b

ภาพที่ 24 ลักษณะเมล็ดข้าวพรีมิกซ์หลังการล้างถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล (a) ไม่ได้เคลือบเพคติน (b) เคลือบเพคติน



ภาพที่ 25 สีของข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ (a) ก่อนล้าง (b) หลังจากการล้าง (c) หลังจากหุงสุกในน้ำมากเกินไปและรินน้ำทิ้ง



ภาพที่ 26 ลักษณะข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินซึ่งถ่ายด้วย Confocal Laser Scanning Microscopy ที่กำลังขยาย 5 เท่า (a) ก่อนล้าง (b) หลังจากการล้าง (c) หลังจากหุงสุกในน้ำมากเกินไปและรินน้ำทิ้ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบเพคตินและเคลือบเพคตินทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่า L^* , a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 18 ข้าวพรีมิกซ์ของทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีค่า L^* ซึ่งแสดงถึงความสว่างในช่วง 71.67-73.00 มีค่า a^* ในช่วง 13.07-14.32 และมีค่า b^* ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีเหลืองในช่วง 78.97-80.92 โดยข้าวพรีมิกซ์มีสีเหลืองเกิดจากไรโบฟลาวินที่เติมลงไป ซึ่งเป็นวิตามินที่มีผลสีเหลืองปนแดง (สมทรง, 2543)

ตารางที่ 18 ค่า L* a* และ b* ของข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบเพคตินและเคลือบเพคตินทั้ง 3 ชนิด

ข้าวพรีมิกซ์	L* (ns)	a* (ns)	b* (ns)
- ไม่ได้เคลือบเพคติน	71.67 ± 0.56	14.32 ± 0.55	79.51 ± 0.53
- เคลือบเพคตินปริมาณ			
เมทอกซิลร้อยละ 36	72.33 ± 0.42	14.19 ± 0.47	80.92 ± 0.22
- เคลือบเพคตินปริมาณ			
เมทอกซิลร้อยละ 31			
ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18	73.00 ± 0.35	13.28 ± 0.32	79.15 ± 1.04
- เคลือบเพคตินปริมาณ			
เมทอกซิลร้อยละ 28			
ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21	72.93 ± 0.22	13.07 ± 0.01	78.97 ± 0.83

หมายเหตุ ns หมายถึงค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.2 คุณภาพทางเคมี

ข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบเพคติน และเคลือบเพคตินทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.21, 8.93, 8.01 และ 8.83 ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินระดับความชื้นทั่วไปของข้าว คือร้อยละ 13 (อรอนงค์, 2547) ปริมาณความชื้นมีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ดข้าวซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวได้ ในการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชจะมีการสูญเสียไทอะมิน ซึ่งปริมาณการสูญเสียจะผันแปรตามความชื้นของเมล็ด โดยความชื้นของเมล็ดร้อยละ 12 เมื่อเก็บรักษาไว้ 5 เดือน จะสูญเสียไทอะมินร้อยละ 12 ถ้าความชื้นของเมล็ดร้อยละ 17 จะสูญเสียไทอะมินร้อยละ 30 และถ้าความชื้นของเมล็ดร้อยละ 6 จะไม่มีการสูญเสียไทอะมินเลย (นิธิยา, 2545)

ปริมาณไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินของข้าวพรีมิกซ์ การสูญเสียไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากการล้างและหุงสุกของข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบเพคตินและเคลือบเพคตินทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 19-21 พบว่า ข้าวพรีมิกซ์ทั้ง 4 สิ่งทดลองมีปริมาณไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน 19.28-25.84, 38.68-45.48 และ 405.07-478.86 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งคิดเป็นการสูญเสียจากกระบวนการผลิตร้อยละ 72.80-79.70, 10.12-23.56 และ 27.54-14.34 ตามลำดับ ไทอะมินมีร้อยละของการสูญเสียจากกระบวนการผลิตที่สูงเนื่องจากการ

ทดลองได้เตรียมสารละลายวิตามินทั้ง 3 ชนิด รวมกัน และการสลายตัวของไรโบฟลาวินเมื่อถูกแสงจะทำให้เกิดสารที่เป็นออกซิไดซิง เอเจนต์ (oxidizing agent) ซึ่งสารนี้จะทำให้โทอะมินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นไทโอโครม Ottaway (1993) ได้รายงานว่า เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกันนี้ในสารละลายวิตามินบีรวม

ร้อยละของการสูญเสียโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากการล้างของข้าวพรีมิกซ์ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินมีการสูญเสียปริมาณโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินหลังจากการล้างน้อยกว่าข้าวพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เคลือบเพคติน เนื่องจากมีการเกิดเจลของเพคตินขึ้นโดยเพคตินที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเพคตินชนิดปริมาณเมทอกซิลต่ำ ต้องใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อช่วยในการเกิดเจลซึ่งแคลเซียม ไอออนจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่ ของเพคติน 2 สาย ที่อยู่ติดกัน และเมื่อมีการเชื่อมต่อกันของเพคตินหลายสายโดยมีแคลเซียม ไอออนเป็นตัวเชื่อมจะเกิดเป็นเจลที่มีโครงข่าย 3 มิติ (Thakur *et al.*, 1997) ซึ่งจะช่วยป้องกันการละลายของวิตามินในระหว่างการล้างข้าวพรีมิกซ์ได้

จากการทดลองยังพบว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลสูงกว่าสามารถช่วยป้องกันการสูญเสียโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากการล้างได้มากกว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากปริมาณแคลเซียม ไอออนที่ใช้นั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เจลของเพคตินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำกว่ามีความแข็งแรงเพียงพอ เพราะเพคตินที่มีปริมาณเมทอกซิลต่ำจะต้องการปริมาณแคลเซียม ไอออนมากขึ้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเจล (Thakur *et al.*, 1997) และถึงแม้ว่าสิ่งทดลองที่ใช้เพคตินที่มีปริมาณเอไมด์ ซึ่งเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลได้ แต่โครงสร้างโมเลกุลที่มีหมู่เอไมด์สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้จึงอาจป้องกันการสูญเสียวิตามินจากการล้างได้น้อยกว่า นอกจากนี้มวลโมเลกุลของเพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 ซึ่งสกัดจากแอปเปิ้ลเหลืองผสมกับเปลือกส้มทำให้มีปริมาณเพคติน (ร้อยละ 85-100) (Anonymous, 1997) มากกว่าเพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 31 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18 และเพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 28 ปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21 ซึ่งสกัดจากเปลือกส้ม (ร้อยละ 63) (Anonymous, 2004) ทำให้มีความแข็งแรงของเจลมากกว่า (Thakur *et al.*, 1997) นอกจากนี้เพคตินปริมาณเมทอกซิลต่ำมีความสามารถในการละลายน้ำได้ไม่ดี และสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิกกับองค์ประกอบของข้าว เช่น สตาร์ชและโปรตีน อาจทำให้

ช่วยลดการสูญเสียโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินในระหว่างการล้างได้ (Shrestha *et al.*, 2003)

การสูญเสียปริมาณโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินหลังการหุงสุกแบบใช้น้ำ มากเกินพอและรินน้ำทิ้งของข้าวพรีมิกซ์ทั้ง 4 สิ่งทดลอง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวที่มีลักษณะเป็นรอยแตกหัก มีการแตกหักของเมล็ดข้าว และเจลเพคตินมีการละลายในระหว่างการหุงต้ม ทำให้น้ำที่ใช้ในการหุงสามารถเข้าไปข้างในเมล็ดข้าวที่แตกหักได้ง่ายซึ่งเป็นการเพิ่มอัตราปฏิกิริยาที่ทำกับน้ำ และวิตามินละลายออกมาในน้ำที่ใช้หุงต้ม (Shrestha *et al.*, 2003)

จากการทดลองพบว่า เพคตินที่ใช้สามารถป้องกันการสูญเสียปริมาณโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากการล้างได้โดยมีวิตามินเหลืออยู่ร้อยละ 31.22-44.14, 27.14-32.34 และ 54.77-62.08 ตามลำดับ แต่ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียปริมาณโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากการหุงสุกในน้ำที่มากเกินพอและรินน้ำทิ้งได้ ผลการทดลองนี้จึงแตกต่างจากงานวิจัยของ Shrestha *et al.* (2003) ที่พบว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินสามารถป้องกันการสูญเสียกรดโฟลิกจากการล้างและหุงสุกโดยใช้ปริมาณน้ำที่มากเกินพอและรินน้ำทิ้งได้ถึงร้อยละ 9 และ 31 และ Peil *et al.* (1981) พบว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสร่วมกับเมทิลเซลลูโลส ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 สามารถป้องกันการสูญเสียไนอะซิน โทอะมิน และไรโบฟลาวินจากการหุงสุกโดยใช้ปริมาณน้ำที่มากเกินพอได้ร้อยละ 18, 18 และ 21 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของคุณสมบัติในการเกิดเจลและความเข้มข้นของสารเคลือบที่นำมาใช้ ซึ่งความเข้มข้นมีผลต่อความหนืดและปริมาณของสารเคลือบที่สามารถเกาะติดกับตัวอย่างได้

จากการศึกษาผลของสารเคลือบที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวพรีมิกซ์พบว่า เพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 สามารถช่วยลดการสูญเสียโทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากการล้างได้มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 เพื่อนำไปศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินตามมาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 19 ปริมาณไขมันของข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้าง หลังล้างและหุงสุกในน้ำมากเกินพอและ
รินน้ำทิ้ง และร้อยละการสูญเสียไขมันของข้าวพรีมิกซ์จากการล้างและหุงสุก

ข้าวพรีมิกซ์	ปริมาณไขมัน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)			การสูญเสียจาก การล้าง (ร้อยละ)	การสูญเสีย จากการหุงสุก (ร้อยละ)
	ข้าวพรีมิกซ์ ก่อนล้าง	ข้าวพรีมิกซ์ หลังล้าง	ข้าวพรีมิกซ์ หุงสุก		
- ไม่ได้เคลือบเพคติน	23.47 ± 0.13	4.92 ± 0.24	1.68 ± 0.20	79.03 ± 1.14 a	92.84 ± 0.88
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 36	25.84 ± 0.12	11.41 ± 0.02	1.37 ± 0.32	55.86 ± 0.29 c	94.69 ± 1.28
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 31					
เอไมด์ร้อยละ 18	19.28 ± 4.50	8.19 ± 0.93	1.46 ± 0.05	56.90 ± 5.23 c	92.15 ± 2.09
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 28					
เอไมด์ร้อยละ 21	24.25 ± 0.27	7.57 ± 0.15	0.84 ± 0.00	68.78 ± 0.99 b	96.67 ± 0.23

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่าง
มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึงค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 20 ปริมาณไรโบฟลาวินของข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้าง หลังล้างและหุงสุกในน้ำมากเกินพอ และรินน้ำทิ้ง และร้อยละการสูญเสียไรโบฟลาวินของข้าวพรีมิกซ์จากการล้างและหุงสุก

ข้าวพรีมิกซ์	ปริมาณไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)			การสูญเสียจาก การล้าง (ร้อยละ)	การสูญเสีย จากการหุง สุก (ร้อยละ)
	ข้าวพรีมิกซ์ ก่อนล้าง	ข้าวพรีมิกซ์ หลังล้าง	ข้าวพรีมิกซ์ หุงสุก		
- ไม่ได้เคลือบเพคติน	41.98 ± 2.76	8.19 ± 1.41	2.82 ± 0.20	80.54 ± 2.07 a	93.28 ± 0.50
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 36	38.68 ± 3.46	12.52 ± 1.46	3.01 ± 0.25	67.66 ± 0.90 c	92.17 ± 1.34
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 31					
เอไมด์ร้อยละ 18	45.48 ± 0.30	12.34 ± 0.33	3.32 ± 0.01	72.86 ± 0.55 b	92.69 ± 0.08
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 28					
เอไมด์ร้อยละ 21	38.81 ± 1.79	10.91 ± 0.50	2.90 ± 0.02	71.82 ± 2.60 bc	92.53 ± 0.29

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns หมายถึงค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 21 ปริมาณไนอะซินของข้าวพรีมิกซ์ก่อนล้าง หลังล้างและหุงสุกในน้ำมากเกินพอและ
รินน้ำทิ้งในน้ำมากเกินพอ และร้อยละของการสูญเสียไนอะซินของข้าวพรีมิกซ์จาก
การล้างและหุงสุก

