สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาคุณภาพและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด

Quality development and technology transfer on the production of germinated brown rice coated with some potential Thai herbs

โดย

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
นางสาวธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวอุดมลักษณ์ สุขอัตตะ	ผู้ร่วมวิจัย
นางศศิธร มั่นเจริญ	ผู้ร่วมวิจัย

ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก
ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553
จากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

AO 0084642
2 ธ.ค. 2555
301319
เริ่มบริการ
30 พ.ค. 2555
อภินันทนาการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) สำหรับการสนับสนุนทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานรากปีงบประมาณ 2553 ขอขอบคุณอนุกรรมการ กลุ่มงานวิจัยและนวัตกรรม เครือข่ายอุดมศึกษาภาคตะวันออกที่ให้โอกาสได้ทำงานวิจัยเพื่อชุมชน และขอขอบคุณคณะทำงานของงานส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพาสำหรับการประสานงานต่างๆ นอกจากนี้ขอขอบคุณในความร่วมมือสำหรับผู้เกี่ยวข้องทุกท่านในการทดสอบผู้บริโภคและการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ชุมชน

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาคุณภาพและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด โดยแบ่งการศึกษาเป็น 5 ตอน **ตอนที่ 1 ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก** โดยหากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวงอก เพื่อให้ได้ปริมาณ gamma-aminobutyric acid (GABA) สูง โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแช่น้ำอย่างเดียว และวิธีการแช่น้ำร่วมกับการใช้ก๊าซไนโตรเจน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอกเพื่อให้ได้ปริมาณ GABA สูงที่สุด คือ สภาวะการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุในสภาวะการใช้ก๊าซไนโตรเจน วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณ GABA เท่ากับ 81.19 mg/100g มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต เถ้า และใยอาหาร เท่ากับ 16.44, 8.34, 3.83, 67.18, 0.48% และ 2.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การลดปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอก ทำได้โดยนำข้าวกล้องที่ได้มาผ่านไอน้ำ 20 นาที แช่เอทานอล 3 นาที และต้มเป็นเวลา 10 นาที **ตอนที่ 2 ศึกษาการเคลือบข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด** โดยนำสารสกัดสมุนไพรมาผสมกับสารเคลือบแล้วนำไปเคลือบข้าวกล้องงอกโดยการแช่ ใช้สารสกัดจากสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชัน และดอกคำฝอย ซึ่งได้จากการสกัดสารสมุนไพรด้วยน้ำร้อน และใช้สารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายเพคตินและสารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล จากการศึกษาผลของชนิดสมุนไพร และชนิดสารเคลือบต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร พบว่าปัจจัยทั้ง2 มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ค่าสี (L* a* และb*) รวมทั้งคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้าน กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) ซึ่งข้าวกล้องงอกที่ใช้สมุนไพรดอกคำฝอย ร่วมกับสารเคลือบจากเพคติน มีแนวโน้มของค่าดังกล่าวสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ใช้สารเคลือบสมุนไพรชนิดอื่น และข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังหุงสุก ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบมาก **ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา** เมื่อนำข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้งหมดมาเก็บรักษาโดยบรรจุในถุง Nylon LDPE ปิดผนึกในสภาวะสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) นาน 4 สัปดาห์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของค่าสมบัติการเป็น

สารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า Water activity ค่าปริมาณความชื้น ค่าสี (L* a* และb*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และตรวจไม่พบยีสต์และราในข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลอง **ตอนที่ 4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้** จากการทดสอบผู้บริโภคจำนวน 100 คน ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรคือดอกคำฝอยที่ผ่านการหุงสุกแล้ว ในทุกด้านคือ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง ถึงชอบมาก และหากมีผลิตภัณฑ์นี้ออกวางจำหน่าย ผู้บริโภคคิดว่าจะซื้อมาบริโภค ร้อยละ 61 ไม่แน่ใจร้อยละ 37 และไม่ซื้อร้อยละ 2 **ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน** คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน ในวันเสาร์ที่ 30 เมษายน 2554 ณ ที่ทำการชุมชน ตำบลมาบไผ่ อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี มีผู้เข้าร่วมการอบรมจำนวนรวม 35 คน ซึ่งเป็นผู้ประกอบการแปรรูปข้าว ชุมชนผู้ปลูกข้าว และผู้สนใจ โดยได้จัดทำเอกสารประกอบการอบรม และให้การอบรมเชิงปฏิบัติการในด้านการผลิตข้าวกล้องงอก การสกัดสารสมุนไพร การเตรียมเคลือบสารสมุนไพร และการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร รวมทั้งให้ความรู้ในการแปรรูปอาหารให้ได้คุณภาพมาตรฐาน จากการประเมินผลการอบรมเชิงปฏิบัติการพบว่า ผู้เข้าร่วมการอบรมมีความพึงพอใจด้านวันที่จัดโครงการ และระยะเวลาในการจัดโครงการอยู่ในระดับพอใจปานกลางถึงพอใจมาก ด้านการบรรยายของวิทยากร เนื้อหาในการบรรยาย เอกสาร/สื่อที่ใช้ประกอบการบรรยาย และความพร้อมของวัสดุ/อุปกรณ์ในการสาธิต อยู่ในระดับพอใจมาก ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมอบรมมีความพึงพอใจในการได้รับประโยชน์โดยรวมระดับพอใจปานกลาง

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	3
3	วิธีการดำเนินการทดลอง	33
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	43
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	110
	รายการอ้างอิง	112
	ภาคผนวก	120

บทที่ 1

บทนำ

คนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก และข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย มีผู้วิจัยพยายามหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าข้าวหลายวิธี ได้แก่ มีรายงานว่าข้าวกล้องงอกมีgamma amino butyric acid, GABA ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกายในด้านการบำรุงสมองและด้านอื่นๆ (นิลวรรณ เพชรบูระฉินและคณะ, 2548) มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวโดยการเคลือบข้าวด้วยวิตามินชนิดต่างๆ เสริมแคลเซียมและธาตุเหล็ก (Flores et al., 1994; Gershoff, 1997) ข้าวเคลือบกลิ่นหอมจากใบเตยและวานิลลา (Laohakunjit and Kerdchoechuen, 2007) การเคลือบข้าวด้วยสารให้กลิ่นรสจากสมุนไพร ได้แก่ ขิง ตะไคร้ กระเพรา และมะกรูด (กฤษฎา งามทับ, 2550) สมุนไพรไทยได้รับความสนใจจากผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากมีสาระสำคัญที่มีสรรพคุณทางยา มีสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันมะเร็ง จึงมีการนำสมุนไพรไทยมาผลิตเป็นอาหารเสริมกันมาก นอกจากนี้ยังหาได้ง่าย ราคาถูก โดยเฉพาะพื้นที่ในภาคตะวันออกปัจจุบันมีการส่งเสริมการขยายพันธุ์และปลูกสมุนไพรมาก จากการส่งเสริมหลักของสวนสมุนไพรสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดระยอง จึงถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สมุนไพร เพิ่มทางเลือกให้ผู้บริโภค ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทันสมัย สอดคล้องกับความนิยมและต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวโดยใช้สมุนไพรไทยจึงเป็นแนวทางที่น่าจะมีศักยภาพด้านการตลาดและการจัดหาวัตถุดิบที่น่าสนใจอย่างมาก

เพื่อเป็นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจฐานราก ยกระดับและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นให้ดีขึ้นตามความต้องการของชุมชน โดยยึดปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง การพัฒนาที่สมดุลและยั่งยืน การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์การอาหารมาใช้ให้เกิดการพัฒนาอย่างเหมาะสม จึงคิดที่จะพัฒนาคุณภาพและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด ทั้งนี้ทำได้โดยไม่ใช้เทคโนโลยียุ่งยากซับซ้อนราคาแพง ใช้วัตถุดิบข้าวสารมาทำเป็นข้าวกล้องงอกและเคลือบด้วยสมุนไพรไทยในท้องถิ่น ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชันและดอกคำฝอย ผลงานวิจัยจากโครงงานวิจัยนี้จะได้กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีคุณภาพตามมาตรฐานการผลิตอาหาร และสามารถเก็บรักษาได้นาน รวมถึงทราบคุณภาพ องค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ หรือ สมบัติที่เป็นประโยชน์อื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกที่ตอบสนองความต้องการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คณะผู้วิจัยสามารถนำไปถ่ายทอดสู่ชุมชนเพื่อให้ชุมชนนำไปขยายผลสู่การจำหน่าย

ในเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ได้ใช้เทคโนโลยีซับซ้อน ชั้นสูง หรือต้องการการลงทุนเพิ่มเติมมาก ทำให้ชุมชนสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมาตรฐาน สร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ให้ชุมชน และสามารถสร้างเป็นอาชีพเสริมหรืออาชีพหลักให้กับชุมชนได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก
2) เพื่อศึกษาการเคลือบข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด
3) เพื่อการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา
4) เพื่อการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรที่พัฒนาได้
5) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยการการพัฒนาคุณภาพและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิดมีขอบเขตโครงการวิจัย ดังนี้คือ การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวงอกจากข้าวหอมมะลิแดงเพื่อให้ได้ปริมาณ gamma-aminobutyric acid (GABA) สูง โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแช่น้ำอย่างเดียว และวิธีการแช่น้ำร่วมกับการใช้ก๊าซไนโตรเจน แล้วนำข้าวกล้องงอกมาศึกษาการเคลือบด้วยสมุนไพรบางชนิด ได้แก่ สารสมุนไพรจากใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชันและดอกคำฝอย โดยการใช้สารเคลือบชนิดต่างๆ เคลือบโดยวิธีแช่ แล้วเลือกข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรแต่ละชนิดที่มีคุณภาพดีมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรที่พัฒนาได้ ดำเนินการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ โดยแจกแบบสอบถาม จำนวน 100 คน และนำข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรที่พัฒนาได้บรรจุในถุงแบบสุญญากาศ ติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. ข้าวหอมมะลิแดง

ข้าวหอมมะลิแดง เป็นข้าวหอมที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง ทำให้ได้ประโยชน์จากรงควัตถุพวกแอนโธไซยานิน ซึ่งแอนโธไซยานินเป็นสารประกอบไกลโคไซด์หรือเอซิลไกลโคไซด์ จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบได้ทั่วไป รวมถึงในธัญพืชชนิดต่างๆ ที่มีสีแดงถึงดำ โดยพบอยู่บริเวณเยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp) และเยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone layer) ของเมล็ดข้าว เช่น ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และ พีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ (Abdel-Aal and Hucl 1999; Hu *et al.*, 2003) ลักษณะสีที่ปรากฏ ความเข้มของสีของเมล็ดข้าวแตกต่างกันออกไป เช่น สีเหลือง น้ำตาล แดง ม่วง และดำ ซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบ ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว รวมถึงความแตกต่างของสายพันธุ์ การเพาะปลูก ความอ่อนแก่ และระยะเวลาการงอก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อปริมาณของรงควัตถุนี้ (Adom and Liu, 2002)

ข้าวหอมมะลิแดง เป็นข้าวเจ้าที่เรารู้จักในชื่อของ "ข้าวมันปู" เมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลแดง ผู้บริโภคไม่ค่อยนิยมรับประทาน อาจเนื่องมาจากสีของข้าวที่หุงแล้วไม่สวยเหมือนข้าวเจ้าขัดขาว อย่างไรก็ตามจะมีกลิ่นหอมเมื่อหุงสุก และเนื้อข้าวนุ่ม ข้าวหอมมะลิแดงมีประโยชน์มากกว่าข้าวขัดขาว มีกากใยอาหารสูง มีไขมันในปริมาณที่มากกว่าข้าวขัดสีประมาณ 1 เท่า มีสารที่เรียกว่าแคโรทีน ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอในร่างกาย นอกจากนี้ยังมีธาตุเหล็กมากกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ซึ่งช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง (เดชา ศิริภัทร, 2551)

2. ข้าวกล้องหอมมะลิแดง

มีการกล่าวว่าการบริโภคข้าวหอมมะลิแดงที่เป็นข้าวกล้อง มีประโยชน์สองต่อ คือ ประโยชน์จากข้าวหอมมะลิแดง และประโยชน์จากจมูกข้าวและรำข้าวที่ยังอยู่ครบถ้วน และถ้าเป็นข้าวที่ผลิตจากกระบวนการอินทรีย์ ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมีสังเคราะห์ทางการเกษตร จะมีประโยชน์หลายต่อ กล่าวคือ มีผลดีต่อสุขภาพ ที่ไม่ต้องรับเอาสารพิษเข้าสู่ร่างกาย การช่วยรักษาและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมจากสารพิษตกค้างและปนเปื้อนอันเกิดจากสารเคมี ช่วยส่งเสริม และอุดหนุนเกษตรรายย่อยที่หันมาปรับเปลี่ยนวิธีทำการเกษตรแบบอินทรีย์ รวมถึงการสร้างลักษณะนิสัยการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (ดวงจงกล สุทธิเนียม, 2550)

ข้าวกล้องหอมมะลิแดง มีเมล็ดข้าวกล้องเรียวยาวเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงเข้มดังภาพที่ 1 มีสารอาหารจำพวกแป้ง ไขมัน(ไม่อิ่มตัว) ไม่มีคลอเรสเตอรอล โปรตีน ช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึก

หรอของร่างกาย ฟอสฟอรัส ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน แคลเซียมช่วยลดอาการเป็นตะคริว วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคปากนกกระจอก ทองแดงช่วยในการสร้างเม็ดเลือด ใยอาหารป้องกันอาการท้องผูก มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีธาตุเหล็กสูงช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง จากการทดสอบพบว่า ข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่หุงสุกแล้ว จะมีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคสในช่วงเวลา 20 นาทีแรกค่อนข้างช้า คือ 10.60 กรัม / 100 กรัม และปริมาณกลูโคสหลังจากย่อยผ่านไป 120 นาที มีค่าเพียง 8.59 กรัม / 100 กรัม แสดงให้เห็นว่าข้าวหอมมะลิแดงน่าจะเป็นข้าวที่มีดัชนีน้ำตาลที่เหมาะแก่การส่งเสริมให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานรับประทาน เพราะเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วร่างกายจะมีปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้นช้ากว่าข้าวทั่วไป (พิมพ์อร ศีตคุนรัตน์, 2552)