ข้าวพรีมิกซ์	ปริมาณไนอะซิน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)			การสูญเสีย จากการล้าง (ร้อยละ)	การสูญเสีย จากการหุงสุก (ร้อยละ)
	ข้าวพรีมิกซ์ ก่อนล้าง	ข้าวพรีมิกซ์ หลังล้าง	ข้าวพรีมิกซ์ หุงสุก		
- ไม่ได้เคลือบเพคติน	429.28 ± 11.28	92.46 ± 14.67	22.87 ± 0.83	78.41 ± 3.99 a	94.67 ± 0.06
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 36	473.71 ± 0.68	211.14 ± 2.82	25.87 ± 0.37	55.43 ± 0.54 b	94.54 ± 0.08
- เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 31					
เอไม่ค์ร้อยละ 18	405.07 ± 23.81	182.41 ± 16.54	22.53 ± 0.07	54.77 ± 6.74 b	94.43 ± 0.35
เคลือบเพคตินปริมาณ เมทอกซิลร้อยละ 28					
เอไม่ค์ร้อยละ 21	478.86 ± 30.57	181.14 ± 2.93	24.88 ± 0.25	62.08 ± 3.03 b	94.79 ± 0.28

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a-b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่าง
มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึงค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริม วิตามินตามมาตรฐานที่กำหนด

2.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมี

ผลการวัดค่าสี L* a* และ b* ของข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุก แสดง
ดังตารางที่ 22 พบว่า ข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุกมีค่า L* a* และ b* แตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเสริมวิตามินหุงสุกมีสีเหลืองอ่อนออกเขียวเล็กน้อยเนื่องจาก
ไรโบฟลาวินซึ่งจะให้สีเหลืองอมเขียวเมื่อละลายน้ำ เมื่อนำไปหุงสุกไรโบฟลาวินจะละลายออกมา
ในน้ำ และในขณะที่หุงสุกเมล็ดข้าวจะดูดน้ำซึ่งมีวิตามินละลายและกระจายอยู่ทำให้เมล็ดข้าวมีสี

เหลืองอ่อนออกเขียวเล็กน้อย (นิธิยา, 2545) และค่า b^* ของข้าวเสริมวิตามินหุงสุกเป็นบวกแสดงถึงสีเหลืองซึ่งจะแปรผันตามอัตราส่วนในการผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสารหอมมะลิ

ตารางที่ 22 ค่า L^* a^* b^* ของข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุก

อัตราส่วนผสมระหว่าง ข้าวพรีมิกซ์ต่อข้าวสารหอมมะลิ	L^*	a^*	b^*
ข้าวสารหอมมะลิ	77.49 ± 0.10 a	-2.11 ± 0.06 b	8.94 ± 0.22 d
1 ต่อ 100	77.46 ± 0.12 a	-2.59 ± 0.06 a	9.93 ± 0.17 c
1 ต่อ 85	77.47 ± 0.10 a	-2.63 ± 0.06 a	11.43 ± 0.07 b
1 ต่อ 70	76.64 ± 0.02 b	-2.57 ± 0.07 a	11.66 ± 0.19 a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a-d ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไทอะมินในข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินทั้งก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก แสดงดังตารางที่ 23 พบว่า ข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินมีปริมาณไทอะมินในข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเสริมวิตามินมีปริมาณไทอะมินในข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุกมากกว่าข้าวสารหอมมะลิ และปริมาณไทอะมินจะแปรผันตามอัตราส่วนการผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสารหอมมะลิที่ผลิตเป็นข้าวเสริมวิตามิน การสูญเสียไทอะมินจากการล้างและหุงสุกเกิดเนื่องจากความสามารถในการละลายของไทอะมินในน้ำที่ดีทำให้ถูกชะล้างออกจากอาหารได้ง่ายและสลายตัวได้ด้วยความร้อน (นิธิยา, 2545)

การเสริมวิตามินทางโภชนาการ หมายถึง การมีปริมาณวิตามินมากกว่าปริมาณปกติร้อยละ 10 ข้าวเสริมวิตามินที่อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์ต่อข้าวสารหอมมะลิเท่ากับ 1 ต่อ 70 มีไทอะมินหลังจากหุงสุกสูงกว่าระดับที่มีอยู่ในข้าวสารหอมมะลิหุงสุกเท่ากับร้อยละ 13.87 (วิธีคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข) ซึ่งมากกว่าปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณไทอะมิน (1.5 มิลลิกรัม) ที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2541) ส่วนข้าวเสริมวิตามินที่อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์ต่อ

ข้าวสารหอมมะลิเท่ากับ 1 ต่อ 100 และ 1 ต่อ 85 มีปริมาณโทอะมินน้อยกว่าร้อยละ 10 ของ Thai RDI คือ ร้อยละ 7.8 และ 9.53 ตามลำดับ (วิธีคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข) และถ้ารับประทานข้าวหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุกทั้ง 3 อัตราส่วนนี้ 3 มื้อ ใน 1 วัน จะทำให้ได้รับปริมาณโทอะมิน 0.039, 0.390, 0.468 และ 0.663 มิลลิกรัม ตามลำดับ (วิธีคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข) คิดเป็นร้อยละ 2.6, 26.0, 31.2 และ 44.2 ของ Thai RDI ตามลำดับ ซึ่งยังไม่เพียงพอตามที่กำหนดจึงควรบริโภคอาหารชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ร่างกายได้รับปริมาณโทอะมินให้ได้ตามที่กำหนดไว้

ตารางที่ 23 ปริมาณโทอะมินของข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก

อัตราส่วนผสมข้าวพรีมิกซ์ ต่อข้าวสารหอมมะลิ	ปริมาณโทอะมิน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)		
	ข้าวก่อนล้าง	ข้าวหลังล้าง	ข้าวหุงสุก
ข้าวสารหอมมะลิ	0.05 ± 0.01 c	0.04 ± 0.01 c	0.01 ± 0.03 c
1 ต่อ 100	0.28 ± 0.01 b	0.17 ± 0.00 b	0.10 ± 0.00 b
1 ต่อ 85	0.30 ± 0.01 b	0.19 ± 0.01 b	0.12 ± 0.01 b
1 ต่อ 70	0.39 ± 0.21 a	0.25 ± 0.03 a	0.17 ± 0.01 a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a-c ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไรโบฟลาวินในข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินทั้งก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก แสดงดังตารางที่ 24 พบว่า ข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินมีปริมาณไรโบฟลาวินในข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ข้าวเสริมวิตามินมีปริมาณไรโบฟลาวินในข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุกมากกว่าข้าวสารหอมมะลิ ข้าวเสริมวิตามินที่ผลิตจากการผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสารหอมมะลิที่อัตราส่วนต่าง ๆ กันมีปริมาณไรโบฟลาวินในข้าวก่อนการล้างไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อาจเนื่องจากปริมาณไรโบฟลาวินในข้าวพรีมิกซ์เริ่มต้นที่นำมาใช้ในการผลิตข้าวเสริมวิตามินมีปริมาณน้อย คือ 38.68 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ดังนั้นเมื่อนำมาเจือจางโดยผสมกับข้าวสารหอมมะลิในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีความแตกต่างกันน้อยจึงไม่พบความแตกต่างของปริมาณไรโบฟลาวินในข้าวเสริมวิตามินก่อนล้าง แต่พบว่ามีความโน้มของปริมาณไรโบฟลาวินเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนในการผสม ถึงแม้ว่าจะเพิ่ม

อัตราส่วนในการผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสารหอมมะลิแต่ปริมาณไรโบฟลาวินหลังจากการล้างและหุงสุกของข้าวเสริมวิตามินยังคงมีปริมาณไรโบฟลาวินเหลืออยู่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เพราะมีปริมาณไรโบฟลาวินในข้าวเสริมวิตามินก่อนการล้างไม่แตกต่างกันอย่างไรก็ตามข้าวเสริมวิตามินยังคงมีปริมาณไรโบฟลาวินทั้งในข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุกมากกว่าข้าวสารหอมมะลิ การสูญเสียไรโบฟลาวินจากการล้างและหุงสุก เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของไรโบฟลาวิน และสลายตัวได้ด้วยความร้อน นอกจากนี้ไรโบฟลาวินถูกทำลายได้ง่ายเมื่อถูกแสง และอัตราการถูกทำลายด้วยแสงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2545)

สำหรับข้าวเสริมวิตามินที่ผลิตจากข้าวสารหอมมะลิที่ผสมกับข้าวพรีมิกซ์หุงสุกทั้ง 3 อัตราส่วนมีปริมาณไรโบฟลาวินมากกว่าข้าวสารหอมมะลิ แต่น้อยกว่าปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณไรโบฟลาวิน (1.7 มิลลิกรัม) ตามที่ Thai RDI กำหนด (กองโภชนาการกรมอนามัย, 2541) คือ ร้อยละ 2.29, 3.06 และ 3.06 ตามลำดับ (วิธีคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข) และถ้ารับประทานข้าวหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุกทั้ง 3 อัตราส่วนนี้ 3 มื้อ ใน 1 วัน จะทำให้ได้รับปริมาณไรโบฟลาวิน 0.039, 0.156, 0.195 และ 0.195 มิลลิกรัม ตามลำดับ (วิธีคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข) คิดเป็นร้อยละ 2.29, 9.18, 11.47 และ 11.47 ของ Thai RDI ตามลำดับ ซึ่งยังไม่เพียงพอตามที่กำหนดจึงควรบริโภคอาหารชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ร่างกายได้รับปริมาณไรโบฟลาวินให้ได้ตามที่กำหนดไว้

ตารางที่ 24 ปริมาณไรโบฟลาวินของข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก

อัตราส่วนผสมข้าวพรีมิกซ์ ต่อข้าวสารหอมมะลิ	ปริมาณไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)		
	ข้าวก่อนล้าง	ข้าวหลังล้าง	ข้าวหุงสุก
ข้าวสารหอมมะลิ	0.04 ± 0.00 b	0.03 ± 0.00 c	0.01 ± 0.00 b
1 ต่อ 100	0.43 ± 0.04 a	0.12 ± 0.01 b	0.04 ± 0.01 a
1 ต่อ 85	0.52 ± 0.04 a	0.18 ± 0.02 a	0.05 ± 0.01 a
1 ต่อ 70	0.55 ± 0.01 a	0.20 ± 0.00 a	0.05 ± 0.00 a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a-c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนอะซินในข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก แสดงดังตารางที่ 25 พบว่า ข้าวสารหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินมีปริมาณ ไนอะซินในข้าวก่อนล้าง และหุงสุก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีปริมาณไนอะซินใน ข้าวหลังล้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ข้าวเสริมวิตามินที่ผลิตจากการผสมระหว่าง ข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสารหอมมะลิที่อัตราส่วนต่าง ๆ กันมีปริมาณไนอะซินในข้าวก่อนการล้างไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อาจเนื่องจากอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสาร หอมมะลิมีความแตกต่างกันน้อยจึงไม่พบความแตกต่างของปริมาณไนอะซินในข้าวเสริมวิตามิน ก่อนล้าง หลังจากการล้าง และหุงสุกข้าวเสริมวิตามินที่อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์ต่อ ข้าวสารหอมมะลิเท่ากับ 1 ต่อ 100 และ 1 ต่อ 85 มีปริมาณไนอะซินเหลืออยู่ไม่แตกต่างกันกับ ข้าวสารหอมมะลิอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากข้าวเสริมวิตามินมีไนอะซินเคลือบอยู่ที่บริเวณ ผิวของเมล็ดข้าวจึงทำให้มีอัตราการสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ล้างและหุงสุกได้มากกว่าข้าวสารหอมมะลิ ซึ่งไนอะซินจะอยู่ที่บริเวณเนื้อของเมล็ด อย่างไรก็ตามข้าวเสริมวิตามินหุงสุกที่ผลิตจากอัตราส่วน ผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสารหอมมะลิเท่ากับ 1 ต่อ 70 ยังคงมีปริมาณไนอะซินเหลืออยู่ มากกว่าข้าวสารหอมมะลิ คือ ร้อยละ 85.73 (วิธีคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข) ซึ่งมากกว่าปริมาณ ร้อยละ 10 ของปริมาณไนอะซิน (20 มิลลิกรัม) ตามที่ Thai RDI กำหนด (กองโภชนาการ กรม อนามัย, 2541) อย่างไรก็ตามเมื่อรับประทานข้าวหอมมะลิหุงสุก 3 มื้อ ใน 1 วัน ทำให้ร่างกาย ได้รับไนอะซิน (57.33 มิลลิกรัม) มากกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ตาม Thai RDI แต่ถ้ารับประทานข้าว เสริมวิตามินหุงสุกที่อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์ต่อข้าวสารหอมมะลิเท่ากับ 1 ต่อ 70 ก็จะได้รับไนอะซินในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 25 ปริมาณไนอะซินของข้าวก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก

อัตราส่วนผสมข้าวพรีมิกซ์ ต่อข้าวสารหอมมะลิ	ปริมาณไนอะซิน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)		
	ข้าวก่อนล้าง	ข้าวหลังล้าง (ns)	ข้าวหุงสุก
ข้าวสารหอมมะลิ	27.86 ± 3.72 b	26.17 ± 1.39	14.70 ± 1.50 b
1 ต่อ 100	49.25 ± 0.12 a	30.10 ± 0.80	12.09 ± 4.23 b
1 ต่อ 85	49.77 ± 0.52 a	28.83 ± 0.21	11.34 ± 4.57 b
1 ต่อ 70	48.33 ± 0.97 a	32.12 ± 8.07	27.89 ± 0.44 a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a-b ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึงค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ข้าวเสริมวิตามินที่ได้จากการทดลองเป็นการผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์กับข้าวสารหอมมะลิ จึงทำให้มีลักษณะปรากฏแตกต่างจากข้าวหอมมะลิเดิมวิตามิน (ข้าวข้างทิพย์) ที่ขายในท้องตลาดซึ่งเมล็ดข้าวได้รับการเคลือบวิตามิน คือ ไทอะมิน ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน วิตามินบี 6 และแร่ธาตุ คือ เหล็ก ทุกเมล็ด จึงมีสีเหลืองเป็นสีเดียวกันซึ่งเกิดจากสีของไรโบฟลาวิน

2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 26 พบว่า คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของทั้ง 4 สิ่งทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ข้าวเสริมวิตามินหุงสุกของทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 6.4-6.7 คะแนนความชอบทางด้านสีอยู่ในช่วง 6.5-7.0 คะแนนความชอบทางด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 5.9-6.2 คะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสอยู่ในช่วง 6.1-6.5 คะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 5.9-6.4 และคะแนนความชอบรวมอยู่ในช่วง 6.1-6.6 ตามลำดับ จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าข้าวจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นจากการผสมข้าวสารหอมมะลิกับข้าวพรีมิกซ์ แต่ผู้บริโภคยังคงมีความชอบเหมือนกับข้าวสารหอมมะลิ และข้าวพรีมิกซ์ไม่ได้ทำให้ความชอบในคุณลักษณะทางด้านกลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป

ตารางที่ 26 คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของข้าวหุงสุก

คุณลักษณะ	อัตราส่วนผสมข้าวพรีมิกซ์ต่อข้าวสารหอมมะลิ			
	ข้าวสารหอมมะลิ	1 ต่อ 100	1 ต่อ 85	1 ต่อ 70
ลักษณะปรากฏ (ns)	6.7 ± 1.4	6.7 ± 1.3	6.4 ± 1.4	6.7 ± 1.3
สี (ns)	7.0 ± 1.3	6.7 ± 1.4	6.5 ± 1.3	6.6 ± 1.1
กลิ่น (ns)	5.9 ± 1.1	6.1 ± 1.5	6.1 ± 1.5	6.2 ± 1.7
กลิ่นรส (ns)	6.1 ± 1.2	6.3 ± 1.2	6.2 ± 1.3	6.5 ± 1.2
เนื้อสัมผัส (ns)	6.1 ± 1.5	6.0 ± 1.4	5.9 ± 1.4	6.4 ± 1.4
ความชอบรวม (ns)	6.3 ± 1.5	6.3 ± 1.4	6.1 ± 1.3	6.6 ± 1.3

หมายเหตุ ns หมายถึงค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินตามมาตรฐานที่กำหนดพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามิน คือ 1 ต่อ 70 เนื่องจากมีปริมาณไทอะมีนและไนอะซินหลังจากการหุงสุกมากกว่าปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณไทอะมีนและไนอะซินตามที่ Thai RDI กำหนด และมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมไม่แตกต่างจากข้าวสารหอมมะลิหุงสุก ดังนั้นจึงเลือกข้าวเสริมวิตามินในอัตราส่วนดังกล่าวไปทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

3. การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน

3.1 ข้อมูลทั่วไป

จากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 200 คน ด้วยวิธี Central Location Test จำนวน 100 คน และวิธี Home Use Test จำนวน 100 คน โดยวิธี Central Location Test ให้ผู้บริโภคพิจารณาข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและรับประทานข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุก และตอบแบบสอบถาม สถานที่ทำการทดสอบ คือ บริเวณโรงอาหารกลาง

1 และ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีข้อมูลทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 27 โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 58.00 มีอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 21-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 55.00 รองลงมาคือ อายุต่ำกว่า 20 ปี ช่วงอายุ 31-40 ปี ช่วงอายุ 41-50 ปี ช่วงอายุ 51-60 ปี และช่วงอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 26.00, 11.00, 5.00, 2.00 และ 1.00 ตามลำดับ ส่วนใหญ่กำลังศึกษาชั้นปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 56.00 รองลงมาคือ มีระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรี อนุปริญญาตรี/ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง หรือ ปวส./ประกาศนียบัตรวิชาชีพเทคนิค หรือ ปวท. มัธยมศึกษาตอนปลาย/ประกาศนียบัตรวิชาชีพ หรือ ปวช. และมัธยมศึกษาตอนต้นคิดเป็นร้อยละ 33.00, 6.00, 3.00 และ 2.00 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นนิสิต/นักศึกษาคิดเป็นร้อยละ 71.00 รองลงมาคือ ข้าราชการ/ลูกจ้าง/พนักงานรัฐ ธุรกิจส่วนตัว พนักงานบริษัท/องค์กรต่าง ๆ และเกษียณคิดเป็นร้อยละ 19.00, 6.00, 3.00 และ 1.00 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีสมาชิกในครัวเรือน 5-6 คน คิดเป็นร้อยละ 46.00 รองลงมาคือ 3-4 คน 1-2 คน และมากกว่า 6 คน คิดเป็นร้อยละ 43.00, 6.00 และ 5.00 ตามลำดับ และส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือนของทั้งครัวเรือน 30,001 บาทขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 54 รองลงมาคือ รายได้อยู่ในช่วง 20,001-30,000 บาท 15,001-20,000 บาท 10,001-15,000 บาท 5,001-10,000 บาท และไม่เกิน 5,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 15.00, 14.00, 8.00, 7.00 และ 2.00 ตามลำดับ

สำหรับวิธี Home Use Test ให้ผู้บริโภคพิจารณาข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและหุงข้าวเสริมวิตามินตามคำแนะนำในแบบสอบถาม และตอบแบบสอบถามพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีข้อมูลทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 27 โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 68.00 มีอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 21-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 33.00 รองลงมาคือ ช่วงอายุ 31-40 ปี ช่วงอายุ 41-50 ปี ช่วงอายุ 51-60 ปี อายุต่ำกว่า 20 ปี และช่วงอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 24.00, 21.00, 17.00, 3.00 และ 2.00 ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาชั้นปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 42.00 รองลงมาคือมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. สูงกว่าปริญญาตรี อนุปริญญาตรี/ปวส./ปวท. ประถมศึกษา และมัธยมศึกษาตอนต้นคิดเป็นร้อยละ 16.00, 14.00, 10.00, 10.00 และ 8.00 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นข้าราชการ/ลูกจ้าง/พนักงานรัฐ คิดเป็นร้อยละ 47.00 รองลงมาคือ นิสิต/นักศึกษา พนักงานบริษัท/องค์กรต่าง ๆ แม่บ้าน ธุรกิจส่วนตัว เกษียณและรับจ้างคิดเป็นร้อยละ 22.00, 17.00, 6.00, 4.00, 2.00 และ 2.00 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีสมาชิกในครัวเรือน 3-4 คน คิดเป็นร้อยละ 45.00 รองลงมาคือ 5-6 คน 1-2 คน และมากกว่า 6 คน คิดเป็นร้อยละ 31.00, 16.00 และ 8.00 ตามลำดับ และส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือน

ของทั้งครัวเรือนอยู่ในช่วง 20,001-30,000 บาท และ 30,001 บาทขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 31.00 รองลงมาคือ รายได้ 10,001-15,000 บาท 5,001-10,000 บาท 15,001-20,000 บาท และไม่เกิน 5,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 16.00, 11.00, 9.00 และ 2.00 ตามลำดับ

ตารางที่ 27 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test

ข้อมูลทั่วไป	Central Location Test		Home Use Test	
	ความถี่ (คน)	ร้อยละ	ความถี่ (คน)	ร้อยละ
เพศ				
หญิง	58	58.00	68	68.00
ชาย	42	42.00	32	32.00
รวม	100	100.00	100	100.00
อายุ				
ต่ำกว่า 20 ปี	26	26.00	3	3.00
21-30 ปี	55	55.00	33	33.00
31-40 ปี	11	11.00	24	24.00
41-50 ปี	5	5.00	21	21.00
51-60 ปี	2	2.00	17	17.00
60 ปี ขึ้นไป	1	1.00	2	2.00
รวม	100	100.00	100	100.00
การศึกษา				
ประถมศึกษา	0	0.00	10	10.00
มัธยมศึกษาตอนต้น	2	2.00	8	8.00
มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	3	3.00	16	16.00
อนุปริญญาตรี/ปวส./ปวท.	6	6.00	10	10.00
ปริญญาตรี	56	56.00	42	42.00
สูงกว่าปริญญาตรี	33	33.00	14	14.00
รวม	100	100.00	100	100.00

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	Central Location Test		Home Use Test	
	ความถี่ (คน)	ร้อยละ	ความถี่ (คน)	ร้อยละ
อาชีพ				
นิสิต/นักศึกษา	71	71.00	22	22.00
ข้าราชการ/ลูกจ้าง/พนักงานรัฐ	19	19.00	47	47.00
พนักงานบริษัท/องค์กรต่าง ๆ	3	3.00	17	17.00
ธุรกิจส่วนตัว	6	6.00	4	4.00
แม่บ้าน	0	0.00	6	6.00
เกษียณ	1	1.00	2	2.00
รับจ้าง	0	0.00	2	2.00
รวม	100	100.00	100	100.00
จำนวนสมาชิกในครัวเรือน				
1-2 คน	6	6.00	16	16.00
3-4 คน	43	43.00	45	45.00
5-6 คน	46	46.00	31	31.00
มากกว่า 6 คน	5	5.00	8	8.00
รวม	100	100.00	100	100.00
รายได้ต่อเดือนของทั้งครัวเรือน				
ไม่เกิน 5,000 บาท	2	2.00	2	2.00
5,001-10,000 บาท	7	7.00	11	11.00
10,001-15,000 บาท	8	8.00	16	16.00
15,001-20,000 บาท	14	14.00	9	9.00
20,001-30,000 บาท	15	15.00	31	31.00
30,000 บาท ขึ้นไป	54	54.00	31	31.00
รวม	100	100.00	100	100.00

3.2 พฤติกรรมการซื้อและการบริโภคข้าว

พฤติกรรมการซื้อและการบริโภคข้าวของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test แสดงดังตารางที่ 28 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามโดยวิธี Central Location Test เป็นผู้ซื้อข้าวสารเพื่อบริโภคในครัวเรือนด้วยตนเองคิดเป็นร้อยละ 20.00 ซึ่งมีปริมาณการซื้อ 6-10 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 40.00 รองลงมาคือ 3-5 กิโลกรัมต่อครั้ง 1-2 กิโลกรัมต่อครั้ง และมากกว่า 10 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 35.00, 15.00 และ 10.00 ตามลำดับ และมีความถี่ในการซื้อทุก 1 เดือนมากที่สุด คือร้อยละ 45.00 รองลงมาคือ ทุก 2 สัปดาห์ และน้อยกว่าเดือนละ 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 20.00 และทุก 1 สัปดาห์ หรือน้อยกว่า คิดเป็นร้อยละ 15.00 ผู้ตอบแบบสอบถามปกติรับประทานทั้งข้าวขาว ข้าวกล้อง (ข้าวซ้อมมือ) ข้าวเหนียว ข้าวแดง (ข้าวมันปู) ข้าวเสริมวิตามิน และข้าวสีนิล โดยเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 61.04, 22.08, 7.79, 7.14, 1.30 และ 0.65 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รับประทานข้าววันละ 3 มื้อ รองลงมาคือ วันละ 2 มื้อ 1 มื้อ และมากกว่า 3 มื้อ คิดเป็นร้อยละ 51.00, 45.00, 3.00 และ 1.00 ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมในการล้างข้าวก่อนนำไปหุงสุกคิดเป็นร้อยละ 99.00 มีความคิดเห็นว่าข้าวขาวมีคุณค่าทางโภชนาการไม่เพียงพอตามที่ร่างกายต้องการคิดเป็นร้อยละ 67.00 และมีความคิดเห็นว่าข้าวขาวควรมีการเสริมสารอาหาร (วิตามิน) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการคิดเป็นร้อยละ 82.00 เนื่องจากจะทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายเพราะปกติมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก และจากการขัดสีข้าว การล้าง และการหุงสุกทำให้มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ร่างกายจึงได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ นอกจากนี้ข้าวเสริมวิตามินยังเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้ที่ใส่ใจสุขภาพ ส่วนผู้ที่มีความคิดเห็นว่าข้าวขาวไม่ควรมีการเสริมสารอาหาร (วิตามิน) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการคิดเป็นร้อยละ 18 เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามคิดว่าข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอแล้ว สามารถรับประทานผักและผลไม้แทนได้ และคิดว่าราคานั้นจะสูง ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับรู้เกี่ยวกับข้าวเสริมวิตามินมาก่อนคิดเป็นร้อยละ 48 และมีความคิดเห็นว่าจำเป็นต้องมีการล้างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุกร้อยละ 41.67 เพื่อทำความสะอาดและกำจัดสิ่งสกปรก และร้อยละ 58.33 มีความคิดเห็นว่าไม่จำเป็นต้องมีการล้างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุก เนื่องจากจะทำให้มีการสูญเสียสารอาหารไปในขั้นตอนการล้าง

ส่วนผู้ตอบแบบสอบถามโดยวิธี Home Use Test เป็นผู้ซื้อข้าวสารเพื่อบริโภคในครัวเรือนด้วยตนเองคิดเป็นร้อยละ 52 ซึ่งมีปริมาณการซื้อส่วนใหญ่มากกว่า 10 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 40.38 รองลงมาคือ 3-5 กิโลกรัมต่อครั้ง 6-10 กิโลกรัมต่อครั้ง และ 1-2 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 34.62, 19.23 และ 5.77 ตามลำดับ และมีความถี่ในการซื้อทุก 1 เดือนมากที่สุด คือร้อยละ 55.77 รองลงมาคือ น้อยกว่าเดือนละ 1 ครั้ง ทุก 2 สัปดาห์ และทุก 1 สัปดาห์ หรือน้อยกว่า คิดเป็นร้อยละ 21.15, 19.23 และ 3.85 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามปกติรับประทานทั้งข้าวขาว ข้าวกล้อง (ข้าวซ้อมมือ) ข้าวเหนียว ข้าวแดง (ข้าวมันปู) และข้าวเสริมวิตามิน โดยเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 60.00, 26.88, 7.50, 4.37 และ 1.25 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รับประทานข้าววันละ 3 มื้อ รองลงมาคือ วันละ 2 มื้อ 1 มื้อ และมากกว่า 3 มื้อ คิดเป็นร้อยละ 73.00, 23.00, 3.00 และ 1.00 ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมในการล้างข้าวก่อนนำไปหุงสุกคิดเป็นร้อยละ 95.00 มีความคิดเห็นว่าข้าวขาวมีคุณค่าทางโภชนาการไม่เพียงพอตามที่ร่างกายต้องการคิดเป็นร้อยละ 70.00 และมีความคิดเห็นว่าข้าวขาวควรมีการเสริมสารอาหาร (วิตามิน) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการคิดเป็นร้อยละ 92.00 เพราะมีประโยชน์ต่อผู้บริโภค เป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการทำให้ได้รับสารอาหารเพิ่มขึ้นซึ่งข้าวขาวมีสารอาหารไม่เพียงพอ และจากการขัดสีข้าว การล้าง และการหุงสุกทำให้มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ส่วนผู้ที่มีความคิดเห็นว่าข้าวขาวไม่ควรมีการเสริมสารอาหาร (วิตามิน) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการคิดเป็นร้อยละ 8.00 เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามคิดว่าข้าวมีสารอาหารเพียงพอแล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับรู้เกี่ยวกับข้าวเสริมวิตามินมาก่อนคิดเป็นร้อยละ 43.00 และมีความคิดเห็นว่าจำเป็นต้องมีการล้างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุกร้อยละ 37.21 เพื่อทำความสะอาดและกำจัดสิ่งสกปรก และร้อยละ 62.73 มีความคิดเห็นว่าไม่จำเป็นต้องมีการล้างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุก เนื่องจากจะทำให้มีการสูญเสียสารอาหารไปในขั้นตอนการล้าง

ตารางที่ 28 พฤติกรรมการซื้อและการบริโภคข้าวของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test

ข้อมูลทั่วไป	Central Location Test		Home Use Test	
	ความถี่ (คน)	ร้อยละ	ความถี่ (คน)	ร้อยละ
ผู้ซื้อข้าวสารเพื่อบริโภคในครัวเรือน				
ตนเอง	20	20.00	52	52.00
คนในครัวเรือน	80	80.00	48	48.00
รวม	100	100.00	100	100.00
ปริมาณในการซื้อข้าวสารต่อครั้ง				
1-2 กิโลกรัม	3	15.00	3	5.77
3-5 กิโลกรัม	7	35.00	18	34.62
6-10 กิโลกรัม	8	40.00	10	19.23
มากกว่า 10 กิโลกรัม	2	10.00	21	40.38
รวม	20	100.00	52	100.00
ความถี่ในการซื้อข้าวสาร				
ทุก 1 สัปดาห์ หรือน้อยกว่า	3	15.00	2	3.85
ทุก 2 สัปดาห์	4	20.00	10	19.23
ทุก 1 เดือน	9	45.00	29	55.77
น้อยกว่าเดือนละ 1 ครั้ง	4	20.00	11	21.15
รวม	20	100.00	52	100.00
ประเภทของข้าวที่รับประทาน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)				
ข้าวขาว	94	61.04	96	60.00
ข้าวกล้อง (ข้าวซ้อมมือ)	34	22.08	43	26.88
ข้าวแดง (ข้าวมันญี่ปุ่น)	11	7.14	7	4.37
ข้าวเสริมวิตามิน	2	1.30	2	1.25
ข้าวเหนียว	12	7.79	12	7.50
ข้าวสาลี	1	0.65	0	0.00
รวม	154	100.00	160	100.00

ตารางที่ 28 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	Central Location Test		Home Use Test	
	ความถี่ (คน)	ร้อยละ	ความถี่ (คน)	ร้อยละ
การรับประทานข้าวใน 1 วัน				
1 มื้อ	3	3.00	3	3.00
2 มื้อ	45	45.00	23	23.00
3 มื้อ	51	51.00	73	73.00
มากกว่า 3 มื้อ	1	1.00	1	1.00
รวม	100	100.00	100	100.00
การล้างข้าว (ข้าวขาว) ก่อนนำไปหุงสุก				
ล้าง	99	99.00	95	95.00
ไม่ล้าง	1	1.00	5	5.00
รวม	100	100.00	100	100.00
คุณค่าทางโภชนาการของข้าวขาว				
เพียงพอ	33	33.00	30	30.00
ไม่เพียงพอ	67	67.00	70	70.00
รวม	100	100.00	100	100.00
การเสริมสารอาหาร (วิตามิน) ในข้าวขาวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ				
ควร	82	82.00	92	92.00
ไม่ควร	18	18.00	8	8.00
รวม	100	100.00	100	100.00
การรับรู้เกี่ยวกับข้าวเสริมวิตามิน				
เคย	48	48.00	43	43.00
ไม่เคย	52	52.00	57	57.00
รวม	100	100.00	100	100.00
ความจำเป็นในการล้างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุก				
จำเป็น	20	41.67	16	37.21
ไม่จำเป็น	28	58.33	27	62.73
รวม	48	100.00	43	100.00

ความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test แสดงดังตารางที่ 29 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับประเภทของข้าว พันธุ์ข้าว คุณค่าทางโภชนาการ ลักษณะของข้าว ราคา สีของข้าว และการรับรองคุณภาพจากหน่วยงานราชการอยู่ในระดับมาก ส่วนปริมาณการบรรจุ รูปแบบการบรรจุหีบห่อ ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญปานกลางถึงมาก ตราสินค้าของผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย สถานที่จำหน่าย และการส่งเสริมการจำหน่าย ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญระดับปานกลาง

สำหรับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Home Use Test แสดงดังตารางที่ 30 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับประเภทของข้าว พันธุ์ข้าว คุณค่าทางโภชนาการ ลักษณะของข้าว สีของข้าว ราคา และการรับรองคุณภาพจากหน่วยงานราชการในระดับมาก ส่วนรูปแบบการบรรจุหีบห่อ ปริมาณการบรรจุ และสถานที่จำหน่าย ให้ความสำคัญระดับปานกลางถึงมาก ส่วนตราสินค้าของผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย และการส่งเสริมการจำหน่าย ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญระดับปานกลาง

ผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test .ให้ความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนอยู่ในระดับเดียวกัน ยกเว้นรูปแบบการบรรจุหีบห่อที่ผู้ตอบแบบสอบถามแบบ Central Location Test ให้ความสำคัญในระดับที่สูงกว่าผู้ตอบแบบสอบถามแบบ Home Use Test เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามแบบ Central Location Test ส่วนใหญ่เป็นนิสิต/นักศึกษา และมีอายุต่ำกว่า 20 ปี และ 21-30 ปี ซึ่งเป็นวัยรุ่นจึงอาจชอบรูปแบบการบรรจุที่มีสีสันสะดุดตาในการถือ หรือรูปแบบที่แปลกใหม่ จึงให้ความสำคัญกับรูปแบบการบรรจุในระดับที่มากกว่า

ตารางที่ 29 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test

ปัจจัย	ระดับความสำคัญ					รวม	เฉลี่ย	ความสำคัญของปัจจัย
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด			
ประเภทของข้าว	37	47	16	0	0	421	4.2	มาก
พันธุ์ข้าว	37	47	15	0	1	419	4.2	มาก
คุณค่าทางโภชนาการ	38	47	12	2	1	419	4.2	มาก
ลักษณะของข้าว	22	62	9	5	2	397	4.0	มาก
สีของข้าว	23	45	22	6	4	377	3.8	มาก
ตราสินค้าของผู้ผลิต/ ผู้จำหน่าย	7	37	43	6	7	331	3.3	ปานกลาง
รูปแบบการบรรจุ								
หีบห่อ	18	38	31	9	4	357	3.6	ปานกลาง-มาก
ปริมาณการบรรจุ	14	40	41	2	3	360	3.6	ปานกลาง-มาก
ราคา	27	37	33	1	2	386	3.9	มาก
สถานที่จำหน่าย	6	33	47	10	4	327	3.3	ปานกลาง
การส่งเสริมการ								
จำหน่าย	11	16	33	29	11	287	2.9	ปานกลาง
การรับรองคุณภาพจาก								
หน่วยงานราชการ	33	42	14	5	6	377	3.8	มาก

ตารางที่ 30 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Home Use Test

ปัจจัย	ระดับความสำคัญ					รวม	เฉลี่ย	ความสำคัญของปัจจัย
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด			
ประเภทของข้าว	52	33	14	0	1	435	4.3	มาก
พันธุ์ข้าว	51	30	16	2	1	428	4.3	มาก
คุณค่าทางโภชนาการ	45	39	14	2	0	427	4.3	มาก
ลักษณะของข้าว	45	39	15	1	0	428	4.3	มาก
สีของข้าว	22	41	25	9	3	370	3.7	มาก
ตราสินค้าของผู้ผลิต/ ผู้จำหน่าย	13	35	30	14	8	331	3.3	ปานกลาง
รูปแบบการบรรจุ								
หีบห่อ	15	42	27	7	9	347	3.5	ปานกลาง-มาก
ปริมาณการบรรจุ	19	39	27	10	5	357	3.6	ปานกลาง-มาก
ราคา	27	41	25	4	3	385	3.9	มาก
สถานที่จำหน่าย	11	43	34	6	6	347	3.5	ปานกลาง-มาก
การส่งเสริมการ จำหน่าย	15	30	34	13	8	331	3.3	ปานกลาง
การรับรองคุณภาพจาก หน่วยงานราชการ	45	32	14	4	5	408	4.1	มาก

3.3 การยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวเสริมวิตามิน

จากการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test โดยให้คะแนนความชอบ 1-9 คะแนน ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุก และคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุก (ตารางที่ 31) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามโดยใช้วิธี Central Location Test ให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และ

ความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกเท่ากับ 6.9, 6.7 และ 6.9 ตามลำดับ ส่วนในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุก ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.1, 7.3, 7.4, 7.3, 7.6, 7.4 และ 7.5 ตามลำดับ ซึ่งวิธีนี้ผู้บริโภคมีสถานภาพเหมือนกับผู้ที่ทดสอบชิมซึ่งไม่เหมือนกับการบริโภคตามปกติทั้งในเรื่องการเตรียมตัวอย่าง ปริมาณที่บริโภคและระยะเวลาที่บริโภคตัวอย่าง และคะแนนความชอบเกิดจากความรู้สึกครั้งแรกที่ได้จากการสัมผัสกับตัวอย่าง