ภาพที่ 2-1 ลักษณะข้าวกล้องหอมมะลิแดง
ที่มา : สถาบันชุมชนเกษตรยั่งยืน ภายใต้มูลนิธิพัฒนาศักยภาพชุมชน (2536)

3. ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice)

ข้าวกล้องงอก คือ ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 30 – 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน ในระหว่างกระบวนการงอก จะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่าง ๆ เช่น แกมมาออริซานอล (gamma-orazynol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และโดยเฉพาะสารแกมมา - อะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid) หรือที่รู้จักกันดีในชื่อว่า สารกาบา (GABA) กระบวนการงอกควรควบคุมให้ดำเนินไปใน

ระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เพื่อหยุดการสูญเสียของสารอาหาร โดยทั่วไปแล้วเมื่อปล่อยให้เมล็ดมีการงอกประมาณ 0.5 – 1 มิลลิเมตร คาดว่าจะมีปริมาณสารอาหารสะสมอยู่ในเมล็ดมากที่สุด ข้าวกล้องงอกสามารถนำไปหุงต้มได้ด้วยกรรมวิธีเหมือนกับข้าวขัดสีปกติ เนื่องจากเปลือกชั้นนอกถูกย่อยให้อ่อนตัวลง ลักษณะของข้าวกล้องงอกแสดงดังภาพที่ 2 ทั้งนี้ข้าวกล้องงอกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด เช่น ซุปข้าวกล้องงอก ขนมปังข้าวกล้องงอก โดนัทข้าวกล้องงอก เบอร์เกอร์ข้าวกล้องงอก (Shoichi et al., 2004)

ภาพที่ 2-2 ข้าวกล้องที่ผ่านการงอก
ที่มา : ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี (2551)

สารกาบา (GABA) เป็นกรดอะมิโนที่เกิดจากกระบวนการ decaboxylation ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) จากส่วนจมูกข้าว สารกาบามีความสำคัญในการทำหน้าที่เป็น สารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในประสาทส่วนกลาง และยังทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองเมื่อถูกกระตุ้น ช่วยให้สมองผ่อนคลาย และนอนหลับสบาย ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมไร้ท่อ (anterior pituitary gland) ที่ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนช่วยในการเจริญเติบโต (HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อทำให้กล้ามเนื้อกระชับ และสร้างสาร lipotropic ป้องกันการสะสมไขมันประเภท LDL ในกระแสเลือด สารกาบายังมีผลกระตุ้นฮอร์โมน ทำให้ระดับฮอร์โมนสม่ำเสมอ ช่วยชะลอความแก่ และยังขับเอนไซม์ขจัดสารพิษออกจากร่างกาย ควบคุมระดับน้ำตาลและพลาสมาโคเลสเตอรอลในกระแสเลือด ทำให้ระบบเลือดหมุนเวียนดี ลดความดันโลหิตลง กระตุ้นการขับถ่ายน้ำดีสู่ลำไส้เล็กเพื่อสลายไขมัน ป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ และช่วยให้สมองขับสารเอนโดรฟินออกมา การที่ร่างกายได้รับสารกาบาจากเมล็ดข้าวงอก จะช่วยป้องกันการเป็นโรคสมองเสื่อม หรืออัลไซเมอร์

โรควิตกกังวล โรคนอนไม่หลับ โรคลมชัก โรคความดันโลหิตสูง เบาหวาน และมะเร็งลำไส้ใหญ่ (บุษยา รัตนสุภา, 2551) ซึ่งปริมาณสารกาบาที่พบในข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณมากกว่าในข้าวกล้องที่ไม่ได้งอกแสดงดังตารางที่ 1 และในข้าวกล้องงอกยังมีสารอาหารชนิดต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายของผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบปริมาณ สาร GABA ของข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกในพันธุ์ข้าวต่างๆ

พันธ์ข้าว	ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้อง (mg/100 g)	ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอก (mg/100 g)	ปริมาณสาร GABA % เพิ่มขึ้น
ข้าวหอมมะลิ 105	45.20	95.60	111.50
ข้าวหอมมะลิแดง	59.27	82.13	38.56
ข้าวหอมนิล	73.13	116.00	58.62

ที่มา : สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (2552)

ตารางที่ 2-2 คุณประโยชน์ของสารอาหารที่พบในข้าวกล้องงอก

สารอาหาร	คุณประโยชน์
กาบา (GABA)	รักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทต่างๆ เช่น โรควิตกกังวล โรค นอนไม่หลับ โรคลมชัก นอกจากนี้สาร GABA ยังควบคุมระดับฮอร์โมนให้มีความสม่ำเสมอ ช่วยชะลอความแก่ ขจัดสารพิษออกจากร่างกายควบคุมระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด ทำให้เลือดไหลหมุนเวียนสะดวก และลดความดันโลหิต กระตุ้นการขับถ่ายน้ำดีสู่ลำไส้เพื่อสลายไขมัน ป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ และช่วยขับสารแห่งความสุข
เส้นใยอาหาร (Food fiber)	บรรเทาท้องผูก ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
อิโนซิทอล (Inositols)	กระตุ้นการเผาผลาญไขมัน ป้องกันไขมันพอกตับ ป้องกันภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง
Ferulic acid	มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการสร้างเม็ดสีเมลานิน
กรดไฟติก (Phytic acid)	มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ ป้องกันการจับกลุ่มของเกร็ดเลือด
วิตามินอี (Vitamin E)	มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ
แมกนีเซียม (Magnesium)	ป้องกันโรคเกี่ยวกับหัวใจ
โปแตสเซียม (Potassium)	ลดความดันโลหิต
สังกะสี (Zinc)	กระตุ้นการทำงานของระบบสืบพันธุ์ ป้องกันภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง
g-Oryzanol	มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันผิวเหี่ยว ควบคุมระดับโคเลสเตอรอล
Prolylendopeptidase inhibitor	ป้องกันโรคอัลไซเมอร์

ที่มา : Kayahara *et al.*, 2000

4. ผลิตภัณฑ์ข้าวเคลือบและเทคนิคในการเคลือบข้าว

ข้าวที่ผ่านการขัดสีหรือข้าวสาร(polished หรือmilled rice) มีคุณค่าทางโภชนาการน้อย ถึงแม้ว่าข้าวสารโดยเฉพาะข้าวขาวดอกมะลิเป็นที่นิยมบริโภคกันมากเนื่องจากมีกลิ่นหอม แต่ทั้งกลิ่นคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีลดลงในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคได้คำนึงถึงสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารโดยการเคลือบด้วยวิตามิน เกลือแร่ และสารปรุงแต่งกลิ่นรสหรือสารให้ความหอม(flavor) หลังการผ่านการขัดสีข้าวจึงเป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งวิธีการนี้ได้มีการพัฒนาในหลายประเทศ(Juliano,1993) ข้าวเคลือบด้วยสารปรุงแต่งกลิ่นรส (encapsulated flavoring materials) เช่น วานิลลา เป็นต้น เป็นที่รู้จักในหลายประเทศในช่วยการหุงต้มสารเคลือบหลอมละลายและปลดปล่อยสารปรุงแต่งกลิ่นรสออกมา แต่วิธีการแบบดั้งเดิมนี้ให้ผลไม่ดีเท่าที่ควรจึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการหรืออาจต้องใช้ในรูปอื่นๆ นอกจากนี้สัดส่วนของข้าวต่อปริมาณสารเคลือบมีความสำคัญเช่นกัน (Nibler and Roseman,1970)

แนวทางการเพิ่มคุณค่าข้าวในท้องตลาดโดยทั่วไปมีสองวิธีการคือ powder และ grain มีวิธีการดังนี้

1) วิธี powder ทำโดยการนำเอาของผสมวิตามินบีในรูปของแป้งมาผสมก่อนประกอบด้วยไทอะมีน ไรโบเฟลวิน ไนอะซีน หรือไนซีนาไมด์(nicinamide) และของผสมธาตุเหล็กได้แก่ ferric orthophosphate-white iron, ferric sulfate yellow iron สำหรับ ferric orthophosphate ควรเพิ่มลงในข้าวด้วยเพราะไม่ละลายน้ำและให้สีขาวด้วย (Hoffpauer,1992) สำหรับการทำข้าวนึ่งการเติมของผสมจำพวกวิตามินทำหลังจากการขัดสีด้วยการใช้ความร้อนให้ได้ความร้อนและความชื้นที่เหมาะสมเพื่อทำให้ของผสมวิตามินที่เติมเกาะติดกับเมล็ดข้าวได้ โดยทั่วไปข้าวมีความชื้น(moisture content) ประมาณร้อยละ 13 แต่ในการเคลือบทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มความชื้นที่ผิวหน้าของข้าว เพื่อให้ติดกับสารเคลือบ (Nibler และ Roseman,1970) วิธีการทำได้โดยการผสมข้าวกับสารเคลือบ ซึ่งมีลักษณะแห้ง วิธีการนี้ไม่มีผลทำให้ข้าวเกิดเจล (gelatinization) ในระหว่างกระบวนการผลิตทั้งระหว่างการให้ความชื้น (moistening) และการผสม (mixing) ทำให้สารเคลือบเกาะติดที่ผิวหน้าของข้าวที่เปียกชื้นที่อุณหภูมิปกติ หลังจากนั้นข้าวเคลือบที่ได้นำไปทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ วิธีการแบบ powder เป็นวิธีที่มีราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ แต่มีข้อเสียคือสูญเสียแร่ธาตุได้ง่าย เมื่อนำมาซาวน้ำก่อนการหุง เป็นปริมาณร้อยละ 20-100 ต่อสารผสมที่เติม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ และเวลาที่ใช้ในการหุง (Hoffpauer, 1992)

2) วิธี grain หรือที่เรียกกันในวงการอุตสาหกรรมคือ วิธี premix เป็นวิธีการที่นิยมใช้มากกว่าวิธีการอื่นๆ ทำโดยการเติมวิตามินและแร่ธาตุลงบนข้าวแล้วมักเคลือบด้วยสารที่ไม่ละลาย

น้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่า การทำข้าวพรีมิกซ์ได้ใช้เทคนิคการเคลือบการเคลือบสารอาหารลงบนผิวเมล็ดข้าวและเคลือบสารป้องกันการสูญเสียสารอาหารลงไปบนเมล็ดข้าวที่เสริมสารอาหารแล้วอีกครั้ง จากนั้นนำข้าวพรีมิกซ์ผสมกับข้าวขาวปกติในอัตราส่วนที่ทำให้ได้ได้ปริมาณสารอาหารที่ต้องการ ดังนั้นวิตามินและแร่ธาตุหรือสารเคลือบลงบนเมล็ดข้าวจะไม่สูญเสียไปเมื่อนำมาซาวน้ำ ทำให้วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่สามารถรักษาคุณค่าของสารอาหารที่เติมลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีนี้ส่วนมากนำเอาข้าวส่วนที่เพิ่มสารอาหารแล้วมาผสมเข้ากับข้าวที่ไม่ได้เพิ่มเพื่อทำให้ได้สินค้าที่มีปริมาณของสารอาหารในระดับที่ต้องการ และโดยทั่วไปมักผสมปริมาณข้าวเพิ่มสารอาหารต่อข้าวไม่ได้เพิ่ม เท่ากับ 1 ต่อ 200 เทคนิคการเคลือบข้าวด้วยวิธีนี้รวบรวมได้ดังนี้

2.1) Fciger Method วิธีนี้จะผสมเมล็ดข้าวสารกับสารละลายของไทอามีน ไนอะซิน และเกลือแร่ที่ละลายน้ำได้ดี จากนั้นนำไปทำแห้งแล้วเคลือบด้วยสารคอลลอยด์ (colloid) ที่เกิดเป็นเยื่อแผ่นบาง ได้เพื่อป้องกันการสูญเสียสารอาหารจากการล้างข้าวก่อนการหุงต้ม ซึ่งฟิล์มนี้จะสลายตัวด้วยความร้อนขณะหุง ข้าวที่ได้จะมีความเข้มข้นของวิตามินและเกลือแร่สูง ดังนั้นจึงนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 100 ข้าวเสริมวิตามินที่ได้จากวิธีการนี้เมื่อล้างข้าวจะสูญเสีย ไทอะมีน และไนอาซินร้อยละ 13.5 และ 14.1 ตามลำดับ (Grist,1975)

2.2) Hoffman-La Roche process วิธีนี้ได้มีการทดลองที่เมือง Bataan ประเทศฟิลิปินส์ ในปีค.ศ. 1948-1950 ซึ่งข้าวเสริมวิตามินที่ผลิตโดยวิธีนี้ช่วยลดการเสียชีวิตด้วยโรคเหน็บชา (beri-beri) ลงได้มาก (Brooh,1972) โดยนำข้าวสารใส่ถังรูปทรงกระบอกที่วางตามแนวนอน ปล่อยให้ถังหมุนช้าๆ จากนั้นพ่นส่วนผสมของสารละลายกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) กับไทอะมีน และ ไนอาซิน ลงบนผิวของเมล็ดข้าวสาร ใช้ลมร้อนเป่าให้ข้าวแห้ง จากนั้นเคลือบสารป้องกันการสูญเสียวิตามินที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำเย็นแต่ละลายน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งประกอบด้วย สารละลายเอทานอล (ethanol) หรือไอโซโพรพานอล (isopropanol)ของซีน กรดไขมันคือ กรดปาล์มิติค (plamitic acid) กรดสเตียริค (stearic acid) และกรดไบอีติค (abietic acid)ลงไปครึ่งหนึ่งก่อน เมื่อทำแห้งแล้วเติมส่วนผสมของเฟอร์ริกโรฟอสเฟตกับทาล์ค (talc)เพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวเกาะรวมกัน จากนั้นเคลือบสารป้องกันที่เหลืออยู่อีกชั้นหนึ่งแล้วทำแห้งด้วยลมร้อน ข้าวพรีมิกซ์ที่ผลิตได้นี้จะนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 199 จะได้ข้าวเสริมวิตามินที่มีไทอะมีน ไนอะซิน และ เหล็กปริมาณ 2 16 และ 13 มิลลิกรัมต่อข้าว 454 กรัม ตามลำดับ (Misuki and Yasumatsu,1985)

2.3) Merck premix process เป็นวิธีคิดค้นโดยบริษัท Merck ซึ่งกระทรวงกลาโหมของแห่งสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ว่าจ้างการผลิตข้าวเสริมวิตามินนี้ให้แก่กองทัพของจีน ในปีค.ศ. 1985 โดยมีกระบวนการผลิตคือ นำข้าวสารใส่รูปถังทรงกระบอกที่วางตามแนวนอน

ที่หมุนอย่างช้าๆจากนั้นพ่นด้วนสารละลายอะซิโตน (acetone) และน้ำซึ่งละลายไทอามีน ไนอะซินาไมด์ เฟอร์ริกออร์โทฟอสเฟต และเอทิลเซลลูโลส (ethylcellulose) จากนั้นใช้ลมเป่าให้ข้าวแห้ง แล้วเคลือบทับด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ของคอนเฟคชันเนอรี่ เชลแลค (shellac) และผงทาล์ค (Brooke,1972)

2.4) RCL process บริษัท สหกรณ์ผู้ปลูกข้าว (Ricegrowers CO-operative Limmited)ประเทศออสเตรเลีย ได้ปรับปรุงวิธี Hoffman-La Roche process ทำโดยละลายวิตามินในกรดเจือจาง และทำให้เกลือเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตกระจายตัวในสารละลายของวิตามินในกรด เคลือบบนผิวเมล็ดข้าวสารแล้วทำให้แห้ง วิธีนี้ขั้นตอนการผลิตง่าย คือมีเพียง 4 ขั้นตอน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Hoffman-La Roche process ซึ่งมีถึง 13 ขั้นตอน ผลิตได้เร็วกว่าและใช้สารเคมีน้อยกว่า ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้หลายเท่า วิธี RCL process จะกระจายสารเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟตในสารละลายกรดเจือจางก่อน แล้วจึงฉีดพ่นลงบนข้าวในถังผสม เพื่อให้ได้กรดเปลี่ยนเป็นสตาร์ชที่ผิวเป็นน้ำตาลซูโครสบนผิวเมล็ดข้าวในช่วงเวลาที่เหมาะสม และดูดซับสารอาหารเข้าไปในเมล็ดข้าวและจับยึดเหล็กเอาไว้ภายในชั้นของน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยของกรด วิธีHoffman-La Roche process และ Merck premix process จำเป็นต้องใช้สารพวกกัม (gum)หรือเรซิน(resin) เพื่อยึดเกลือเฟอร์ริกไพโรฟอสเฟต เมื่อนำข้าวพรีมิกซ์ไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 จะมีปริมาณสารอาหาร คือ ไทอะมีน 3.5 มิลลิกรัม ไนอะซิน 50 มิลลิกรัม และเหล็ก 20 มิลลิกรัม ต่อกรัม

2.5) Soaking method เป็นวิธีการแช่ข้าวแบบญี่ปุ่น ชาวญี่ปุ่นได้ผลิตข้าวเสริมวิตามินวิธีดั้งเดิมโดยแช่เมล็ดข้าวสารในสารละลายกรดอะซิติก (acetic acid) เข้มข้นร้อยละ 1 กับไทอะมีนไฮโดรคอลไรด์ไว้นานระยะหนึ่ง รินน้ำทิ้งไปแล้วนำข้าวมานึ่งเพื่อให้ข้าวเกิดเจลาติไนซ์บางส่วน แล้วทำให้แห้งเพื่อให้สูญเสียวิตามินจากการล้างและหุงต้มน้อยที่สุด เมล็ดข้าวพรีมิกซ์ที่ได้จะนำไปผสมกับข้าวสารปกติ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 ก็จะได้ข้าวเสริมวิตามิน (Brooke,1972)

2.6) Microencapsulate method การเคลือบโดยวิธีนี้ มีหลายกระบวนการด้วยกัน โดยกระบวนการเคลือบกลิ่นสารเติมแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) และสารอาหารต่างๆ ที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตอาหารหรือยาเพื่อให้ติดตามทนทาน ได้แก่ การ wrapping , coating, dipping และ spraying โดยใช้เครื่องเช่น coating reel, spouted bed, centrifugal เป็นต้น (Ramos *et al.*, 1988; Gennadios and Weller,1990) กระบวนการเคลือบโดยใช้สเปาเต็ดเบดเป็นการใช้ลมเป่าให้วัตถุดิบลอยตัวจากทางด้านล่างของเบด และพ่นสารที่ต้องการเคลือบให้ผ่านหัวฉีด(nozzle) ในขณะที่วัตถุดิบกำลังลอยตัวและเป่าให้แห้งด้วยลมร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทำแห้ง พร้อมกับ

การเคลือบในเวลาเดียวกัน ซึ่งรวมทั้งกลิ่นยังเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งของการผลิตอาหารเพื่อช่วยให้ผู้บริโภคเกิดการยอมรับผลิตภัณฑ์ทางอาหาร แต่เนื่องมาจากการเก็บรักษากลิ่นของการผลิตอาหารในคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ทางอาหารนั้น โดยทั่วไปแล้วมีข้อจำกัด คือ สารที่สามารถให้กลิ่นเหล่านี้มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำ ซึ่งเป็นผลเชื่อมโยงทำให้สารเหล่านี้เสื่อมสลายไปได้ง่าย และเป็นองค์ประกอบที่ไม่คงทน เมื่อถูกความร้อนหรือแสงแดดก็สามารถระเหยได้ง่าย (Gouin, 2004) ดังนั้นในวงการอุตสาหกรรมทางด้านการผลิตอาหารจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำวิธี encapsulation มาใช้ในการเก็บและรักษากลิ่นและสารต่างๆให้คงทน เพื่อให้องค์ประกอบของสารที่สามารถให้กลิ่นและคุณค่าทางอาหารได้นั้นมีความคงทนอยู่ภายในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ทำได้โดยการเคลือบหรือปกคลุมสารประกอบที่ให้กลิ่นและคุณค่าได้ ด้วยสารอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติที่เหนียวและคงตัวรวมทั้งมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าสารที่สามารถให้กลิ่นได้ โดยมีหลักการ control release (Pothakamury และ Barbosa-Canovas, 1995) วิธีการ encapsulation นั้นมีหลากหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมได้แก่ วิธี encapsulation โดยใช้ spray drying ซึ่งทำให้โดยการใช้ความร้อนใน drying chamber ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของๆผสมระหว่างสารให้กลิ่นและสารที่นำมาปกคลุม (emulsion) ซึ่งเป็นของเหลวในตอนแรก ให้เป็นของแข็งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด โดยผลิตภัณฑ์ลักษณะผงที่ได้นั้น ทางอุตสาหกรรมในการผลิตอาหารสามารถนำไปใช้การให้กลิ่นรสต่อไป

5. ชนิดของสารเคลือบ

สารที่นิยมนำมาใช้เคลือบได้แก่ ลิพิด โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสารเคลือบผสม (Murray *et al.*, 1971; Kester and Fennema,1986; Gennadios et al.,1990) แต่ในโครงงานวิจัยนี้ได้ใช้สารเคลือบประเภทคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ เพคติน และแป้งมันสำปะหลัง

สารเคลือบประเภทคาร์โบไฮเดรตที่นิยมใช้ ได้แก่ แป้ง และอนุพันธ์ อัลจีเนต (alginates) อนุพันธ์ของเซลลูโลสคาราจีแนน ยางที่ได้จากพืชและจุลินทรีย์ ไคโตซาน และ เพคติน (pectin) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็น hydrophilic และมีโมเลกุลที่เป็นสายยาว สามารถละลายน้ำได้ดี ทำให้โครงสร้างฟิล์มเหนียวข้น และมีคุณสมบัติที่ดีอีกหลายประการ ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความกรอบ (crispness) ความแน่น (compactness) ความข้น (thickening) ความหนืด (viscosity) ความเหนียว (adhesiveness) ความสารถอยู่ในรูปของเจล (gel-forming ability) และให้ความรู้สึกเมื่อเข้าปาก (mouthfeel) และประการสำคัญ คือ เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำ หาได้ง่าย และไม่เป็นพิษ (Nisperos-Carriedo,1994) อีกทั้งฟิล์มที่ได้ยังมีคุณสมบัติในการลดการแพร่ผ่านของออกซิเจน และสามารถเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากฟิล์มคาร์โบไฮเดรตละลายน้ำ จึงช่วยลดอัตรา

การหายใจ เหมาะสำหรับเคลือบผักและผลไม้ ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น ลักษณะของฟิล์มชนิดนี้มีความหนืดและผิวเรียบมัน สีของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ฟิล์มชนิดนี้มีคุณสมบัติในการป้องกันจุลินทรีย์ และสามารถป้องกันปฏิกิริยาแอนติออกซิแดนท์ อีกทั้งสามารถลดการเน่าเสียและเพิ่มคุณภาพของผลผลิต หรือเติมสารปรุงแต่งเพื่อช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพและช่วยในการขนส่งรวมทั้งเพิ่มคุณภาพของอาหารและเพิ่มความมันวาวของผิวหน้าผลิตภัณฑ์ (Nussinovitch and Meytal,1998) แต่ฟิล์มคาร์โบไฮเดรตมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถป้องกันความชื้น เนื่องจากโครงสร้างที่เป็น hydrophilic compound อย่างไรก็ตามถ้าใช้ในรูปของเจล (gel)ที่ยังไม่ทำแห้ง ฟิล์มนี้สามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ เช่น ในผลิตภัณฑ์และ soft white-brined cheeses ซึ่งสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ในระยะเวลาสั้นๆ เจลนี้มีหน้าที่คล้ายเป็นสารป้องกันการเคลื่อนที่ของความชื้น (Kester and Fennema,1986; Kampf, 1997; 2000)

5.1 เพคติน

เพคตินเป็นพอลิแซคคาร์ไรด์ (polysaccharide) ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช (Nisperos-Carriedo,1994) ตามปกติมักพบบริเวณเปลือกของพืชตระกูลส้มและแอปเปิ้ล (Sanderson,1981) โครงสร้างของเพคตินส่วนใหญ่ประกอบด้วยสายโซ่ galacturonic acid ต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 และมีการแทนที่ (degree of esterification; DE) ด้วยกลุ่ม methyl ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติการละลาย และการเกิดเจลเพคตินที่มี DE สูงกว่าร้อยละ 50 เป็น high-methoxyl pectins และ DE ต่ำกว่าร้อยละ 50 เป็นlow-methoxyl pectins (Sanderson, 1981; Kester และ Fennema,1986) เช่นเดียวกับ cellulose polymer ซึ่งมีสายโซ่ที่ยาว และมีผลต่อการละลายความหนืด เมื่อนำมาใช้เป็นฟิล์มเคลือบให้ความมันวาว ผิวหน้าไม่เหนียวติด และ low-methoxyl pectins สามารถเชื่อมพันธะกับแคลเซียมไอออน (calciumions) เพื่อให้เกิดเป็นเจล (Kester และ Fennema, 1986) สารเคลือบที่ใช้เพคตินเป็นวัตถุดิบมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูง เนื่องจากเป็นhydrophilic (Schultz และคณะ,1948) การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มชนิดนี้ทำโดยการเติมพาราฟิน หรือขี้ผึ้งลงไป

5.2 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังได้มาจากส่วนหัวหรือส่วนรากของมันสำปะหลัง ซึ่งประกอบด้วยสตาร์ชที่เป็นโฮโมพอลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช ภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยโพลีเมอร์กลูโคซิดิกสองชนิดผสมกัน คือ อะไมโลสซึ่งเป็นโพลีเมอร์สายยาวของ α-(1→ 4) กลูโคซิดิก และอะไมโลเพคติน ซึ่งเป็นส่ายแขนงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ต่อกันด้วยพันธะ α-(1 → 4) กลูโคซิดิกเป็นสายตรงและมีพันธะ α- (1→ 6) กลูโคซิดิกเป็นสายแขนง อะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่องค์ประกอบในสตาร์ชแต่ละชนิด โดยแตกต่างกันที่น้ำหนัก

โมเลกุล degree of polymerization ของแต่ละสาย ตำแหน่งที่อยู่ในเมล็ดสตาร์ช และสัดส่วนของอะไมโลส ต่ออะไมโลเพคติน ดังนั้นสมบัติของสตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน (นิธิยา รัตนาปนนท์ , 2539) อะไมโลสเป็นโพลีเมอร์เส้นตรง และมีคุณลักษณะที่สามารถทำเป็นฟิล์มได้ในตัวเอง (self supporting film) แป้งที่มีอะไมโลสสูง สามารถเกิดแผ่นฟิล์มบางที่ยืดหยุ่นและแข็งได้ ทั้งยังมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี มักใช้ทำเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหาร ส่วนแป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงนำไปผลิตฟิล์มได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นจึงต้อมีการแยกส่วน (fractionation) อะไมโลสตาร์ชเพื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มและสารเคลือบ ลักษณะของฟิล์มอะไมโลสนี้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและรส ไม่มีพิษ แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้สูงและยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ในการละลายอะไมโลส เพื่อผลิตเป็นฟิล์มต้องใช้อุณหภูมิสูงภายใต้ความดันบรรยากาศ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งมันสำปะหลังไม่มีกลิ่น และรส (odorless) ทำให้สามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมการแต่งสี แต่งกลิ่นได้อย่างดี เช่น อุตสาหกรรมการผลิตขนม อาหาร เพราะความสะดวกสบายในการผลิตผสมกลิ่นและรสลงไปได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องกำจัดกลิ่นและรสของแป้งออกไปก่อน แป้งมันสำปะหลัง(ร้อยละ 1) มีค่าประมาณร้อยละ40-70 เมื่อทำการวัดเทียบกับ standard ด้วยเครื่อง light transmittance ที่มีความยาวคลื่นแสง 650 นาโนเมตร ฉะนั้นแป้งมันสำปะหลังจึงมีความใส และเหมาะสมสำหรับการใช้ในด้านการใส่สีผสมลงในอาหาร แป้งมันสำปะหลังมีความเหนียว (stickiness) เนื่องด้วยคุณลักษณะของแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีอัตราส่วนของ อะไมโลเพคติน มีส่วนสำคัญที่ทำให้น้ำแป้งมีความเหนียว และแป้งมันสำปะหลังยังมี peak viscosity สูงที่มาก ทั้งในทางตรงข้ามยังมีการ retrogradation น้อยด้วย ซึ่งทำให้เจลแป้งที่ได้มีคุณสมบัติ freeze thaw-stability ที่ดีมาก สำหรับในแป้งมันสำปะหลังมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่เป็นเจล มีความใส ให้ความหนืดสูง เนื้อสัมผัสยาว มีความต้านทานต่อแรงเสียดสีต่ำ และอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำ (ปนัดดา พวงเกษม,2540)