ส่วนผู้ตอบแบบสอบถามโดยใช้วิธี Home Use Test ให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกเท่ากับ 7.3, 7.1 และ 7.4 ตามลำดับ คะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวมของข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกเท่ากับ 7.6, 7.4, 7.6, 7.6, 7.9, 7.4 และ 7.8 ตามลำดับ ซึ่งวิธีนี้ผู้บริโภคมีสถานภาพเป็นผู้บริโภคจริง ๆ มีโอกาสสัมผัสกับคุณภาพของข้าวเสริมวิตามินตั้งแต่การเตรียมและการบริโภคตามสภาพที่เคยปฏิบัติเป็นปกติ ดังนั้นคะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ จึงเกิดจากความรู้สึกที่ได้ใช้ผลิตภัณฑ์นั้นอย่างแท้จริง

ในการทดสอบการยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามิน ควรเลือกใช้วิธีการทดสอบแบบ Home Use Test เนื่องจากคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่าง ๆ ได้จากการสัมผัสกับคุณภาพของข้าวเสริมวิตามินอย่างแท้จริง

ตารางที่ 31 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย	
	Central Location Test	Home Use Test
<u>ก่อนหุงสุก</u>		
ลักษณะปรากฏ	6.9 ± 1.3	7.3 ± 1.5
สี	6.7 ± 1.7	7.1 ± 1.6
ความชอบรวม	6.9 ± 1.4	7.4 ± 1.7
<u>หลังหุงสุก</u>		
ลักษณะปรากฏ	7.1 ± 1.4	7.6 ± 1.7
สี	7.3 ± 1.4	7.4 ± 1.5
กลิ่น	7.4 ± 1.2	7.6 ± 1.3
กลิ่นรส	7.3 ± 1.2	7.6 ± 1.3
ความนุ่ม	7.6 ± 1.4	7.9 ± 1.2
ความเหนียว	7.4 ± 1.3	7.4 ± 1.3
ความชอบรวม	7.5 ± 1.1	7.8 ± 1.1

การยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test แสดงดังตารางที่ 32 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามโดยใช้วิธี Central Location Test ส่วนใหญ่ยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกคิดเป็นร้อยละ 95.00 ในขณะที่ร้อยละ 5.00 ไม่ยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และถ้ามีผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามินออกวางจำหน่ายในท้องตลาดจะซื้อหรือแนะนำให้คนในครัวเรือนซื้อมารับริโภคคิดเป็นร้อยละ 54 โดยให้เหตุผลว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีประโยชน์ต่อสุขภาพ อร่อย มีคุณลักษณะที่ถูกต้อง และอยากลอง ร้อยละ 46.00 ไม่แน่ใจว่าจะซื้อเนื่องจากต้องพิจารณาราคาก่อน และผลิตภัณฑ์ยังไม่ได้มีการรับรองมาตรฐาน ส่วนผู้ตอบแบบสอบถามโดยใช้วิธี Home Use Test ส่วนใหญ่ยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกคิดเป็นร้อยละ 98.00 ในขณะที่

ร้อยละ 2.00 ไม่ยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และถ้ามีผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามินออกวางจำหน่ายในท้องตลาดจะซื้อหรือแนะนำให้คนในครัวเรือนซื้อมารับริโภคคิดเป็นร้อยละ 76.00 โดยให้เหตุผลว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีประโยชน์ต่อสุขภาพ อร่อย และมีคุณลักษณะที่ถูกต้อง ร้อยละ 21.00 ไม่แน่ใจว่าจะซื้อเนื่องจากต้องพิจารณาราคาก่อน และร้อยละ 3.00 ไม่ซื้อผลิตภัณฑ์เนื่องจากปกติรับประทานข้าวกล้อง และไม่ชอบคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสหลังหุงสุก

ตารางที่ 32 การยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุกและข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test

การยอมรับ	Central Location Test		Home Use Test	
	ความถี่ (คน)	ร้อยละ	ความถี่ (คน)	ร้อยละ
การยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์				
ยอมรับ	95	95.00	98	98.00
ไม่ยอมรับ	5	5.00	2	2.00
รวม	100	100.00	100	100.00
การตัดสินใจซื้อหรือแนะนำให้คนในครัวเรือนซื้อมารับริโภค เมื่อมีผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามินออกวางจำหน่ายในท้องตลาด				
ซื้อ	54	54.00	76	76.00
ไม่แน่ใจ	46	46.00	21	21.00
ไม่ซื้อ	0	0.00	3	3.00
รวม	100	100.00	100	100.00

จากการทดสอบ X^2 -test ระหว่างวิธีการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค 2 วิธี คือ Central Location Test และ Home Use Test กับการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์พบว่า วิธีการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการทดสอบการยอมรับด้วยวิธี Home Use Test มีการตัดสินใจที่จะซื้อหรือแนะนำให้คนในครอบครัวซื้อมารับริโภคคิดเป็นร้อยละ 76.00 ซึ่งมากกว่าวิธี Central Location Test ที่มีการตัดสินใจที่จะซื้อหรือแนะนำให้คนในครอบครัวซื้อมารับริโภคคิดเป็นร้อยละ 54.00 เนื่องจากผู้บริโภคที่ทดสอบแบบ Home Use Test ได้มีโอกาสทดลองหุงและรับประทานข้าวเสริมวิตามินด้วยตัวเองจึงเกิดความเชื่อมั่น และรับรู้

ในคุณภาพของข้าวเสริมวิตามิน ทำให้มีการตัดสินใจที่จะซื้อหรือแนะนำให้คนในครอบครัวซื้อ
มากกว่าผู้บริโภคที่ทดสอบแบบ Central Location Test

สรุป

จากการศึกษาการใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ในการผลิตข้าวเสริมวิตามิน ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ การศึกษาผลของสารเคลือบที่รับประทานได้ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวพรีมิกซ์ อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินตามมาตรฐานที่กำหนด และการยอมรับข้าวเสริมวิตามินของผู้บริโภค สามารถสรุปได้ดังนี้

เพศดินชนิดที่มีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 สามารถใช้เคลือบข้าวพรีมิกซ์ได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินหลังจากการล้างได้มากที่สุด โดยมีการสูญเสียปริมาณไทอะมิน ไรโบฟลาวินและไนอะซินหลังจากการล้างน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 44.14, 32.34 และ 44.57 ตามลำดับ และอัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพศดินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 กับข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินคือ 1 ต่อ 70 ซึ่งหลังจากหุงสุกแล้วจะมีปริมาณไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินเหลืออยู่เท่ากับ 0.17, 0.05 และ 27.89 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณไทอะมินและไนอะซินมากกว่าร้อยละ 10 ของปริมาณไทอะมินและไนอะซินตามที่ Thai RDI กำหนด

พฤติกรรมการซื้อและการบริโภคข้าวของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมในการล้างข้าวก่อนนำไปหุงสุก มีความคิดเห็นว่าข้าวขาวมีคุณค่าทางโภชนาการไม่เพียงพอตามที่ร่างกายต้องการ และคิดว่าข้าวขาวควรมีการเสริมสารอาหาร (วิตามิน) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ แต่มีความคิดเห็นว่าไม่จำเป็นต้องมีการล้างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุก ผู้บริโภคที่ทดสอบการยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี Central Location Test และ Home Use Test ส่วนใหญ่ยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุก และข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุกคิดเป็นร้อยละ 95 และ 98 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

จากการทำการศึกษาวิจัยพบว่า ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม หรือปรับปรุง หรือเป็นแนวทางในการศึกษาต่อ ดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มแต่ละชนิดและศึกษาสารเคลือบที่รับประทานได้ชนิดอื่น ๆ เช่น สารเคลือบประเภทโปรตีน ได้แก่ โปรตีนจากข้าวโพด โปรตีนจากไข่ขาวผสมกับของแข็งในไข่แดง เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เพื่อช่วยลดการสูญเสียสารอาหารจากการล้างและหุงสุกในข้าว
2. ศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมกับเพศดินชนิดเมทอกซิลต่ำแต่ละชนิด เนื่องจากเพศดินแต่ละชนิดมีปริมาณการแทนที่ของหมู่เมทอกซิลที่หมู่คาร์บอกซิลแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมได้ไม่เท่ากัน จึงส่งผลต่อความแข็งแรงของเจล
3. เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมข้าวพรีมิคซ์ซึ่งใช้ลมร้อนในการเป่าให้แห้งหลังจากการเคลือบด้วยวิตามินและสารเคลือบมีผลทำให้ข้าวพรีมิคซ์มีรอยแตก และการแตกหัก และหลังจากได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า ควรใช้ลมธรรมดาในการเป่าให้แห้งเพื่อลดการแตกหักและรอยแตกของเมล็ดข้าวซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการสูญเสียวิตามินหลังจากการล้าง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ____ และ จุฑาณี จิตต์รำพึง. 2539. พจนานุกรม Food additives สำหรับนักอุตสาหกรรมอาหาร และเกษตร. ม.ป.ท.
- กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2541. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ฉลากโภชนาการ ฉบับที่ 182. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.
- ____. 2544. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.
- ____. 2547. ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับประชาชนไทย (RDA) 2546. แหล่งที่มา: <http://www.anamai.moph.go.th/nutri/rda%20041103.htm//w>, 1 พฤศจิกายน 2547.
- คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. 2546. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์, กรุงเทพฯ.
- เครือวัลย์ อุตตะวีริยะสุข. 2536. เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. **ความรู้เรื่องข้าว**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- นันทนา จงใจเทศ. 2532. การศึกษาวิตามินในข้าว. **งานศึกษาวิจัย**. แหล่งที่มา: www.anamai.moph.go.th, 28 มกราคม 2547.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2537. **โภชนศาสตร์เบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2542. **คอลลอยด์**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- _____. 2545. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ปิยธิดา เข้มสุข. 2541. **การเสริมวิตามินในข้าวโดยวิธีการคอรอลิง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร**. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2535. **ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้**. *อาหาร*. 22: 1–6.
- สมทรง เลขะกุล. 2543. **ชีวเคมีของวิตามิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์สุวรรณิการ์พิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ศุภวัฒน์ รักษาพรหมณ์. 2547. **ปัจจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้ข้อมูลจากระบบสารสนเทศในการตัดสินใจ: ศึกษาเฉพาะกรณีบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแห่งหนึ่ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548.

ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. **เคมีทางัญญาอาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2545. **กรรมวิธีการผลิตข้าวเคลือบที่มีกลิ่นหอมเพิ่มคุณค่าทางอาหารและทนต่อการเสื่อมคุณภาพ**. สิทธิบัตรไทย เลขที่ 799.

_____. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง. 2533. **ประมวลความรู้เรื่องข้าว**. สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

อารี องค์กรวิเศษไพบูลย์. 2534. **คุณภาพและการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AACC. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc, St.Paul.

Ajayi, O.A. and B.O. Ipadeola. 1993. Clinical trial of riboflavin in sickle cell disease. **East Afr Med J.** 70: 418-421.

Albert, S. and G.S. Mittal. 2002. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. **Food Research International.** 35: 445-458.

Anonymous. 2004. **Product Information: Type 7220 LMA Pectin**. East Asiatic (Thailand) Public Company Limited, Bangkok. (Mimeographed)

- Anonymous. 2004. **Product Information: Type 7210 LMA Pectin**. East Asiatic (Thailand) Public Company Limited, Bangkok. (Mimeographed)
- Anonymous. 1997. **Specification Pectin**. Nutrition Limited Partnership, Bangkok. (Mimeographed)
- A.O.A.C. 2000. **Official Method of Analysis**. 17th ed., The Association of Official Analytical Chemists Gaithersburg, Maryland.
- Ariyama, H., S. Tatzawa and S. Nagasawa. 1952. Method of thiamine enriched rice. **Bitamin**. 5: 408.
- _____ and W.M. Cort. 1974. Nutrification of food with added vitamin A. **Crit. Rev. Food Tech.** 4: 337-375.
- Axelos, M.A.V. and J.F. Thibault. 1991. The chemistry of low-methoxyl pectin gelation, pp 109-118. *In* R. Walter, ed. **The Chemistry and Technology of Pectin**. Academic Press, New York.
- Birdsall, J.J. 1975. **Technology of Fortification of Foods**. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Bramall, L.D. 1986. A novel process for the fortification of rice. **Food Technology in Australia**. 38(7): 281-284.
- Brooke, C.L. 1972. Rice enrichment, pp 353-357. *In* D.F.Houston, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. American Association Cereal Chemistry, St. Paul, Minnesota.
- Chaplin, M. 2005. Carrageenan. **Water**. Available Source: <http://www.lsbu.ac.uk/water.html>, Feb 8, 2006.

Choe, E., R. Huang and D.B. Min. 2005. Chemical reactions and stability of riboflavin in foods. **J. Food Sci.** 70(1): 28-36.