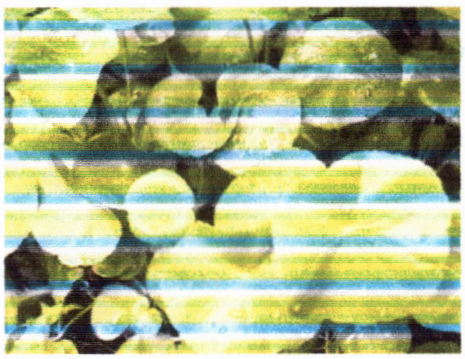
6. สมุนไพรที่ใช้ในการเคลือบข้าว

สมุนไพร หมายถึงยาที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ ซึ่งยังมิได้ผสมหรือแปรสภาพ เช่น พืชก็ยังคงเป็นส่วนต่างๆ ของพื้นนั้นๆ เช่น ราก ลำต้น ดอก ใบ ผล เป็นต้น เป็นการนำเอาส่วนต่างๆ ของพืชนั้นมาใช้ประโยชน์ ทั้งทางด้านคุณค่าทางอาหาร และคุณค่าทางยา ควบคู่กันไปสมุนไพรจึงเป็นพืชที่มีสรรพคุณในการรักษาโรค หรืออาการเจ็บป่วยต่าง ๆ จึงมีคุณลักษณะที่มีความเฉพาะ ทั้งกลิ่น คุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี รวมทั้งสรรพคุณ และประโยชน์ต่างๆทางยามากมาย ซึ่งเป็น

เอกลักษณ์เฉพาะของสมุนไพรไทย (คมสัน หุตะแพทย์, 2543) สำหรับสมุนไพรที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเคลือบข้าวกล้องงอกในโครงงานวิจัยนี้ ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชัน และดอกคำฝอย ซึ่งเป็นสมุนไพรที่หาได้ภายในประเทศไทย มีรายละเอียดดังนี้

6.1 ใบบัวบก (มยุรี ตันติสิระ, 2550)

ใบบัวบกมีชื่อพื้นบ้านว่า ผักหนอก (ภาคเหนือและภาคอิสาน) ผักแว่น (ภาคใต้) ตามที่เรียกกันในแต่ละท้องถิ่น ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Centelia asiatica (Linn) Urban* สำหรับการขยายพันธุ์ของใบบัวบก โดยเมล็ดและไหล่ปักชำ ตัดแยกไหล่ที่มีต้นอ่อน และมีรากออก เป็นพืชขึ้นง่าย ปลูกได้ตลอดทั้งปี ใบบัวบก เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็กที่ขึ้นบนดิน แต่มีลักษณะใบคล้ายใบบัวแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2-3 ใบบัวบก
ที่มา: อุดมการ อินทุใส และปาริชาติ ทะนานแก้ว (2549)

โดยทั่วไปเป็นที่รู้จักกันดีว่าน้ำใบบัวบกช่วยแก้ช้ำใน และยังมีสรรพคุณอื่นๆอีกมากมาย ในใบบัวบกประกอบด้วยสาระสำคัญหลายๆอย่างด้วยกัน เช่น ไตรเตอพีนอยด์ (อะซิเอติโคไซ) บราโมโซ บรามิโนโซ มาดิแคสโซไซ (เป็นไกลโคไซด์ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ) กรดมาดิแคสซิค ไทอะมิน(วิตามินบี 1) ไรโบฟลาวิน (วิตามินบี 2) ไพริดอกซิน (วิตามินบี6) วิตามินเค กลูตาเมต ซีริน ทรีโอนีน อลานีน ไลซีน ฮีสทีดิน แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม

สารไตรเตอพีนอยด์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างคอลลาเจน การเปรียบเสมือนร่างแหที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างหลักของเซลล์ในส่วนต่างๆของร่างกาย และยังเป็นผนังที่ห่อหุ้มล้อมรอบหลอดเลือดอีกด้วย ดังนั้นใบบัวบกจึงสามารถลดความดันเลือดได้เนื่องจากจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่เส้นเลือด ใบบัวบกจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้เป็นเบาหวานเพราะจะช่วยเพิ่มการไหลเวียนผ่านเส้นเลือดฝอย การแลกเปลี่ยนออกซิเจนจึงช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดการบวม เส้นประสาทเสื่อม เหน็บชา แขนขาอ่อนแรง นอกจากนี้ใบบัวบกทำให้ผิวหนังเต่งตึงและมีความยืดหยุ่นขึ้น ตลอดจนช่วยป้องกันการเกิดแผล เนื่องจากใบบัวบกจะควบคุมไม่ให้เกิดการ

สร้างคอลลาเจนบริเวณแผลมากจนเกินไป ดังนั้นจึงนิยมนำใบบัวบกไปใช้ในการรักษาแผลต่างๆ อาทิ เช่น แผลผ่าตัด การปลูกถ่ายผิวหนัง แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก แผลเรื้อรัง หรือแม้แต่แผลจากโรคเรื้อน (สุวิมล โต่นวุธ, 2553)

จากการศึกษาผลของการใช้ใบบัวบกเพื่อรักษาโรคเรื้อน และวัณโรคที่ผิวหนังพบว่าสารอะซิเอโคไซ ในใบบัวบกสามารถทำลายสารเคลือบผิวที่หุ้มแบคทีเรีย (ปกติภูมิคุ้มกันไม่สามารถทำลายสารเคลือบผิวตัวนี้ได้) ทำให้ภูมิคุ้มกันเข้าไปจัดการกับเชื้อแบคทีเรียได้โดยตรง ใบบัวบกจะช่วยลดขนาดของเส้นเลือดขอด เนื่องจากใบบัวบกจะทำให้คอลลาเจนที่หุ้มรอบเส้นเลือดดำยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้การไหลเวียนผ่านเส้นเลือดดำไปได้สะดวกมากขึ้น

การรับประทานใบบัวบก ไม่ว่าจะเป็นการรับประทานสด เป็นผักจิ้มน้ำพริก หรือคั้นน้ำจะช่วยให้ผ่อนคลายจากความกังวลและความเครียดได้ เนื่องจากในใบบัวบกประกอบด้วยวิตามินบี1 บี2 และบี 6 ในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังทำให้ร่างกายหลั่ง GABA (gamma-aminobutyric acid) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทชนิดหนึ่งในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษายังพบว่า การรับประทานใบบัวบกยังช่วยกำจัดสารพิษซึ่งสะสมในสมองและระบบประสาท ตลอดจนช่วยกำจัดสารพิษตกค้างในร่างกายประเภทโลหะหนักและยาต่างๆได้เป็นอย่างดี จากอดีตที่ผ่านมีการใช้ใบบัวบกเพื่อรักษาความผิดปกติที่ตับและไต เช่นตับอักเสบ โรคตับที่เกิดจากการดื่มสุรา ข้ออักเสบ รูมาไทติส รำมะนาด (เหงือกอักเสบ) และจากการค้นพบเมื่อไม่นานมานี้พบว่าในใบบัวบกยังมีสารที่เป็นฤทธิ์ต้านมะเร็งลำไส้ใหญ่อีกด้วย

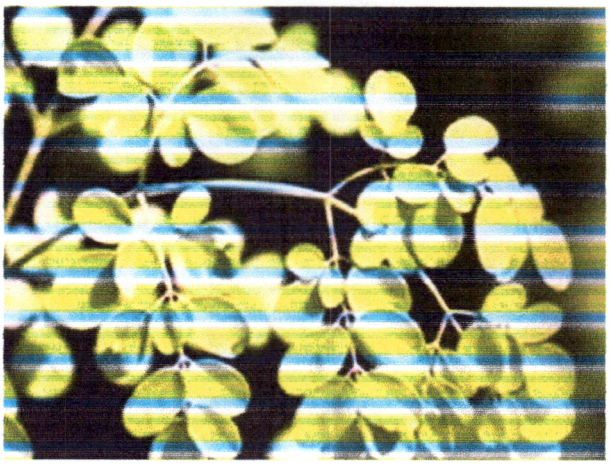
จากการทดสอบการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากใบบัวบก ต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ในหนูขาว พบว่า สารสกัดจากใบบัวบกมีฤทธิ์ป้องกัน และยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้อย่างดี โดยกลุ่มหนูขาวที่ถูกกระตุ้นให้เป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ หลังจากการได้รับสารก่อมะเร็งปนเปื้อนในอาหารประเภทปิ้ง-ย่าง ตรวจพบจำนวนเซลล์ก่อมะเร็งขนาดใหญ่ และมีเซลล์มะเร็ง ที่มีลักษณะเป็นเซลล์ร้าย และลุกลาม ขณะที่กลุ่มหนูขาวซึ่งได้รับสารสกัดจากใบบัวบก ไม่ว่าก่อนหรือหลังถูกกระตุ้นให้เป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ พบจำนวนเซลล์ก่อมะเร็งลดลงถึง 60% โดยเซลล์มีขนาดเล็กกว่า และยังไม่เกิดการลุกลาม นอกจากนี้ยังพบด้วยว่า ในสารสกัดใบบัวบก มีสารสำคัญอย่างน้อยหนึ่งตัว คือ กรดอะเซียติก (Asiatic acid) ที่อาจเป็นสารออกฤทธิ์ทำให้เซลล์มะเร็งเกิดการทำลายตัวเอง

6.2 ใบมะรุม (ปฐม โสมวงศ์, 2552)

มะรุมเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางที่ถูกปลูกไว้ในบริเวณบ้านไทยมาแต่โบราณ ต้นมะรุมพบได้ทุกภาคในประเทศไทย ทางภาคเหนือเรียกว่า "ผักมะค้อนก้อม" ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียก "ผักอีฮุม หรือผักอีฮึม" ชาวกะเหรี่ยงแถบกาญจนบุรีเรียก "กาแน้งเดิง" ส่วนชานฉานแถบ

แม่ย่องสอนเรียก "ผักเนื้อไก่" เป็นต้น ใบมะรุมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Moringa oleifera Lam.* จัดอยู่ในวงศ์ Moringaceae. มะรุมเป็นพืชท้องถิ่นของประเทศอินเดีย ปากีสถาน บังกลาเทศ และแอฟกานิสถาน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการกระจายพันธุ์ไปสู่ประเทศฟิลิปปินส์ กัมพูชา ทวีปอเมริกา และหมู่เกาะคาริบเบียน ดังนั้น *Moringa oleifera* จึงมีชื่อท้องถิ่นหลากหลาย เช่น drumstick tree, horse radish tree, kelor tree, Shagara al Rauwaq (หมายถึง tree of purifying) และ Sohanjna

มะรุมจัดเป็นพืชที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก เพราะสามารถใช้เป็นอาหาร โดยส่วนใบดังภาพที่ 4 ผล (ฝัก) ดอก และ ผลอ่อนของมะรุมได้รับการจัดให้เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูงในหลายประเทศ โดยเฉพาะในประเทศอินเดีย ปากีสถาน ฟิลิปปินส์ ฮาวาย และอีกหลายประเทศในทวีปแอฟริกา มีรายงานว่าใบของมะรุมประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน โปรตีน วิตามินซี แคลเซียม และโปแตสเซียมปริมาณสูง ซึ่งจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่ดี จึงช่วยยืดอายุของอาหารที่มีไขมันปริมาณสูงได้เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระที่หลากหลาย ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ ฟีนอลลิก และแคโรทีนอยด์ ในประเทศฟิลิปปินส์ มะรุมถูกเรียกว่า mother's best friend เพราะสามารถช่วยกระตุ้นการสร้างน้ำนมในหญิงให้นมบุตรได้ และในบางครั้งก็อาจใช้สำหรับรักษาโลหิตจางด้วย นอกจากนี้ทุกส่วนของต้นมะรุมยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย เช่น ส่วนใบและกากเมล็ดที่เหลือจากการบีบน้ำมันนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ ใบนำมาทำปุ๋ยและก๊าซชีวภาพ เนื้อไม้ให้สีย้อมสีน้ำเงิน น้ำหวานจากเกสรดอกไม้นำมาทำน้ำผึ้ง เปลือกไม้ใช้ทำเชือก หรือเนื้อไม้ใช้ทำกระดาษ เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นมะรุมยังมีคุณสมบัติทางยาอีกมากมาย เช่น ต้านการอักเสบ ขับลม แก้ไข้ แก้เจ็บคอ ลดความดัน เป็นต้น เกือบทุกส่วนของมะรุม ได้แก่ ราก เปลือกต้น ยางไม้ ใบ ผล (ฝัก) ดอก เมล็ด และน้ำมันจากเมล็ด เคยใช้เป็นยาพื้นบ้านของทวีปเอเชียใต้ เช่น ใช้รักษาอาการอักเสบและติดเชื้อ โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบทางเดินอาหาร และความผิดปกติของตับและไต น้ำมันที่สกัดจากเมล็ด (ben oil) สามารถใช้ทำอาหาร รักษาโรคปวดตามข้อ โรคเก๊าท์ รักษาโรครูมาติซัม และรักษาโรคผิวหนัง แก้ผิวแห้ง ใช้แทนยารักษาผิวให้ชุ่มชื้น รักษาโรคอันเกิดจากเชื้อรา เนื้อในเมล็ดมะรุมใช้แก้ไอได้ดี การรับประทานเนื้อในเมล็ดเป็นประจำสามารถเพิ่มภูมิต้านทานให้ร่างกายได้ ใบช่วยแก้เลือดออกตามไรฟัน แก้อักเสบ ใบสดมีฤทธิ์เป็นยาระบายอ่อนๆ เป็นต้น



ภาพที่ 2-4 ใบมะรุม
ที่มา: นิตยสารหมอชาวบ้าน ปีที่ 29 ฉบับที่ 338 (2550)

ใบมะรุมมีคุณค่าทางอาหารสูง เหมาะสำหรับคนทุกเพศและวัย ในบางประเทศ เช่น เซเนกาลและเฮติ บุคลากรทางการสาธารณสุขจะใช้ผงของใบมะรุมตากแห้งในการรักษาภาวะทุพลภาพในเด็กเล็ก สตรีมีครรภ์ และให้นมบุตร ใบมะรุมทั้งรูปแบบดิบ ทำให้สุกแล้ว หรือตากแห้ง มีวิตามินและเกลือแร่ปริมาณสูงมาก Fuglie รายงานว่าผงใบแห้งขนาด 8 กรัม เพียงพอสำหรับเด็กอายุ 1-3 ปี เพราะมีโปรตีน (14%) แคลเซียม (40%) เหล็ก (23%) และวิตามินเอ ซึ่งเด็กต้องการในแต่ละวัน และใบขนาด 100 กรัม สามารถให้ปริมาณแคลเซียมถึงหนึ่งในสามที่ผู้หญิงต้องการในแต่วัน และยังให้ธาตุเหล็ก โปรตีน ทองแดง กำมะถัน และวิตามินบีด้วยแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2-3 คุณค่าทางโภชนาการของใบมะรุม 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณสารอาหารที่ได้รับ
พลังงาน	26 แคลอรี
โปรตีน	6.7 กรัม (2 เท่าของนม)
ไขมัน	0.1 กรัม
ใยอาหาร	4.8 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	3.7 กรัม
วิตามินเอ	6,780 ไมโครกรัม (3 เท่าของแครอท)
วิตามินซี	220 มิลลิกรัม (7 เท่าของส้ม)
แคโรทีน	110 ไมโครกรัม
แคลเซียม	440 มิลลิกรัม (เกิน 3 เท่าของนม)
ฟอสฟอรัส	110 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.18 มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	28 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	259 มิลลิกรัม (3 เท่าของกล้วย)

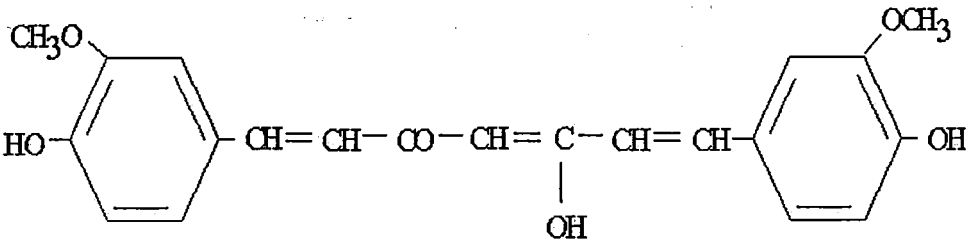
ที่มา : สุธาทิพ ภมรประวัติ (2550)

6.3 ขมิ้นชัน (ผุสดี สายชนะพันธ์, 2546)

ขมิ้นชัน เป็นสมุนไพรไทยมีตั้งแต่โบราณโดยทั่วไปแล้วเรียกว่า ขมิ้น ทางภาคใต้เรียกว่า หมิ้น ขมิ้นมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Curcuma longa Linn.*จัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae. ขมิ้นเป็นพืชล้มลุกที่มีเหง้าอยู่ใต้ดิน เนื้อในของเหง้าเป็นสีเหลืองดังภาพที่ 5 มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวใบรูปเรียวยาว ลักษณะดอกออกเป็นช่อ มีก้านช่อแทงออกมาจากเหง้าโดยตรง ดอกสีขาวอมเหลือง ขมิ้นชันมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินE 80 เท่า ปัจจุบันจึงนำมาใช้ในโรคที่คาดว่าจะเกิดจากอนุมูลอิสระ เช่น โรคมะเร็ง อัลไซเมอร์ โรคหัวใจและหลอดเลือด โดยเฉพาะโรคมะเร็งนั้น มีงานวิจัยที่ช่วยยืนยันผลของขมิ้นชันในการต้านการเจริญเติบโตของมะเร็งหลายชนิดทั้ง มะเร็งปอด มะเร็งลำไส้ใหญ่ มะเร็งปากมดลูก ขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

ภาพที่ 2-5 ขมิ้นชัน
ที่มา: อุดมการ อินทุใส และปาริชาติ ทะนานแก้ว (2549)

สรรพคุณ ในการบรรเทาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ และรักษาแผลในกระเพาะอาหาร ซึ่งการรักษาแผลในกระเพาะอาหารผู้ป่วยต้องได้รับขมิ้นชันติดต่อกันอย่างน้อย 4 สัปดาห์ เช่นเดียวกับยาแผนปัจจุบัน โดยขมิ้นชันมีน้ำมันหอมระเหยที่ช่วยลดแก๊สในทางเดินอาหาร ลดการหลั่งกรด เพิ่มการหลั่งของสารที่มาช่วยเคลือบทางเดินอาหาร ไม่ให้ถูกทำร้ายจากกรด มีฤทธิ์ช่วยขับน้ำดี ซึ่งน้ำดีมีความจำเป็นในกระบวนการย่อยของไขมัน แต่ในผู้ป่วยที่มีท่อน้ำดีอุดตันนั้นไม่ควรรับประทานขมิ้นชัน เพราะอาจจะทำให้น้ำดีซึ่งหลั่งออกมามากจากการรับประทานขมิ้นแล้วตกตะกอนในถุงน้ำดี อาจทำให้อุดตันมากยิ่งขึ้น ขมิ้นชันยังมีฤทธิ์ในการลดการอักเสบ โรคที่เกิดจากการอักเสบหลายชนิด เช่น โรคข้อเข่าเสื่อม โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ ก็ล้วนแล้วแต่มีประโยชน์จากการรับประทานขมิ้นชัน ขมิ้นชันยังมีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดปฏิกิริยาการแพ้ อีกทั้งปัจจุบันสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาอนุญาตให้ขมิ้นชันสามารถขึ้นทะเบียนเป็นยาสามัญประจำบ้านได้แล้ว สารสำคัญในขมิ้นชัน เหง้าขมิ้นชันมีสารประกอบสำคัญ เป็นน้ำมันหอมระเหย มีสารหลายชนิด คือ Tumerone, Zingiberene, Borneol เป็นต้น และในเหง้ายังมีสารสีเหลืองส้มที่ทำให้ขมิ้นมีสีที่เรียกว่าสารกลุ่ม curcuminoid ซึ่งมีโครงสร้างเป็นdiferuloylmethane และประกอบด้วยสารหลัก 3 ตัว คือ curcumin, demethoxycurcumi และ bisdemethoxycurcumin (ในบางครั้งเมื่อกล่าวถึง curcumin จะหมายถึงสาร 3 ตัวนี้รวมกัน) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 2-6 สูตรโครงสร้างของ curcumin
ที่มา: Muhammed *et al.*, 1992

พบว่าขมิ้นชันมีฤทธิ์ต้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหารโดยกระตุ้นการหลั่ง mucin มาเคลือบกระเพาะ มีฤทธิ์ลดการอักเสบ มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดกรดเนื่องจาก *Lactobacillus acidophilus* และ *L. plantarum* และมีฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้ จึงใช้ขมิ้นชันรักษาโรคแผลในกระเพาะอาหาร ในผัก ผลไม้ มีสาร antioxidant เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบตาแคโรทีน และ flavonoid ซึ่งเมื่อกินเป็นประจำจะทำให้ร่างกายแข็งแรงสามารถป้องกันโรคต่าง ๆ ที่มีสาเหตุจากการทำลายของอนุมูลอิสระ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจไขมันในเลือดสูง โรคไขข้ออักเสบ รูมาตอยด์ รวมทั้งการเสื่อมสภาพของร่างกาย ควรรับอาหารที่มี antioxidant หลาย ๆ ตัวรวมกันเพื่อช่วยเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน สาร curcuminoid ในขมิ้นชันเป็นสาร antioxidant ที่ดีมีฤทธิ์ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระและสามารถจับกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น

6.4 ดอกคำฝอย (ผกากรอง ขวัญข้าว, 2549)

ดอกคำฝอยมีชื่อเรียกที่แตกต่างกัน เช่น ดอกคำ คำยอง คำยุ่ง คำหยุม ดอกคำฝอยมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Carthamus tinctorius L.* ชื่อวงศ์ Compositae ดอกคำฝอย สามารถสามารถใช้เป็นสารให้สีเหลืองชื่อ แซฟฟลาเวอร์ เยลโลว์ (Saffower yellow) ซึ่งมีเบต้าแคโรทีน และวิตามินอี และมีสารสีแดงชื่อ คาร์เทมิน (Carthamin) ซาโพจินิน (Sapogenin)และ ซาโฟรมีนเอ (Safflomin A) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มักใช้ปลอมปนในหญ้าฝรั่น เนื่องจากมีสีและลักษณะที่คล้ายกันแต่มีราคาถูกกว่าหญ้าฝรั่น นิยมใช้แต่งสีอาหารที่ต้องการสีเหลืองส้ม(สมพร ภูติยานันต์.2551) ส่วนในเมล็ดคำฝอย มีน้ำมันชนิดไม่ระเหย (20–30%) ประกอบด้วยกรดไขมัน เช่น กรดไลโนเลอิก (75%) กรดเมอริสติก (myristic) ปาล์มมิติก (palmitic) และอื่นๆ ส่วนที่นำมาใช้ได้แก่ เมล็ด ดอก เกสร น้ำมันจากเกสร โดยมีสรรพคุณทางด้านสมุนไพรดังนี้ ดอกคำฝอยเป็นยาบำรุงโลหิต บำรุงประสาท แก้โรคผิวหนัง ลดไขมันในเส้นเลือด และช่วยป้องกันไขมันอุดตันในเส้นเลือดในเมล็ด

คำฝอย มีน้ำมันมาก สารในดอกคำฝอย พบว่าแก้อาการอักเสบ มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อบางตัวได้ ดอกคำฝอยใช้เป็นสีผสมอาหารได้ โดยกลีบดอกจะให้สีเหลืองส้มลักษณะของดอกคำฝอย แสดงดังภาพที่ 7

ภาพที่ 2-7 ดอกคำฝอย
ที่มา: ผกากรอง ขวัญข้าว (2549)

น้ำมันในเมล็ดของดอกคำฝอยมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ที่ชื่อว่า กรดไขมันไลโนเลอิค ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน และ กรดไขมันโอเลอิค ซึ่งเป็นไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่มีธาตุคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะคู่ จึงมีความคงตัวต่ำ หรือไม่ค่อยคงตัวเพราะพันธะคู่นี้สามารถแตกตัวเป็นพันธะเดี่ยวได้ แต่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด ซึ่งทั้งกรดโอเลอิคและไลโนเลอิคนั้นก็เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งคู่ ที่สามารถช่วยลดไขมันในเลือดได้ ทั้งนี้มีการศึกษาในหนูแล้วว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะกรดไลโนเลอิค จะช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลได้ ข้อดีอีกประการของน้ำมันดอกคำฝอยก็คือมี คุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ดังนั้นในต่างประเทศจึงมีการนำน้ำมันดอกคำฝอยมาใช้ในการทอดและประกอบอาหารต่างๆ ดอกคำฝอยมีสรรพคุณทางยามาก มีค่าดัชนีแอนติออกซิแดนซ์ 4.88 ประโยชน์กับร่างกายในฐานะปกป้องเซลล์จากร่างกายมิให้ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระให้กลายเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อเซลล์ร่างกาย และช่วยป้องกันหรือซ่อมแซมความเสียหายของเซลล์ร่างกายจากอนุมูลอิสระได้อีกด้วย

7. สารต้านอนุมูลอิสระ (โอภา วัชระคุปต์, 2549)

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งในสมุนไพรที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้แต่ละชนิดมีสารต้านอนุมูลอิสระทั้งชนิดที่เหมือนและแตกต่างกัน ใบบัวบกมีสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ ไตรเตอพีนอยด์ (อะซิเอติโคซัยด์) บราโมซัยด์บรามิโนซัยด์ มาดิแคสโซซัยด์ (ซึ่งเป็นไกลโคซัยด์ที่มีฤทธิ์ต้านการ

อักเสบ) ใบมะรุมมีสารสำคัญ ได้แก่ วิตามินเอ ธาตุเหล็ก วิตามินซี แคโรทีน เป็นต้น ขมิ้นชันมีสารสำคัญ ได้แก่ curcumin วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน เป็นต้น และดอกคำฝอยมีสารสำคัญ ได้แก่ กรดไขมันไลโนเลอิค และกรดไขมันโอเลอิค ซึ่งเป็นกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัว ทั้งนี้กล่าวได้ว่าสมุนไพรทุกชนิดมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารสำคัญ ที่มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มใหญ่ที่มีในพืช

กระบวนการออกซิเดชันมีได้หลายรูปแบบ เช่น กระบวนการออกซิเดชันที่ทำให้เหล็กกลายเป็นสนิม ทำให้แอปเปิ้ลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือทำให้น้ำมันพืชเหม็นหืน หรือกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดในร่างกาย เช่น การย่อยสลายโปรตีนและไขมันจากอาหารที่กินเข้าไป มลพิษทางอากาศ การหายใจ ควันบุหรี่ รังสียูวี ล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายของเราซึ่งสร้างความเสียหายต่อร่างกายได้ ในความเป็นจริงไม่มีสารประกอบสารใดที่สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ทั้งหมด แต่ละกลไกอาจต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันในการหยุดกระบวนการออกซิเดชัน กระบวนการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อร่างกาย เช่น เราใช้ออกซิเจนจากอากาศที่หายใจเข้าไปไปเผาผลาญอาหารที่ร่างกายได้รับให้ เป็นพลังงานสำหรับการทำงานของเซลล์ต่างๆ แต่ก็ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเป็นผลพลอยได้ อนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่สำคัญในร่างกาย เช่น ไขมัน โปรตีน ดีเอ็นเอ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลดังกล่าว ตัวอย่างเช่น เมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับแอลดีแอล (LDL : low - density lipoprotein) ซึ่งเป็นโคเลสเตอรอลตัวเลว ทำให้เกิดออกซิไดซ์แอลดีแอล (oxidized LDL) ซึ่งมีหลักฐานยืนยันว่า ออกซิไดซ์แอลดีแอล เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง ทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดและเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคหัวใจ

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายเนื่องจากมีมูลเหตุจากออกซิเจน จึงมีชื่อเรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า reactive oxygen species (ROS) อนุมูลอิสระที่สำคัญ ได้แก่

- ซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออน (superoxide anion) $O_2^{\cdot-}$
- ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide); H_2O_2
- ไฮดรอกซิลแรดดิเคิล (hydroxyl radical); $^{\cdot}OH$