Cort, W.M., B. Borenstein, J.H. Harley, M. Osadca and J. Scheiner. 1976. Nutrient stability of fortified cereal products. **Food Technol.** 30(4): 52-58.

Damodaran S. and A. Paraf. 1997. **Food Proteins and Their Applications.** Marcel Dekker, Inc, New York.

Department of Biology Davidson College. 2001. Vitamin B2. **Vitamin B.** Available Source: www.chm.bris.ac.uk/.../schnep/riboflavin.jpg, July 9, 2004.

Department of Aquatic Products Ministry of Agriculture. 1990. Chapter III: Properties, manufacture and application of seaweed polysaccharides – agar, carrageenan and algin. **Training Manual on Gracilaria Culture and Seaweed Processing in China.** Available Source: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB730E/AB730E03.htm>, Feb 9, 2006.

Dexter, P.B. 1998. **Rice Fortification for Developing Countries.** Jonh Snow, Inc., n.p.

Draget, K.R., O. Smidsrod and G. Skjåk-Bræk. 2005. **Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry.** WILEY-VCH GmbH & Co., Weinheim.

Drossler, P., W. Holzer, A. Penzkofer and P. Hagemann. 2002. pH dependence of the absorption and emission behavior of riboflavin in aqueous solution. **Chem Phys.** 282: 429-439.

_____. 2003. Fluorescence quenching of riboflavin in aqueous solution by methionin and cystein. **Chem Phys.** 286: 409-420.

- Eitenmiller, R.R. and W.O. Landen. 1999. **Vitamin Analysis for the health and Food Sciences**. CRC Press, New York.
- Food and Drug Administration. 1998. Requirements for specific standardized cereal flours and related products: Enriched rice. **Food and Drugs**. Available Source: www.nittofunka.co.jp/HP/know/FDA/137-350.html, Jan 29, 2004.
- Ford, C., D. Myers and M. Love. 2000. Chapter 3: Carbohydrate. **Food and the Consumer**. Available Source: <http://www.public.iastate.edu/~cfford/101Carbohydrates.htm>, Feb 8, 2006.
- Furter, W.M., E.L. De Ritter and S.H. Rubin. 1946. Enrichment of rice with synthetic vitamins and iron. **Ind. Eng. Chem.** 38(5): 488-492.
- Furuya, E.M. and J.J. Warthesen. 1984. Influence of initial riboflavin content on retention in pasta during photodegradation and cooking. **J Food Sci.** 49: 984-986, 998.
- Gibbon, S.H. 1936. **Treatment of rice**. U.S.patent 2,021,721.
- Gontard, N., S. Guilbert and J.L.Cuq. 1993. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. **J Food Sci.** 58: 206-211.
- Grist, D.H. 1975. **Rice**. 5th ed. Longman, London.
- Guilbert, S., N. Gontard and L.G.M. Gorris. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coating. **Lebensm.-Wiss. U.-Technol.** 29: 10-17.

Guo, H.X., J. Heinämäki and J. Yliruusi. 1999. Characterization of particle deformation during compression measured by confocal laser scanning microscopy. **International Journal of Pharmaceutics**. 186: 99-108.

Hettel, E. n.d. **Rice Grain Morphology**. Available Source:
<http://www.riceweb.org/Ricexsec.gif>, July 9, 2004.

Hoffpauer, D.W. 1992. Rice enrichment for today. **Cereal Foods World**. 37(10): 757-759.

Huzenlaub, E.G. 1935. **Process for Vitaminising Rice**. British patent 552,510.

Ivanov, S.A. and K. Aitzetmüller. 1998. Untersuchungen über die tocopherol- und tocotrienolzusammensetzung der samenlipide einiger arten der Bulgarischen flora. **Fett/Lipid**. 100(8): 348-352.

Joseph, E.W., J.A. Liuzzo and R.M. Rao. 1990. Development of wash and cook-proof methods for vitamin enrichment of rice grains. **J. Food Sci**. 55(4): 1102-1107.

Juliano, B.O. 1985. **Rice: Chemistry and Technology**. 2nd ed. American Association Cereal Chem., St. Paul, Minnesota.

_____. 1993. **Rice in Human Nutrition**. International Rice research Institute, Rome.

Kawasaki, C. 1951. Thiamine enrichment at mass cooking. **Bitamin**. 4: 375.

Kester, J.J. and Fennema, O.R., 1986. Edible films and coatings: a review. **Food Technol** 40(12): 47-59.

Kik, M.C. and R.R. William. 1945. **Nutritional Improvement of White Rice**. Nat. Res, Council Bull.

- Killeit, U. 1988. **The Stability of Vitamins: A Selection of Current Literature**. Grenzach-Whylen, Germany.
- Kwok, K.C., Y.W. Shiu, C.H. Yeung and K. Niranjana. 1998. Effect of thermal processing on available lysine, thiamine and riboflavin content in soy milk. **J Sci Food Agric**. 77: 473-478.
- Malakar, M.C. and S. Bannerjee. 1959. Effect of cooking rice with different volume of water on the loss of nutrient and digestibility of rice in vitro. **Food Research**. 24: 751-756.
- Mathlouthi, M. 1994. **Food Packaging and Preservation**. Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Meilgaard, M., G.V. Civille and B.T. Carr. 1999. *Sensory Evaluation Techniques*. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Misaki, M. and K. Yasumatsu. 1985. Rice fortification and enrichment, pp 289-402. In B.O. Juliano, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. 2nd ed. American Association Cereal Chem., St. Paul, Minnesota.
- Mitsuda, H. 1962. Enrichment of rice by soaking method. **Proceedings First International Congress of Science and Technology**, London.
- Moore, J.C., and K.D. Dolan. 2003. Optimization of oxidation steps used in fluorometric determination of thiamine in soft wheat flour. **Cereal Chem**. 80: 238-240
- Ottaway, P.B. 1993. Stability of vitamins in food, pp 90-112. In P.B. Ottaway, ed. **The Technology of Vitamins in Food**. Blackie Academic and Professional, Glasgow.

- Peil, A., F. Barrett, C. Rha and R. Langer. 1981. Retention of micronutrients by polymer coatings used to fortify rice. **J. Food Sci.** 47: 260-262, 266.
- Pillaiyar, D. 1990. Rice parboiling research in India. **Cereal Foods World.** 35: 225-257
- Purdue University. 2004a. Behaviors of polysaccharide solution, dispersion and gels. **Cabohydrate.** Available Source:
<http://www.cfs.purdue.edu/class/f&n630/pdfs/polysacchsols.pdf>, Feb 8, 2006.
- _____. 2004b. Pectin. **Cabohydrate.** Available Source:
<http://www.cfs.purdue.edu/class/f&n630/pdfs/pectin.pdf>, Feb 8, 2006.
- Richardson, D.P. 1993. Food fortification, pp 233-244. *In* P.B. Ottaway, ed. **The Technology of Vitamins in Food.** Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Roche, Opportunities for Micronutrient Interventions and The United States Agency for International Development. n.d. **Fortification Basics.** n.p.
- Rolin, C., B.U. Nielsen and P.E. Glahn. 1998. Pectin, pp 377-431. *In* S. Dumitriu, ed. **Polysaccharide: Structural, Diversity and Functional Versatility.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- Sakurai, Y., S. Suzuki and T. Tani. 1952. Method of enrichment of polished rice. **Bitamin.** 5: 603.
- School of Chemistry University of Bristol. 2002. Vitamin B1. **Vitamin B.** Available Source:
chem4823.usask.ca/chem255lab/thiamine.htm, July 9, 2004.

- Shrestha, A.K., J. Arcot, and J.L. Paterson. 2003. Edible coating materials-their properties and use in the fortification of rice with folic acid. **Food Reseach International**. 36: 921-928.
- Swaney, J. 2002. B Vitamins: Section 2-Niacin and Pellagra. **Netrition**. Available Source: mywebpages.comcast.net/.swaney/Netrition/B_Vitamins/p2.htm, July 9, 2004.
- Thakur, B.R., R.K. Singh, and A.K. Handa. 1997. Chemistry and Uses of Pectin-A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 37: 47-73.
- The Department of Health and Human Services Food and Drug Administration. 1998. Cereal flours and related products- Enriched rice. **Food and Drug Administration**. Available Source: <http://www.nittofunka.co.jp/HP/know/FDA/137.350.htm>, April 30, 2004.
- The Linus Pauling Institue. 2005. Chemical structures of amylase, cellulose and beta-glucans. **Micronutrient Information Center**. Available Source: <http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/phytochemicals/fiber/fiberfig.html>, March 30, 2006.
- Watanabe, A. 1952. Thiamine enrichment of cooked rice. **Bitamin**. 5: 57.
- Wishner, L.A. 1964. Light induced oxidation in milk. **J Dairy Sci**. 47: 216-221.
- Woodcook, E.A., J.J. Wartesen and T.P. Labuza. 1982. Riboflavin photochemical degradation in pasta measured by high performance liquid chromatography. **J Food Sci**. 47: 545-555.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ภาคผนวก ก1 การวิเคราะห์ปริมาณโทอะมีน (A.O.A.C., 2000)

Fluorometric (Rapid) Method, A.O.A.C. (2000) หมายเลข 45.1.05-45.1.06

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. สเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (spectrofluorometer)
2. คิวเวต (cuvette)
3. หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)
4. โกร่ง
5. ชุดเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำข้าวสารหอมมะลิ ข้าวพรีมิกซ์ ข้าวเสริมวิตามินก่อนและหลังล้างบดด้วยโกร่ง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช (mesh) (AACC., 2000)
2. นำข้าวสารหอมมะลิ ข้าวพรีมิกซ์ ข้าวเสริมวิตามินหุงสุกบดด้วยโกร่ง

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายโพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1

ละลายโพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ 1 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร (เตรียมในวันที่ใช้)

3. ออกซิไดซิ่ง รีเอเจนท์

ผสมสารละลายโพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร (ใช้สารละลายภายใน 4 ชั่วโมง)

4. ไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์

นำมากลั่นในชุดเครื่องแก้ว อุณหภูมิของไอที่ 105-108 องศาเซลเซียส เก็บในขวดสีชา

5. แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 20

เจือจางแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 211 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร

6. กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เจือจางกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (12 โมลาร์) 8.4 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร

7. สารละลายมาตรฐานไทอะมีน (thiamine hydrochloride stock solution) ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ละลายไทอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ 50-60 มิลลิกรัม (ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ที่เป็น U.S.P. Reference Standard ที่ผ่านการทำให้แห้งบน P_2O_5 ในเดซิเคเตอร์ อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ใน

แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 20 ปรับ pH 3.5-4.3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และเจือจางให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 20 (ปรับปริมาตรให้มีความเข้มข้นไทอะมีนที่แน่นอน 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เก็บในขวดสีชาที่มีฝาปิดเป็นแก้ว และเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

8. สารละลายมาตรฐานไทอะมีน (thiamine hydrochloride intermediate solution) ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เจือจาง 100 มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐานไทอะมีนความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 20 ปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร ปรับ pH 3.5-4.3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เก็บในขวดสีชาที่มีฝาปิดเป็นแก้ว และเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

9. สารละลายมาตรฐานไทอะมีน (thiamine working standard solution) ความเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เจือจาง 5 มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐานไทอะมีนความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปรับปริมาตรจนครบ 250 มิลลิลิตร

การสกัดไทอะมีน

1. ชั่งน้ำหนักข้าวบดละเอียดและน้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม (ข้าวพรีมิกซ์) หรือ 15 กรัม (ข้าวพรีมิกซ์หลังล้าง และหุงสุก ข้าวสารหอมมะลิ และข้าวเสริมวิตามินก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 15 มิลลิลิตร ต่อ 1 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง) โดยใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 ครั้ง โดยส่วนหนึ่งใช้ล้างด้านข้างขวด แล้วคนให้เข้ากัน และปิดปากขวดด้วยลูมิเนียมฟอลด์

3. นำมาสกัดในหม้อนิ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 108-109 องศาเซลเซียส ความดัน 34.5 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 20 นาที (รวมเวลาในการให้ความร้อนไม่เกิน 35 นาที คือรออุณหภูมิขึ้น 5-10 นาที และรออุณหภูมิลงประมาณ 5 นาที) (หมายเหตุ ให้ preheat หม้อนิ่งความดันก่อนใส่ ตัวอย่างที่จะนำมาสกัด)

4. ทำให้เย็นและเจือจางด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร เพื่อให้มีความเข้มข้นของไทอะมินประมาณ 0.2 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร

5. นำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 (ashless) และเทสารละลายที่กรองได้ 1 ใน 10 ของส่วนแรกของสารละลายทิ้ง

การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1. สารละลายไทอะมินมาตรฐาน (S) และสารละลายตัวอย่าง (I)