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันหรือกำจัดอนุมูลอิสระได้จึงมีความสำคัญ มีงานวิจัยมากมายบ่งชี้ว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถลดความเสี่ยงต่อโรคโดยเฉพาะโรคเรื้อรังที่สัมพันธ์กับอาหาร เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคสมอง (เช่น อัลไซเมอร์) เป็นต้น รวมทั้งช่วยชะลอกระบวนการบางขั้นตอนที่ทำให้เกิดความแก่ โดยปกติร่างกายสามารถกำจัดอนุมูลอิสระก่อนที่มันจะทำอันตราย แต่ถ้ามีการสร้างอนุมูลอิสระเร็ว หรือมากเกินกว่าร่างกายจะกำจัดทันอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จะสร้างความเสียหายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ร่างกายมีระบบต่อต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ วิตามินที่ร่างกายได้รับ ที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (แหล่งกำเนิดของวิตามินเอ) วิตามินซี วิตามินอี และแร่ธาตุต่างๆ เช่น สังกะสี ซิลิเนียม และแมงกานีส โดยสารอาหารเหล่านี้ จะทำหน้าที่ร่วมกับเอ็นไซม์ในร่างกาย เพื่อป้องกันเซลล์ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระลดความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้ 2 ทาง คือ ลดการสร้างอนุมูลอิสระในร่างกาย และลดอันตรายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่พบในอาหารมีดังนี้

7.1 วิตามินอี (พวงพะยอม สังชม, 2544)

วิตามินอี เป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดๆ ในธรรมชาติมีวิตามินอีอยู่หลายชนิด ปัจจุบันแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ไทโคฟีรอล และโทโคไทรอินอล วิตามินอีจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กได้ต้องอาศัยเกลือน้ำดีและไขมันช่วยในการดูดซึม วิตามินอีในร่างกายมักพบสะสมตามกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมัน

บทบาทที่สำคัญของวิตามินอี คือ มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษามากมายแสดงให้เห็นว่า วิตามินอีช่วยป้องกันภาวะหัวใจล้มเหลว กระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกายให้ทำงานได้ดีขึ้น ยับยั้งการเจริญของเซลมะเร็ง ลดความเสียหายที่เกิดจากภาวะโรคเบาหวาน และยับยั้งการทำลายสมองซึ่งเกิดจากโรคอัลไซเมอร์

แหล่งของวิตามินอี ได้แก่ น้ำมันจากเมล็ดพืชต่างๆ เช่น เมล็ดข้าวโพด เมล็ดทานตะวัน ถั่วเหลือง ดอกคำฝอย และน้ำมันรำข้าว นอกจากนี้ยังพบในถั่วต่างๆ เนย เนื้อสัตว์ และผักที่มีสีเขียวปนเหลือง

7.2 วิตามินซี (นวลศรี รักอริยะธรรม, 2545)

วิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ ลักษณะเป็นผลึกสีขาวไม่มีกลิ่น มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) วิตามินซีมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) ของกรดอะมิโน และทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ของปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ในร่างกาย วิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีชนิดหนึ่ง ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายให้กำจัดเซลล์ที่ผิดปกติในร่างกาย วิตามินซียังช่วยลดปริมาณไนโตรซามีนซึ่งสารก่อเป็นมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร และยังเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มสารชีวเคมีที่สร้างคอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นโปรตีนส่วนหนึ่งของโครงสร้างกระดูกอ่อนมนุษย์ คอลลาเจนยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของผิวหนัง กล้ามเนื้อ และปอด วิตามินซีจะส่งเสริมการผลิตคอลลาเจนให้มากขึ้น ซึ่งคอลลาเจนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งได้ แหล่งของวิตามินซี ได้แก่ ผักและผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว

ผ.ว. 3714
ว5716ก
ค.3

301319

7.3 แคโรทีนอยด์ (อัญชนา เจนวิถีสุข, 2544)

แคโรทีนอยด์ เป็นสารสำคัญที่พบในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ของพืช มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง โดยทำหน้าที่ช่วยคลอโรฟิลล์ซึ่งอยู่ในคลอโรพลาสต์ในการดักรับพลังงานแสง ผักหรือผลไม้ที่ยังไม่สุกก็พบแคโรทีนอยด์แต่มีปริมาณน้อยกว่าผักหรือผลไม้ที่สุกแล้ว ในขณะที่ผักหรือผลไม้สุกแคโรทีนอยด์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นในโครโมพลาสต์ (chromoplast) เป็นปริมาณมาก เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์มีมากขึ้น สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์จำนวนมากซึ่งให้สีแดง ส้ม และเหลือง มีประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย เพราะในสารกลุ่มนี้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แคโรทีนอยด์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แคโรทีน และแซนโทฟิลล์

7.3.1 แคโรทีน ตัวอย่างของสารกลุ่มแคโรทีน เช่น แอลฟ่า–แคโรทีน เบต้า–แคโรทีน และแกมม่า–แคโรทีน โดยเฉพาะ เบต้า–แคโรทีน ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง เมื่อรับประทานอาหารที่มีเบต้า–แคโรทีน เบต้า-แคโรทีนจะผ่านไปตามผนังของทางเดินอาหาร และถูกเอนไซม์ย่อยเพื่อเปลี่ยนเป็นวิตามินเอก่อนที่จะถูกลำเลียงไปที่ตับ เบต้า–แคโรทีน 1 โมเลกุล จะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล

ข้อแตกต่างระหว่างวิตามินเอและเบต้า–แคโรทีน ต่อการต้านอนุมูลอิสระคือ วิตามินเอมีคุณสมบัติในการป้องกันกระบวนการส่งเสริมให้เกิดมะเร็งและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย ส่วนเบต้า–แคโรทีนมีคุณสมบัติลดอัตราการเกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ที่จะกลายเป็นเซลล์มะเร็ง

สารอีกตัวหนึ่งในกลุ่มแคโรทีน คือ ไลโคปีน (lycopene) เป็นสารสีแดงที่พบมากในมะเขือเทศ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันโรคหัวใจและโรคมะเร็ง

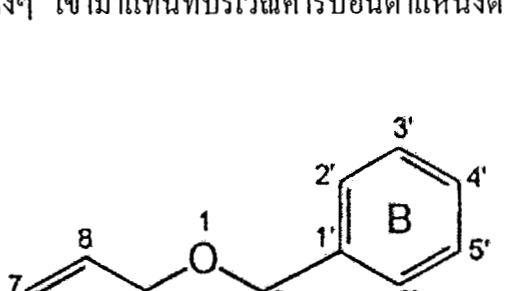
7.3.2 แซนโทฟิลล์ ตัวอย่างของสารในกลุ่มแซนโทฟิลล์ เช่น ลูทีน (lutein) ซีแซนทิน (zeaxanthin) และเบต้า–คริปโตแซนทิน (beta – cryptoxanthin) ซึ่งทั้งลูทีนและซีแซนทินพบว่าสามารถป้องกันความเสื่อมทางสายตา เป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ป้องกันเลนส์ตาจากการทำลายของอนุมูลอิสระที่ถูกกระตุ้นโดยแสงอุลตร้าไวโอเลต และสามารถยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ได้ด้วย สารในกลุ่มแซนโทฟิลล์พบมากในพริกหยวกสีแดง ผักที่มีสีเขียวเหลือง และผลไม้ที่มีสีส้ม แดง หรือเหลือง

7.4 สารประกอบฟีนอลิค (อธิยา เรืองจักเพ็ชร, 2550)

สารประกอบฟีนอลิค (phenolic compounds) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวน (aromatic ring) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เข้ามาแทนที่ ซึ่งอาจเข้ามาแทนที่ 1หมู่ หรือมากกว่า สารประกอบฟีนอลิคสามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้จากโครงสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ จำนวนคาร์บอน และหมู่ที่เข้ามาแทนที่ในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งมีการจำแนกชนิดของสารประกอบ

ฟีนอลิคแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด (Kris-Etherton *et al.*,2002) โดยจำแนกเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ กรดฟีนอลิค (phenolic acids), ลิกนิน (lignin), กรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์ (hydroxycinnamic acid andderiviatives) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิคแต่ละกลุ่มที่มีโครงสร้างและองค์ประกอบแตกต่างกัน จะพบได้ในผักหรือผลไม้ต่างชนิดกัน ซึ่งฟลาโวนอยด์เป็นสารกลุ่มใหญ่ที่พบได้ทั่วไปในพืชหลายชนิด มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดกลิ่น สี และรสชาติในพืชผักผลไม้ สารประกอบฟีนอลิคหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันไม่ให้ร่างกายได้รับความเสียหายจากอนุมูลอิสระ และยังทำงานร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ ในลำไส้ ตับ และปอด เพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์เนื้องอกก่อตัว

ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารกลุ่มหลักในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิคที่พบได้ทั่วไปในผักและผลไม้ และเป็นสารที่มีผู้นิยมศึกษามากที่สุดในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิค มีโครงสร้างหลักเป็นไดฟีนิลโพรเพน (diphenylpropane) ประกอบด้วยคาร์บอนทั้งหมด 15 อะตอม จัดเรียงตัวเป็นวงแหวน 3 วงเรียงต่อกัน (C6-C3-C6) ให้ชื่อว่า วงแหวน A วงแหวน B และวงแหวน C มีการเรียกชื่อตำแหน่งคาร์บอนตำแหน่งต่างๆ บนวงแหวนดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งสารแต่ละกลุ่มย่อยของฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างที่แตกต่างกันที่พันธะคู่บนวงแหวน A และวงแหวน B นอกจากนั้นยังมีความแตกต่างเมื่อมีหมู่ต่างๆ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group), หมู่เมทอกซิล (methoxyl group) หรือน้ำตาลชนิดต่างๆ เข้ามาแทนที่บริเวณคาร์บอนตำแหน่งต่างๆ บนวงแหวนอีกด้วย (Heim *et al.*, 2002)



ภาพที่ 2-8 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์

ที่มา: Pietta (2000)

เจนิสทีน (genistein) ก็เป็นสารประกอบฟีนอลิกประเภทไอโซฟลาโวน (isoflavone) ที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เจนิสทีนทำหน้าที่เปรียบเสมือนสิ่งกีดขวางที่สกัดกั้นไม่ให้เลือดไหลเวียนไปยังบริเวณที่มีเซลล์เนื้องอก ทำให้เซลล์นั้นไม่มีโอกาสเจริญหรือแพร่กระจาย เจนิสทีนพบมากในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เช่น เต้าหู้ นมถั่วเหลือง ซอสถั่วเหลือง เป็นต้น

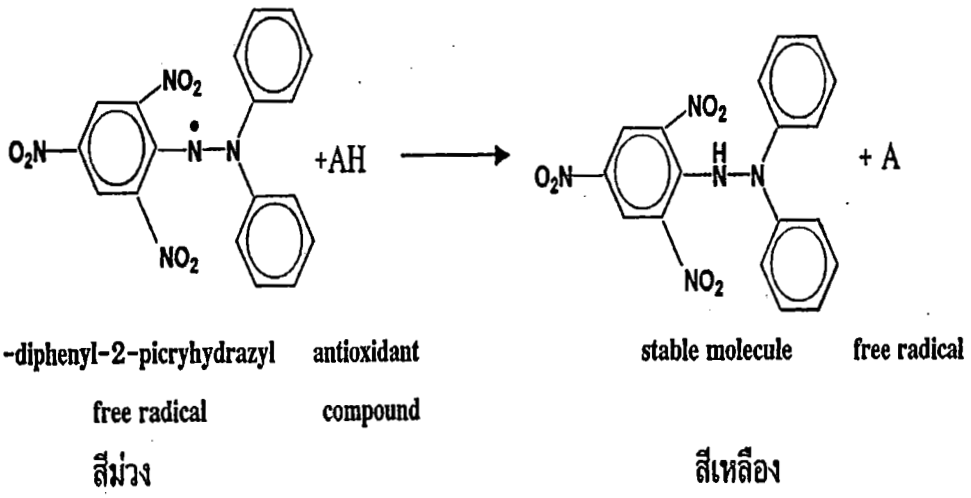
แทนนิน (tannin) และกรดเอลลาจิค (ellagic acid) ก็เป็นสารประกอบฟีนอลิคที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในพืช โดยเฉพาะเครื่องเทศและสมุนไพร หรือผลไม้ เช่น สตรอเบอรี่ เชอรี่ และองุ่น เป็นต้น อนุพันธ์ของกรดเอลลาจิคมีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นที่เซลล์เมมเบรน ยับยั้งการกลายพันธุ์ และการเกิดเนื้องอก

สำหรับสารประกอบฟีนอลิกประเภทกรดฟีนอลิกที่สำคัญ ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic) และกรดคาเฟอิค (caffeic acid) ซึ่งพบมากในชาและกาแฟ กรดแกลลิค (gallic acid) ซึ่งพบในผักพื้นบ้าน เช่น กระถิน ผักชีล้อม และสะระแหน่ และกรดซิแนพพิค (sinapic acid) ซึ่งพบในสมุนไพรหญ้าหวาน เป็นต้น

เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิคเป็นสารกลุ่มใหญ่ ยังมีอีกหลายชนิดที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เคอร์เซทิน (quercetin) รูทิน (rutin) ไอโซฟลาโวน (isoflavon) คูมาริน (coumarine) และแอนโธไซยานิน (anthocyanin) เป็นต้น (นวลศรี รักอริยะธรรม, 2545)

8. การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (เสาวลักษณ์ รุ่งแจ้ง, 2548)

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ 1,1-Diphenyl-2-picryhydrazyl (DPPH) radical ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรและสามารถรับอิเล็กตรอนได้อีก เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่น จะทำให้สารดังกล่าวหมดความเป็นอนุมูลอิสระดังโครงสร้างในภาพที่ 9



ภาพที่ 2-9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอนุมูลอิสระ เมื่อมีสารต้านอนุมูลอิสระในการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ดัดแปลงมาจาก Leong and Shui (2002) และ Zhang *et al.* (2006)

การศึกษาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระนี้เป็นการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งจะเกิดกลไกการต้านอนุมูลอิสระแบบ scavenging acitivity โดยใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ทดสอบสารละลาย DPPH ซึ่งมีสีม่วงเข้ม ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีม่วงลดลง เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงวัดที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร พบว่าความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ลดลงนี้จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ (Blois, 1958)