1.1 เตรียมหลอดทดลองขนาด 40 มิลลิลิตร สำหรับสารละลายไทอะมินมาตรฐาน หรือสารละลายตัวอย่าง

1.2 เติมสารละลายไทอะมินมาตรฐานความเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หรือสารละลายตัวอย่าง ใส่หลอดทดลอง หลอดละ 5 มิลลิลิตร

1.3 เติมสารออกซิไดซิ่ง รีเอเจนท์ หลอดละ 3 มิลลิลิตร ทันทีแล้วค่อย ๆ แกว่งหลอดทดลองเบา ๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน

1.4 เติมไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์ หลอดละ 13 มิลลิลิตร ทันทีแล้วปิดฝา เขย่าให้เข้ากันนาน 2 นาที

1.5 ตั้งทิ้งไว้ รอให้สารละลายเกิดการแยกชั้น จากนั้นเปิดสารละลายชั้นบนซึ่งเป็นไทโอโครมที่ละลายอยู่ในไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์

2. สารละลายไทอะมีนมาตรฐาน (แบบลงก) (d) หรือสารละลายตัวอย่าง (แบบลงก) (b)

2.1 เตรียมหลอดทดลองขนาด 40 มิลลิลิตร สำหรับสารละลายไทอะมีนมาตรฐาน หรือสารละลายตัวอย่าง

2.2 เติมสารละลายไทอะมีนมาตรฐานความเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หรือ สารละลายตัวอย่าง ใส่หลอดทดลอง หลอดละ 5 มิลลิลิตร

2.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 หลอดละ 3 มิลลิลิตร ทันที แล้วค่อย ๆ แก้วหลอดทดลองเบา ๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน

2.4 เติมไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์ หลอดละ 13 มิลลิลิตร ทันทีแล้วปิดฝา เขย่าให้เข้ากันนาน 2 นาที

2.5 ตั้งทิ้งไว้ รอให้สารละลายเกิดการแยกชั้น จากนั้นเปิดสารละลายชั้นบนซึ่งเป็น ไทโอโครมที่ละลายอยู่ในไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์

ตารางผนวกที่ ก 1 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเกิดไทโอโครม

สารละลาย	S	d	I	b
สารละลายมาตรฐานไทอะมีน	5	5	-	-
สารละลายตัวอย่าง	-	-	5	5
ออกซิไดซิ่ง รีเอเจนท์	3	-	3	-
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15	-	3	-	3
ไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์	13	13	13	13

การวัดค่าการเรืองแสงของไทโอโครม

ความยาวคลื่น Excitation (Ex) เท่ากับ 365 นาโนเมตร และ Emission (Em) เท่ากับ 435 นาโนเมตร

ตั้งสเกลในการอ่านค่าเรืองแสง X เท่ากับ 1 สำหรับข้าวพรีมิกซ์ และ X เท่ากับ 3 สำหรับข้าวสารหอมมะลิ และข้าวเสริมวิตามิน

หมายเหตุ วัดค่าตัวอย่างเรียงตามลำดับ ดังนี้ S, d และ I, b และวัดตัวอย่างภายใน 30 นาที (Moore and Dolan, 2003)

การคำนวณ

ไทอะมินไฮโดรคลอไรด์ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) = $\frac{I-b}{S-d} \times 1$ (ไมโครกรัม) $\times \frac{250}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times \frac{100 \text{ กรัม}}{1000 \text{ กรัม}}$

ภาคผนวก ก2 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบีสอง (A.O.A.C., 2000)

Fluorometric (Rapid) Method, A.O.A.C. (2000) หมายเลข 45.1.08

เครื่องมือ

1. สเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์
2. คิวเวต
3. หม้อนึ่งความดันไอน้ำ
4. เครื่องวัด pH
5. โกร่ง
6. ชุดเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำข้าวสารหอมมะลิ ข้าวพรีมิกซ์ ข้าวเสริมวิตามินก่อนและหลังล้างบดด้วยโกร่ง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช (AACC., 2000)
2. นำข้าวสารหอมมะลิ ข้าวพรีมิกซ์ ข้าวเสริมวิตามินหุงสุกบดด้วยโกร่ง

สารเคมี

1. กรดอะซิติกความเข้มข้น 0.02 โมลาร์

เจือจางกรดอะซิติก 1.14 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร

2. สารละลายมาตรฐานไรโบฟลาวิน (riboflavin stock solution) ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ละลายไรโบฟลาวิน 50 มิลลิกรัม (ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ที่เป็น U.S.P. Reference Standard ที่ผ่านการทำแห้งบน P_2O_5 ในเซตเคเตอร์ อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ในกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร โดยเติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ที่ให้ความร้อนเล็กน้อยก่อนพร้อมทั้งคนจนไรโบฟลาวินละลายหมด แล้วทำให้เย็น จากนั้นจึงปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา เก็บในสถานะของโทลูอีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (อย่าเขย่าสารละลายขณะที่เย็น)

3. สารละลายมาตรฐานไรโบฟลาวิน (riboflavin intermediate solution) ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เจือจางสารละลายมาตรฐานไรโบฟลาวินความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร เก็บในสถานะของโทลูอีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (อย่าเขย่าสารละลายขณะที่เย็น)

4. สารละลายมาตรฐานไรโบฟลาวิน (riboflavin working solution I) ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เจือจางสารละลายมาตรฐานไรโบฟลาวินความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่จะวิเคราะห์)

5. โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ความเข้มข้นร้อยละ 6

ละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ 6 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่จะวิเคราะห์)

6. กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เจือจางกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.4 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร

7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 20

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

9. กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 100

10. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้นร้อยละ 4

ละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 4 กรัมในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

11. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3

เจือจางไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 ปริมาตร 8.6 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้เพราะห้)

การสกัดไรโบฟลาวิน

1. ชั่งน้ำหนักข้าวบดละเอียดและน้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม (ข้าวพรีมิกซ์) และ 15 กรัม (ข้าวพรีมิกซ์หลังล้าง และหุงสุก ข้าวสารหอมมะลิ และข้าวเสริมวิตามินก่อนล้าง หลังล้าง และหุงสุก) ในขวดแก้วสีชาที่มีฝาปิดขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 15 มิลลิลิตร ต่อ 1 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง) โดยใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 ครั้ง โดยส่วนหนึ่งใช้ล้างด้านข้างขวด แล้วคนให้เข้ากัน และปิดฝาขวด

3. นำมาสกัดในหม้อนึ่งความดันไอที่ความดัน 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121-123 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (ควร preheat หม้อนึ่งความดันก่อนนำตัวอย่างมาสกัด)

4. ทำให้เย็น ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นให้คนจนกระทั่งเกิดการกระจายตัว จากนั้นปรับ pH 6.0-6.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 0.1 นอร์มัล และเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทันทีจนไม่มีตะกอนเกิดขึ้น (pH 4.5)

5. เจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีความเข้มข้นไรโบฟลาวิน 0.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ปริมาตร 250 มิลลิลิตร)

6. นำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 (ashless)

7. นำส่วนใสมาตรวจสอบการละลายของโปรตีน โดยหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

7.1 ถ้าไม่มีตะกอนเกิดขึ้นให้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จนได้ pH 6.8 เจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีความเข้มข้นไรโบฟลาวิน 0.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ปริมาตร 250 มิลลิลิตร)

7.2 ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นปรับสารละลายจนถึงจุดที่มีการตกตะกอนมากที่สุด แล้วเจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีความเข้มข้นไรโบฟลาวิน 0.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นกรองแล้วนำส่วนใสมาทำตามข้อ 7.1

การวิเคราะห์ปริมาณไรโบฟลาวิน

1. เตรียมหลอดทดลองสำหรับวิเคราะห์ขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายตัวอย่างใส่ในหลอดทดลอง ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
3. เติมสารละลายมาตรฐานไรโบฟลาวินความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายตัวอย่าง แล้วผสมให้เข้ากัน (สำหรับ X) และเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายตัวอย่าง แล้วผสมให้เข้ากัน (สำหรับ B)
4. จากนั้นเติมกรดอะซิติกปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วผสมให้เข้ากัน
5. จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 2 นาที
6. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน
7. เติมสารละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ความเข้มข้นร้อยละ 6 แล้วผสมให้เข้ากัน วัดตัวอย่างภายใน 15 วินาที (สำหรับ C)

ตารางผนวกที่ 2 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของไรโบฟลาวิน

สารเคมี	X	B	C
สารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	10	10	10
สารละลายมาตรฐานไรโบฟลาวิน (1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (มิลลิลิตร)	1	-	-
น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	-	1	1
กรดอะซิติก (มิลลิลิตร)	1	1	1
สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้นร้อยละ 4 (มิลลิลิตร)	0.5	0.5	0.5
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 3 (มิลลิลิตร)	0.5	0.5	0.5
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 6 (มิลลิลิตร)			0.5

การวัดค่าการเรืองแสงของไรโบฟลาวิน

ความยาวคลื่น Excitation (Ex) เท่ากับ 365 นาโนเมตร และ Emission (Em) เท่ากับ 435 นาโนเมตร

ตั้งสเกลในการอ่านค่าเรืองแสง X เท่ากับ 1 สำหรับข้าวพรีมิกซ์ และ X เท่ากับ 3 สำหรับข้าวสารหอมมะลิ และข้าวเสริมวิตามิน

หมายเหตุ วัดค่าตัวอย่างเรียงตามลำดับ ดังนี้ X , B และ C

การคำนวณ

$$\text{ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)} = \frac{B - C}{X - B} \times 1.0 \text{ (ไมโครกรัม)} \times \frac{250}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100 \text{ กรัม}$$

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณวิตามินต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณวิตามินต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

กระทรวงสาธารณสุข (2541) กำหนดปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ประเภทข้าวหุงสุกไว้เท่ากับ 130 กรัม ปริมาณไทอะมีน ไโรโบฟลาวิน และไนอะซินที่ควรได้รับเท่ากับ 1.5, 1.7 และ 20 มิลลิกรัม ต่อ วัน (Thai RDI) ตามลำดับ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกสามารถคำนวณปริมาณวิตามินต่อหนึ่งหน่วยบริโภค โดย

วิธีการคำนวณปริมาณวิตามิน ใน 1 หน่วยบริโภค

$$\text{ปริมาณวิตามิน (มิลลิกรัม) ต่อ 1 หน่วยบริโภค} = \frac{\text{ปริมาณวิตามิน (มิลลิกรัม)} \times 130 \text{ (กรัม)}}{100 \text{ (กรัม)}}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณไทอะมีน (มิลลิกรัม) ต่อ 1 หน่วยบริโภค} &= \frac{0.01 \text{ (มิลลิกรัม)} \times 130 \text{ (กรัม)}}{100 \text{ (กรัม)}} \\ &= 0.013 \text{ มิลลิกรัม ต่อ 1 หน่วยบริโภค} \end{aligned}$$

ตารางผนวกที่ ข 1 ปริมาณวิตามินต่อหนึ่งหน่วยบริโภคของข้าวหุงสุก

สิ่งทดลอง	อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์ต่อข้าวสารปกติ	ปริมาณวิตามิน (มิลลิกรัม) ต่อ 1 หน่วยบริโภค		
		ไทอะมีน	ไโรโบฟลาวิน	ไนอะซิน
1	ข้าวสารหอมมะลิ (อาหารอ้างอิง)	0.013	0.013	19.110
2	1 ต่อ 100	0.130	0.052	15.717
3	1 ต่อ 85	0.156	0.065	14.742
4	1 ต่อ 70	0.221	0.065	36.257

ในฉลากโภชนาการสามารถใช้คำว่าเสริมวิตามินได้เมื่อเทียบปริมาณวิตามินกับอาหารอ้างอิงแล้วอาหารดังกล่าวมีปริมาณวิตามินที่สูงกว่าระดับที่มีอยู่ในอาหารอ้างอิงไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของ Thai RDI โดยร้อยละ 10 ของปริมาณไทอะมีน ไโรโบฟลาวิน และไนอะซินตาม Thai RDI เท่ากับ 0.15, 0.17 และ 2 มิลลิกรัม

วิธีการคำนวณร้อยละของปริมาณวิตามินตาม Thai RDI

$$\begin{aligned} & \text{ร้อยละของปริมาณโทอะมีนตาม Thai RDI} \\ & = \frac{(\text{ปริมาณวิตามินในอาหาร} - \text{อาหารอ้างอิง}) (\text{มิลลิกรัม}) \times 100}{1.5 (\text{มิลลิกรัม})} \end{aligned}$$

$$= \frac{(0.221 - 0.013) \times 100}{1.5} = 13.87$$

$$\begin{aligned} & \text{ร้อยละของปริมาณโรโบฟลาวินตาม Thai RDI} \\ & = \frac{(\text{ปริมาณวิตามินในอาหาร} - \text{อาหารอ้างอิง}) (\text{มิลลิกรัม}) \times 100}{1.7 (\text{มิลลิกรัม})} \end{aligned}$$

$$= \frac{(0.065 - 0.013) \times 100}{1.7} = 3.06$$

$$\begin{aligned} & \text{ร้อยละของปริมาณไนอะซินตาม Thai RDI} \\ & = \frac{(\text{ปริมาณวิตามินในอาหาร} - \text{อาหารอ้างอิง}) (\text{มิลลิกรัม}) \times 100}{20 (\text{มิลลิกรัม})} \end{aligned}$$

$$= \frac{(36.257 - 19.110) \times 100}{20} = 85.73$$

ตารางผนวกที่ ข 2 ร้อยละของปริมาณวิตามินตาม Thai RDI

สิ่งทดลอง	อัตราส่วนผสมระหว่าง ข้าวพรีมิกซ์ต่อข้าวสารปกติ	ร้อยละของปริมาณวิตามินตาม Thai RDI		
		ไทอะมีน	ไรโบฟลาวิน	ไนอะซิน
2	1 ต่อ 100	7.8	2.29	-
3	1 ต่อ 85	9.53	3.06	-
4	1 ต่อ 70	13.87	3.06	85.73

หมายเหตุ เครื่องหมาย – หมายถึง ไม่สามารถคำนวณได้

ดังนั้นข้าวเสริมวิตามินหุงสุกของสิ่งทดลองที่ 4 สามารถใช้คำว่าเสริมไทอะมีนและไนอะซินได้เนื่องจากมีปริมาณไทอะมีนและไนอะซินมากกว่าร้อยละ 10 ของ Thai RDI

ปริมาณไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน (มิลลิกรัม) ที่ได้รับของข้าวหอมมะลิ และข้าวเสริมวิตามินหุงสุกเมื่อบริโภค 3 มื้อ ใน 1 วัน แสดงดังตารางผนวก ข3

ตารางผนวกที่ ข 3 ปริมาณไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน (มิลลิกรัม) ที่ได้รับของข้าวหอมมะลิและข้าวเสริมวิตามินหุงสุกเมื่อบริโภค 3 มื้อ ใน 1 วัน

อัตราส่วนผสม ระหว่าง ข้าวพรีมิกซ์ต่อ ข้าวสารปกติ	ปริมาณวิตามิน (มิลลิกรัม) ที่ได้รับเมื่อบริโภค 3 มื้อ ใน 1 วัน					
	ไทอะมีน		ไรโบฟลาวิน		ไนอะซิน	
	ปริมาณ (มิลลิกรัม)	% Thai RDI (1.5 มิลลิกรัม)	ปริมาณ (มิลลิกรัม)	% Thai RDI (1.7 มิลลิกรัม)	ปริมาณ (มิลลิกรัม)	% Thai RDI (20 มิลลิกรัม)
ข้าวสารหอมมะลิ	0.039	2.60	0.039	2.30	57.33	286.65
1 ต่อ 100	0.390	26.00	0.156	9.18	47.151	235.75
1 ต่อ 85	0.468	31.20	0.195	11.47	44.226	221.13
1 ต่อ 70	0.663	44.20	0.195	11.47	108.771	543.86

ภาคผนวก ค

แบบสอบถาม

ภาคผนวก ค1 แบบสอบถามการทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถามวิธี Hedonic Scaling Test

ชื่อผลิตภัณฑ์ ข้าวเสริมวิตามินสูง

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา และประเมินตัวอย่างตามความรู้สึกของท่านและกรุณา
บ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2 = ไม่ชอบมาก

3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
กลิ่นรส				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบรวม				

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก ก2 แบบสอบถามการยอมรับและความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน

แบบสอบถาม

วิธี Central Location Test

เรื่อง การทดสอบการยอมรับและความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง: แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน หุงสุก เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นางสาวลลิตา ชาตียนนท์ นิสิตปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ส่วน (21 ข้อ) และข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมา จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่าน ขอขอบพระคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

คำอธิบาย: ข้าวเสริมวิตามิน เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำข้าวสารหอมมะลิมาเคลือบด้วยวิตามิน 3 ชนิด คือ ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน แล้วเคลือบด้วยเพคตินซึ่งใช้เป็นสารเคลือบที่รับประทานได้ เมื่อนำมารับประทานจะทำการผสมกับข้าวสารหอมมะลิในอัตราส่วนที่เหมาะสม และสามารถชားข้าวก่อนนำไปหุงสุกได้ตามปกติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตข้าวเสริมวิตามินเพื่อทดแทนสารอาหารที่สูญเสียไปในระหว่างการแปรรูปข้าวเปลือก การล้าง และหุงสุก

คำแนะนำ: ผู้ทดสอบกรุณาพิจารณาตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุกและข้าวเสริมวิตามิน หุงสุก แล้วตอบคำถามในแบบสอบถาม

แบบสอบถาม

วิธี Home Use Test

เรื่อง การทดสอบการยอมรับและความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง: แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามิน หุงสุก เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นางสาวลลิตา ชาตียนนท์ นิสิตปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ส่วน (21 ข้อ) และข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมา จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่าน ขอขอบพระคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

คำอธิบาย: ข้าวเสริมวิตามิน เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำข้าวสารหอมมะลิมาเคลือบด้วยวิตามิน 3 ชนิด คือ ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน แล้วเคลือบด้วยเพคตินซึ่งใช้เป็นสารเคลือบที่รับประทานได้ เมื่อนำมารับประทานจะทำการผสมกับข้าวสารหอมมะลิในอัตราส่วนที่เหมาะสม และสามารถชားข้าวก่อนนำไปหุงสุกได้ตามปกติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตข้าวเสริมวิตามินเพื่อทดแทนสารอาหารที่สูญเสียไปในระหว่างการแปรรูปข้าวเปลือก การล้าง และหุงสุก

คำแนะนำ:

1. ผู้ทดสอบกรุณาพิจารณาตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินก่อนนำไปหุงสุก แล้วตอบคำถามในแบบสอบถาม
2. ผู้ทดสอบกรุณาเตรียมข้าวเสริมวิตามินหุงสุก โดยนำตัวอย่างข้าวเสริมวิตามินมาล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง (อัตราส่วนของข้าว 1 ส่วน ต่อน้ำล้าง 3 ส่วน) แล้วเทน้ำทิ้ง จากนั้นนำไปหุงสุกในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (อัตราส่วนข้าว 1 ส่วนต่อน้ำสำหรับหุง 1.25 ส่วน) และรับประทานขณะยังร้อน

คำแนะนำ กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน หน้าคำตอบตามความเป็นจริง และตรงตามความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ

1. หญิง 2. ชาย

2. อายุ

1. ต่ำกว่า 20 ปี 2. 21-30 ปี
 3. 31-40 ปี 4. 41-50 ปี
 5. 51-60 ปี 6. 60 ปี ขึ้นไป

3. การศึกษา

1. ประถมศึกษา 2. มัธยมศึกษาตอนต้น
 3. มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. 4. อนุปริญญาตรี/ปวส./ปวท.
 5. ปริญญาตรี 6. สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

1. นิสิต/นักศึกษา 2. ข้าราชการ/ลูกจ้าง/พนักงานรัฐ
 3. พนักงานบริษัท/องค์กรต่างๆ 4. ธุรกิจส่วนตัว
 5. แม่บ้าน 6. อื่นๆ (โปรดระบุ)

5. จำนวนสมาชิกในครัวเรือน

1. 1-2 คน 2. 3-4 คน
 3. 5-6 คน 4. มากกว่า 6 คน

6. รายได้ต่อเดือนของทั้งครัวเรือน

1. ไม่เกิน 5,000 บาท 2. 5,001-10,000 บาท
 3. 10,001-15,000 บาท 4. 15,001-20,000 บาท
 5. 20,001-30,000 บาท 6. 30,001 บาทขึ้นไป

ส่วนที่ 2: พฤติกรรมการซื้อและการบริโภคข้าว

7. ใครเป็นผู้ซื้อข้าวสารเพื่อบริโภคในครัวเรือน
1. ตนเอง (ตอบข้อ 8) 2. คนในครัวเรือน (ข้ามไปตอบข้อ 10)
8. ปริมาณในการซื้อข้าวสารต่อครั้ง
1. 1-2 กิโลกรัม 2. 3-5 กิโลกรัม
3. 6-10 กิโลกรัม 4. มากกว่า 10 กิโลกรัม
9. ความถี่ในการซื้อข้าวสาร
1. ทุก 1 สัปดาห์ หรือน้อยกว่า 2. ทุก 2 สัปดาห์
3. ทุก 1 เดือน 4. น้อยกว่าเดือนละ 1 ครั้ง
10. ปกติท่านรับประทานข้าวประเภทใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
1. ข้าวขาว 2. ข้าวกล้อง (ข้าวซ้อมมือ)
3. ข้าวแดง (ข้าวมันญี่ปุ่น) 4. ข้าวเสริมวิตามิน
5. ข้าวเหนียว 5. อื่น ๆ (โปรดระบุ)
11. ปกติท่านรับประทานข้าววันละกี่มื้อ
1. 1 มื้อ 2. 2 มื้อ
3. 3 มื้อ 4. มากกว่า 3 มื้อ
12. ในครัวเรือนของท่านมีการล้างข้าว (ซาวข้าว) ก่อนนำไปหุงสุกหรือไม่
1. ล้าง 2. ไม่ล้าง
13. ท่านคิดว่าข้าวขาวมีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอที่ร่างกายต้องการหรือไม่
1. เพียงพอ 2. ไม่เพียงพอ
14. ท่านคิดว่าข้าวขาวควรมีการเสริมสารอาหาร (วิตามิน) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการหรือไม่ เพราะเหตุใด
1. ควร เพราะ
2. ไม่ควร เพราะ
15. ท่านเคยรับรู้เกี่ยวกับข้าวเสริมวิตามินมาก่อนหรือไม่
1. เคย (ตอบข้อ 16) 2. ไม่เคย (ข้ามไปตอบข้อ 17)
16. ท่านคิดว่าข้าวเสริมวิตามินจำเป็นต้องมีการล้างก่อนนำไปหุงสุกหรือไม่ เพราะเหตุใด
1. จำเป็น เพราะ
2. ไม่จำเป็น เพราะ

17. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวสารในครัวเรือนของท่าน

กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่องตามระดับความสำคัญ

มากที่สุด = 5

มาก = 4

ปานกลาง = 3

น้อย = 2

น้อยที่สุด = 1

ปัจจัย	ระดับความสำคัญ				
	5	4	3	2	1
ประเภทของข้าว (เช่น ข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวแดง)					
พันธุ์ข้าว (เช่น หอมมะลิ เสาไห้)					
คุณค่าทางโภชนาการ					
ลักษณะของข้าว					
สีของข้าว					
ตราสินค้าของผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย					
รูปแบบการบรรจุหีบห่อ					
ปริมาณการบรรจุ					
ราคา					
สถานที่จำหน่าย					
การส่งเสริมการขาย (เช่น ลดราคา ของแถม)					
การรับรองคุณภาพจากหน่วยงานราชการ					

ส่วนที่ 3: การยอมรับของผู้บริโภคต่อ “ข้าวเสริมวิตามิน”

18. กรุณาพิจารณา “ข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุก” และ ซิม “ข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุก” แล้วได้คะแนนความชอบตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 9 = ชอบมากที่สุด)

คำแนะนำ รับประทานข้าวเสริมวิตามินหุงสุกขณะยังร้อน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ
<u>ก่อนหุงสุก</u>	
ลักษณะปรากฏข้าวเสริมวิตามินก่อนหุงสุก
สี
ความชอบรวม
<u>หลังหุงสุก</u>	
ลักษณะปรากฏข้าวเสริมวิตามินหลังหุงสุก
สี
กลิ่น
กลิ่นรส
ความนุ่ม
ความเหนียว
ความชอบรวม

19. จากที่ท่านได้ทดสอบชิมข้าวเสริมวิตามินหุงสุกแล้ว ท่านยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้หรือไม่

1. ยอมรับ 2. ไม่ยอมรับ

20. หากมีผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมวิตามินออกวางจำหน่ายในท้องตลาด ท่านจะซื้อหรือแนะนำให้คนในครัวเรือนของท่านซื้อมารับประทานหรือไม่

1. ซื้อ เพราะ
2. ไม่แน่ใจ เพราะ
3. ไม่ซื้อ เพราะ

21. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงข้าวเสริมวิตามิน

.....
.....
.....

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง
ผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล ผู้ตอบแบบสอบถาม
สถานที่ติดต่อ.....
โทรศัพท์.....

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวลลิตา ชาติยานนท์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	4 มีนาคม 2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (พ.ศ. 2544)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการ โครงการทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2548