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบสารชนิดต่างๆ บนเมล็ดข้าว รวมถึงการวิเคราะห์คุณภาพของข้าว มีรายละเอียดดังนี้

อารี องค์วิเศษไพบูลย์ (2534) ศึกษาการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่ เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์จากข้าว ใช้กระบวนการผลิตแบบฉีดเคลือบวิตามินและเกลือแร่ที่มีความเข้มข้นสูงลงบนเมล็ดข้าวสาร โดยใช้เครื่องผสมแบบฉีดพ่น มีความสามารถในการผลิต 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เวลาในการผสม 2 นาที เป่าลมร้อนจนความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าข้าวพรีมิกซ์ นำผลิตภัณฑ์ข้าวพรีมิกซ์นี้ผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วน 1 : 200 ได้เป็นข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่

Shrestha *et al.* (2003) ศึกษาความเป็นไปได้ของการเติมกรดโฟลิก (folic acid) ลงในเมล็ดข้าวแล้วเคลือบด้วยสารเคลือบที่รับประทานได้ชนิดต่างๆ เตรียมข้าวพรีมิกซ์เข้มข้นโดยพ่นฝอยสารละลายกรดโฟลิกที่เตรียมจาก กรดโฟลิก 100 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร จากนั้นพ่นฝอยด้วยสารละลายโพลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ เอทิลเซลลูโลส เพคติน สารผสมระหว่างโลคัส บีน และอาร์การ์ โดยใช้หัวฉีดสเปรย์แบบพ่นฝอย (nozzle spray) แบบมือถือ พ่นทับ แล้วนำไปทำแห้งโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วิเคราะห์การสูญเสียปริมาณกรดโฟลิกหลังการล้างโดยนำข้าวพรีมิกซ์ 20 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร แกว่งเป็นเวลา 60 วินาที เทน้ำออก การหุงข้าวพรีมิกซ์ทำได้โดย นำตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร วางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 97 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่ามีการสูญเสียปริมาณกรดโฟลิกในขั้นตอนการล้าง ซึ่งเรียงลำดับการสูญเสียจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด คือ ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเอทิลเซลลูโลส (ethylcellulose) เพคติน (pectin) สารผสมระหว่างโลคัส บีน (locust bean) และอาร์การ์ (agar)

โดยมีการสูญเสียร้อยละ 2 9 และ 11 ตามลำดับ และการสูญเสียปริมาณกรดโฟลิกในขั้นตอนการหุงของสารเคลือบแต่ละชนิดอยู่ในช่วง 61 – 93 % โดยการคลือบด้วยเอทิลซิลเซลลูโลสมีการสูญเสียปริมาณกรดโฟลิกน้อยที่สุด คือ 61%

อุบลลักษณ์ วงษ์ชื่น (2547) ศึกษาการผลิตข้าวเสริมวิตามิน มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการสูญเสียวิตามินในระหว่างการล้างและการหุงต้ม โดยการเติมไทอะมิน ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน และไพริดอกซีนลงในข้าวสาร โดยแช่ในสารละลายผสมระหว่างกรดแอซิติกเข้มข้น 0.25 % กับวิตามิน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้วิตามินแพร่กระจายเข้าไปในเมล็ดข้าว แล้วทำให้แห้ง กำหนดอุณหภูมิในการอบแห้ง ที่ 45 60 และ 75 องศาเซลเซียส นำข้าวเสริมวิตามินมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี รูปร่าง ขนาด น้ำหนักเมล็ด อัตราการเกิด เจลลาติไนซ์ อายุการเก็บรักษา และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ซึ่งจากผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวที่ผ่านการหุงสุก ทางด้านสี การเกาะตัว กลิ่น ความนุ่ม รสชาติ และความชอบรวม พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มากที่สุด

เฉลิมชัย รอดมณี (2548) ศึกษาผลของการแช่และการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวนึ่ง โดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล เป็นระยะเวลา 2.5 และ 15.5 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวมีความชื้น 30% แล้วนำตัวอย่างข้าวมานึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้น 14% (ฐานเปียก) นำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ และคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ พบว่า ความคงตัวของเจลมีค่าเท่ากันโดยเจลที่ได้มีลักษณะเป็นเจลนุ่มในทุกสภาวะ ส่วนระยะเวลาการหุงต้มของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำใช้เวลามากกว่าข้าวที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การยืดตัวของข้าวนึ่งหุงสุกไม่แตกต่างกันในทุกสภาวะ ส่วนเนื้อสัมผัสหลังการหุงต้มของข้าวที่ผ่านการแช่น้ำมีค่าความแข็งมากกว่าข้าวที่แช่ด่างและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น

วันพรรษา ชุติปัญญา (2549) ศึกษาผลของการงอกและสภาวะการงอกที่มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด โทโคเฟอรอล และแกรมม่า-ออไรซานอลในข้าวกล้องงอกที่แช่ในน้ำกลั่น น้ำใบเตยและน้ำตะไคร้ โดยนำข้าวกล้องแช่น้ำกลั่น น้ำใบเตยและน้ำตะไคร้ ในอัตราส่วน 1:1 ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง รินน้ำออก เพาะให้งอกในที่มืดทิ้งไว้ 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการงอกข้าวกล้องที่แช่น้ำกลั่น คือ 24 ชั่วโมง โดยมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 85.2% ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด 3.2 mg gallic acid / g dry sample โทโคเฟอรอล 2.1 μg/g sample และแกรมม่า-ออไรซานอล 597.2 μg/g sample ส่วนที่แช่ใบเตย คือ 24 ชั่วโมง โดยมีกิจกรรมการ

ต้านอนุมูลอิสระ 85.8% ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด 3.7 mg gallic acid / g dry sample โทโคเฟอรอล 2.1 μg/g sample และแกมม่า-ออไรซานอล 597.2 μg/g sample สำหรับข้าวกล้องงอกที่เตรียมด้วยน้ำตะไคร้พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ 0 ชั่วโมง โดยมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 77.8% ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด 3.9 mg gallic acid / g dry sample โทโคเฟอรอล 2.1 μg/g sample และแกมม่า-ออไรซานอล 536.4 μg/g sample เมื่อเปรียบเทียบกิจกรรมและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องควบคุม (ไม่ผ่านการทำให้งอก) และข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำสมุนไพร พบว่าการงอกทำให้กิจกรรมและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกสมุนไพรหุงสุก พบว่าทั้งข้าวงอกแช่น้ำกลั่น น้ำใบเตยและน้ำตะไคร้ในทุกตัวอย่างผู้บริโภคให้การยอมรับไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม

ลลิตา ชาติยานนท์ (2549) ศึกษาผลของสารเคลือบที่รับประทานได้ต่อคุณภาพของข้าวพรีมิกซ์ โดยการเตรียมสารละลายวิตามินผสม จากวิตามิน 3 ชนิด คือ ไทอะมีน ไรโบฟลาวินและไนอะซินาไมด์ ปริมาณ 95 52.6 และ 559 มิลลิกรัม ตามลำดับ โดยละลายวิตามินทั้ง 3 ชนิด ในน้ำกลั่นปริมาตร 8 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ได้ปริมาณวิตามินทั้ง 3 ชนิด ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาซึ่งได้กำหนดปริมาณไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินไม่น้อยกว่า 0.44-0.88, 0.26-0.53 และ 3.52-7.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Food and Drug Administration [FDA], 1998) และทดแทนการสูญเสียไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินจากกระบวนการผลิตร้อยละ 50, 40 และ 30 ตามลำดับ (Roche *et al.*,n.d.) เตรียมสารเคลือบที่รับประทานได้จากสารละลายเพกทินปริมาณเมทอกซิลต่ำ 3 ชนิด ชนิดที่ 1 เพกทินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 36 ชนิดที่ 2 เพกทินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 31 และปริมาณเอไมด์ร้อยละ 18 และชนิดที่ 3 เพกทินปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 28 และปริมาณเอไมด์ร้อยละ 21 สำหรับเพกทินชนิดที่ 1 ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 ชนิดที่ 2 และ 3 ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 2 เตรียมสารละลายโดยนำเพกทินผสมในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส และปั่นในเครื่องปั่นผสมที่มีความเร็วรอบสูงเป็นเวลา 3 นาที ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเพกทินมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง และสารละลายเพกทินทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมได้มีความหนืดอยู่ในช่วง 31-36 เซ็นติพอยส์ ซึ่งเป็นความหนืดที่สามารถพ่นฝอยในการเคลือบข้าวได้ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง โดยความเข้มข้นของเพกทินแต่ละชนิดและค่าความหนืดที่สามารถพ่นฝอยได้จากการศึกษาเบื้องต้น ฉีดพ่นโดยเคลือบข้าวด้วยสารละลายวิตามินผสม เป่าด้วยลมร้อน แล้วเคลือบด้วยสารเคลือบที่รับประทานได้ จากนั้นเคลือบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แล้วเป่าลมร้อนและเคลือบด้วยสารเคลือบที่รับประทานได้และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อีกครั้ง นำไปทำแห้ง ผลการทดลองพบว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพกทินชนิดที่ 1 มีปริมาณการสูญเสียไทอะมีน และไรโบฟลาวินจากการล้างน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการเคลือบข้าวด้วยเพคตินทุกชนิดไม่สามารถ

ป้องกันการสูญเสียไทอะมีน และไรโบฟลาวินได้ในระหว่างการหุงสุกในน้ำที่มากเกินพอ ($p > 0.05$) อัตราส่วนผสมระหว่างข้าวพรีมิกซ์และข้าวสารหอมมะลิที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินแล้วมีปริมาณไทอะมีนเหลืออยู่ตามที่กำหนดเมื่อนำไปหุงสุก คือ 1 ต่อ 70 โดยมีปริมาณไทอะมีน 0.17 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม หรือ 0.22 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค และไม่มีอัตราส่วนผสมใดที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเสริมวิตามินแล้วมีปริมาณไรโบฟลาวินเหลืออยู่ตามที่กำหนดเมื่อนำไปหุงสุก

กฤษฎา งามทับ (2550) พัฒนาการผลิตข้าวเคลือบกลิ่นรสสมุนไพรไทย โดยใช้สารเคลือบจากสารละลายแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว 123 และแป้งมันสำปะหลังที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร 4 ชนิด คือ ขิง มะกรูด ตะไคร้ และกระเพรา ซึ่งได้จากการสกัดโดยวิธี hydrodistillation ใช้ปริมาณสารคลือบต่อปริมาณข้าวเท่ากับ 50 มิลลิลิตรต่อ 500 กรัม เคลือบโดยการพ่นสารเคลือบลงไปบนข้าวโดยเครื่องฉีดพ่นแบบสเปาเต็ดเบด ซึ่งเป็นเครื่องฉีดพ่นพร้อมเป่าให้แห้ง โดยใช้อุณหภูมิของสเปาเต็ดเบดที่ 30 - 40 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเคลือบ 10 - 20 นาที นำสารเคลือบที่เติมและไม่เติมน้ำมันหอมระเหยสมุนไพรมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มแล้ววิเคราะห์คุณภาพพบว่า ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมน้ำมันหอมระเหย สามารถเกิดฟิล์มได้ดี ฟิล์มมีลักษณะโปร่งแสง ผิวเรียบ แต่เมื่อเติมน้ำมัน หอมระเหยลงไป ฟิล์มมีความเปราะแตกง่ายมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติในการป้องกัน (barrier properties) จึงไม่นำฟิล์มแป้งข้าวเจ้ามาศึกษาในขั้นตอนการเคลือบข้าวต่อ ส่วนในฟิล์มแป้งมันสำปะหลังก่อนเติมน้ำมันหอมระเหยมีลักษณะใส โปร่งแสง เป็นมันวาว และผิวเรียบ แต่เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นสูงฟิล์มเปราะแตกและมีฟอง (bubble) ปรากฏในฟิล์ม ซึ่งค่า tensile strength (TS) ของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นสูงขึ้น และค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลง อย่างไรก็ตามนำสารเคลือบที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังมาใช้เคลือบบนข้าว ผลการทดลองพบว่าความหนาของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากขิง มะกรูด ตะไคร้ และกะเพราไม่แตกต่างจาก control ที่ไม่ได้เติมน้ำมันหอมระเหย โดยมีค่า TS เท่ากับ 1.952 – 5.94 N/mm^2 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมน้ำมันหอมระเหย โดยใช้อุณหภูมิสเปาเต็ดเบด 40 องศาเซลเซียส ได้ข้าวเต็มเมล็ดลดต่ำกว่าการใช้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งทุกสภาวะของอุณหภูมิและเวลาในการเคลือบในสเปาเต็ดเบด ได้ข้าวเต็มเมล็ดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 สภาวะของเครื่องสเปาเต็ดเบดไม่มีผลต่อความแข็งของข้าวเคลือบ แต่การใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวเคลือบที่หุงสุกมีการดูดน้ำมากขึ้น

Kyritsi *et al.* (2010) ศึกษาการเคลือบเมล็ดข้าว 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวกล้อง ข้าวขัดขาว และข้าวนึ่ง ซึ่งเคลือบด้วยวิตามินบีรวม (วิตามินบี 1 บี 2 บี 3 บี 5 บี 6 และ บี 12) โดย

เปรียบเทียบวิธีการเคลือบ 2 วิธี คือ 1) วิธีแช่ (soaking) ทำได้โดยแช่ตัวอย่างข้าวในสารละลายวิตามินบีรวม ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 101325 Pa เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งสภาวะนี้ทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ของเม็ดแป้งบางส่วน ใช้สารละลายวิตามินบีรวมความเข้มข้น 1 – 100 % โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของข้าว : สารละลายวิตามินบีเท่ากัน ดังนี้ 1 : 3 (ข้าวขัดขาว) 1 : 2.5 (ข้าวนึ่ง) และ 1 : 1.6 (ข้าวกล้อง) หลังจากแช่ นำข้าวไปอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สภาวะความดัน 60000 Pa เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนได้ความชื้นสุดท้าย 11 – 13 กรัม/100 กรัมของข้าว 2) วิธีพ่นฝอย (spraying) โดยใช้เครื่องพ่นฝอยแบบเฉพาะจาก Agino, EV GE. Pistiolas S.A. Agrinion, Greece ซึ่งใช้สารละลายวิตามินบีที่มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส กำหนดอัตราส่วนสารละลายวิตามินบี 5 กรัมต่อ ข้าว 100 กรัม หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้มีปริมาณความชื้น 10 – 13 กรัม/100 กรัมของข้าว จากการนำข้าวที่ผ่านการเคลือบและอบแห้งทั้ง 2 วิธี มาวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินบีที่หลงเหลืออยู่ พบว่าวิธีพ่นฝอยทำให้ข้าวแต่ละชนิดมีปริมาณวิตามินบีรวมเหลืออยู่ 54.3 – 85.3 % และวิธีการแช่มีปริมาณวิตามินบีเหลืออยู่ 53.5 – 76.2 % ซึ่งวิธีการพ่นฝอยมีปริมาณวิตามินบีที่เหลืออยู่มากกว่าวิธีแช่ เนื่องจากวิธีแช่ต้องนำไปทำการอบแห้งด้วยความร้อนแบบ 2 ขั้นตอน ทำให้เพิ่มการสูญเสียวิตามินบีบางชนิด

Laohakunjit and Noomhorm (2004) ศึกษาผลของการใช้พลาสติไซเซอร์ ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และโพลีเอทิลีนไกลคอล ในการตรวจสอบสมบัติเชิงกล และการรวมตัวกับแป้งข้าวเจ้าที่นำมาใช้ทำฟิล์ม พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลและซอร์บิทอล ฟิล์มที่ทำการเติมพลาสติไซเซอร์มีความนิ่มและความเหนียวของฟิล์มดีขึ้น สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าฟิล์มที่ไม่เติม ค่าการต้านแรงดึงลดลงเมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น และค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มกลีเซอรอลต่ำกว่าฟิล์มที่เติมซอร์บิทอล ส่วนอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ ความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมต่อการเกิดฟิล์มของแป้งข้าวเจ้า คือ 20-45 %(w/w)

พรพรรณ กอมนชัย (2550) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของข้าวหอมมะลิหุงสุกกับความชอบของผู้บริโภค โดยตรวจสอบคุณภาพของข้าวหอมมะลิหุงสุกในด้าน คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และคุณภาพทางกายภาพ ทั้งนี้คุณภาพทางกายภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่ต้องตรวจวัดซึ่งทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA-XT plus, Stable Micro System, ประเทศอังกฤษ) โดยนำตัวอย่างข้าวหุงสุก 1 กรัม นำมาจัดเรียงในภาชนะทำการทดสอบแบบ TPA (Texture profile analysis) กดตัวอย่าง 2 ครั้ง โดยใช้หัวกดแบบ Compression ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร กดเป็นระยะทางร้อยละ 90 ของความสูง

ตัวอย่าง ด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิเมตร/วินาที รายงานค่าเป็น ค่า Hardness Adhesiveness Cohesiveness Springiness และ Chewiness สำหรับความชอบของผู้บริโภคทำได้โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 300 คน โดยผู้บริโภคแต่ละคนจะทำการทดสอบตัวอย่างข้าวหอมมะลิหุงสุกคนละ 4 ตัวอย่าง เตรียมข้าวสำหรับการชิมโดยใช้ปริมาณ 30 กรัม บรรจุในถ้วยพลาสติกสีขาวที่มีฝาปิดและมีรหัสเลข 3 หลัก คุณลักษณะของข้าวหอมมะลิหุงสุกที่ทำการทดสอบ ได้แก่ สี ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบโดยรวม ผลการทดสอบความสัมพันธ์พบว่า คุณภาพทางกายภาพด้านสีและเนื้อสัมผัส มีอิทธิพลทางตรงต่อความชอบของผู้บริโภคในทิศทางบวก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

1) ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดง ซื้อจากโรงสีข้าวพระราชทาน บ้านคลองทราย จังหวัดสระแก้ว
2) สมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชัน และดอกคำฝอย จาก สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3) แป้งมันสำปะหลัง ตราหมีคู่ดาว บริษัท บูรพา พรอสเพอร์ จำกัด
4) เพกติน Grade 150 ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอสซายซ์ ประเทศไทย
5) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) บริษัท Lab Chem Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา
6) ซอร์บิทอล (sorbital) (Food grade) Merk ประเทศเยอรมนี
7) สารเร่งปฏิกิริยาในการย่อยโปรตีน (Selenium reagent mixture) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
8) กรดบอริก (Boric acid) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย
9) เชอร์ อินดิเคเตอร์ *(Sher indicator)* บริษัท Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
10) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
11) ปิโตเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) บริษัทLab scan ประเทศไทย
12) ซีไลท์ (Celite) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
13) ดีพีพีเอช (DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; $C_{18}H_{12}N_5O_6$) Aldrich ประเทศเยอรมนี
14) เอทานอล (Ethanol ; C_2H_5OH) 95% Merk ประเทศเยอรมนี
15) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na_2CO_3) Asia Pacific Specialty Chemical ประเทศนิวซีแลนด์
16) Folin บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
17) กรดแกลลิก บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
18) Peptone water AR grade บริษัท Labscan ประเทศไทย
19) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) Merk ประเทศเยอรมนี
20) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) 37% (AR grade) Merk ประเทศเยอรมนี
21) โซเดียมไฮโปรคลอไรด์ (Sodium hypochloride; NaOCl) Codex ประเทศอิตาลี
22) สารมาตรฐาน γ- aminobutyric acid(GABA) บริษัท Sigma ประเทศสหรัฐอเมริกา
23) น้ำดีไอออไนซ์

24) อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar(PCA)

25) อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose(PDA)

26) อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป Petrifilm ยี่ห้อ 3M ประเทศไทย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer) Permat รุ่น N003 ประเทศเยอรมนี

2) เตาเผา (Muffle furnace) Carholite รุ่น 201 ประเทศอังกฤษ

3) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น ULM700 ประเทศเยอรมนี

4) ตู้บ่มอุณหภูมิ (Incubator) Memmert รุ่น BASIC ประเทศเยอรมนี

5) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl apparatus) Buchi รุ่น B-324 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

6) เครื่องวิเคราะห์เส้นใย (Crude fiber apparatus) Labconco รุ่น 3001 ประเทศสหรัฐอเมริกา

7) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet apparatus) Buchi รุ่น B-810 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

8) เครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) Sartorius รุ่น MA 30

9) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher) Sartorius รุ่น AC 2115-00 ประเทศเยอรมนี

10) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดหยาบ Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี

11) เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH – Meter) รุ่น Cyberscan510 ประเทศสิงคโปร์

12) เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) ยี่ห้อ Scanvacc รุ่น 2-55

13) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV/Vis Spectrophotometer) Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

14) หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ยี่ห้อ SANYO รุ่น MAS-3750 ประเทศญี่ปุ่น

15) เครื่องบรรจุก๊าซ ยี่ห้อ HENKOVAC รุ่น CONTROL PANEL BASIC

16) เครื่องวัดสี HunterLab รุ่น MiniScan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

17) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ

18) เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) Novasina รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

19) เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ SPECTRONIC, GENESYSTH 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา

20) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Mermert รุ่น Amfield ประเทศเยอรมนี

21) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) Heto รุ่น CB60BX ประเทศเดนมาร์กด

22) เครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) ยี่ห้อ Schott ประเทศเยอรมนี

23) เครื่องเขย่า (shaker) innova 2000 PLAT Farm Shaker ประเทศสหรัฐอเมริกา

24) เครื่องตีผสม (stomacher) Seaward Meducai Limited รุ่น Stomacher 400 ประเทศอังกฤษ

25) เครื่องปั่นผสม (vortex mixture) Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี

26) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

27) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

28) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

29) โถดูดความชื้น (Desicator)

30) ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก

1.1 การผลิตข้าวกล้องงอก

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวงอก เพื่อให้ได้ปริมาณ gamma-aminobutyric acid (GABA) สูง โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแช่น้ำอย่างเดียว และวิธีการแช่น้ำร่วมกับการใช้ก๊าซไนโตรเจน การเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอก เริ่มจากนำเมล็ดข้าวมาล้างทำความสะอาดผิวส่วนนอกโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด แบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนแรกนำตัวอย่างข้าว 30 กรัม แช่ในน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อจำนวน 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 8, 16, 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 5, อุณหภูมิห้อง (28±2 °C) และ 35 องศาเซลเซียส ปรับค่า pH ที่ 6.0 หลังจากครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างมาวางกระดาษกรองชั้นที่วางบนภาชนะอีกชั้น เพื่อให้เกิดการงอก โดยวางตัวอย่างไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างข้าวงอกที่ได้นำไปผ่านการแช่เยือกแข็งและบดเป็นผง สำหรับการวิเคราะห์ GABA

ขั้นตอนที่สอง ทำการเลือกสภาวะที่ทำให้ได้สารกาบามากที่สุดจากขั้นตอนแรก แล้วนำตัวอย่างมาใส่ในภาชนะปิดที่บรรจุแก๊สไนโตรเจน แล้วนำไปวางในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำตัวอย่างข้าวงอกไปแช่เยือกแข็งและบดเป็นผง สำหรับการตรวจวิเคราะห์ขั้นต่อไป

1.2 การลดปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอก

นำข้าวกล้องงอกที่ได้จากข้อ 1.1 มาลดปริมาณจุลินทรีย์โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกไปนึ่งด้วยไอน้ำนาน 20 นาที ตามด้วยแช่เอทานอลนาน 3 นาที และนึ่งด้วยไอน้ำนาน 20 นาที แช่เอทานอล 3 นาที ก่อนต้มให้ความร้อนที่ 5 และ 10 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำไปอบแห้งนาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 °C ทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และ รา

1.3 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอก

1.2.1 ปริมาณ GABA (Watchararparpaiboon et al., 2010)

1.2.2 ปริมาณความชื้นโดยใช้ Hot air oven (AOAC, 1995)

1.2.3 ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 1995)

1.2.4 ปริมาณไขมัน (AOAC, 1995)

1.2.5 ปริมาณเถ้า (AOAC, 1995)

1.2.6 ปริมาณใยอาหาร(AOAC, 1995)

1.2.7 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

1.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 17.0 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (analysis of variance) ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตอนที่ 2 การศึกษาการเคลือบข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการเคลือบข้าวกล้องงอกที่ได้จากตอนที่ 1 ด้วยสารสมุนไพรที่ได้จากการสกัดที่ผสมอยู่ในสารเคลือบที่รับประทานได้

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

2.1.1 การเตรียมข้าวกล้องงอก

เตรียมข้าวกล้องงอกตามวิธีที่ได้จากตอนที่ 1

2.1.2 การเตรียมสารเคลือบสมุนไพร

เตรียมสารเคลือบสมุนไพร โดยนำสารสกัดสมุนไพรมาผสมกับสารเคลือบ ใช้สารสกัดจากสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชัน และดอกคำฝอย ซึ่งได้จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สกัดสารสมุนไพรด้วยน้ำร้อนโดยดัดแปลงจากวิธีการของดัดแปลงจาก Kim *et al.* (2008) รายละเอียดวิธีสกัดแสดงในภาคผนวก และใช้สารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายเพคตินและสารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล ดังนั้นจะได้สารเคลือบสมุนไพรทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สารเคลือบสมุนไพรที่ใช้ในการทดลอง

สิ่งทดลองที่	ชนิดของสมุนไพร	ชนิดของสารเคลือบ
1	ใบบัวบก	สารละลายเพคติน
2	ใบมะรุม	สารละลายเพคติน
3	ขมิ้นชัน	สารละลายเพคติน
4	ดอกคำฝอย	สารละลายเพคติน
5	ใบบัวบก	สารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล
6	ใบมะรุม	สารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล
7	ขมิ้นชัน	สารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล
8	ดอกคำฝอย	สารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล

สำหรับรายละเอียดในการเตรียมสารเคลือบสมุนไพรมีดังนี้ คือ

2.1.2.1 สารเคลือบสมุนไพรจากสารละลายเพคติน

เตรียมสารละลายเพคตินความเข้มข้น 5 % (w/v) โดยผสมเพคติน 9 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 180 มิลลิลิตร ที่ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส กวนผสมสารละลายเพคตินด้วยเครื่อง magnetic stirrer ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของลลิตา ชาติยานนท์ (2549) ค่อยๆ เติมสารสกัดสมุนไพรความเข้มข้น 10 % (w/w) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในสารละลายเพคติน พร้อมกับกวนผสมสารละลายอย่างต่อเนื่องจนสารละลายเข้ากัน

2.1.2.2 สารเคลือบสมุนไพรจากสารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล

เตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 2 % (w/v) โดยผสมแป้งมันสำปะหลัง 3.6 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 180 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส กวนผสมสารละลายแป้งมันสำปะหลังด้วยเครื่อง magnetic stirrer ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมพลาสติไซเซอร์คือ ซอร์บิทอลปริมาณ 2 กรัม ลงในสารละลายแป้งมันสำปะหลัง กวนผสมต่อเป็นเวลา 5 นาที (ดัดแปลงจากวิธีของ Laohakunjit and Noomhorm, 2004) ค่อยๆ เติมสารสกัดสมุนไพรความเข้มข้น 10 % (w/w) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย พร้อมกับกวนผสมสารละลายอย่างต่อเนื่อง จนสารละลายเข้ากันดี

2.2 การเคลือบข้าวกล้องงอกด้วยสารเคลือบสมุนไพร

โดยนำข้าวกล้องงอกมาเคลือบด้วยสารเคลือบสมุนไพรโดยการแช่ ดัดแปลงจาก Soaking method ที่เป็นการแช่ข้าวแบบญี่ปุ่น (Brooke, 1972)

การเคลือบโดยวิธีแช่ ทำได้โดยนำเมล็ดข้าวกล้องงอกน้ำหนัก 120 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารเคลือบสมุนไพรปริมาตร 200 มิลลิลิตร (Kyritsi et al.,2010) แช่เมล็ดข้าวกล้องงอกในสารเคลือบเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลา กรองเอาเมล็ดข้าวกล้องงอกออกด้วยตะแกรง ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ นำเมล็ดข้าวมาเกลี่ยบนถาด แล้วนำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนความชื้นลดลงเหลือ 12-13 % ทั้งนี้ทำนายเวลาในการทำแห้งจากกราฟการทำแห้ง (drying curve) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังหลังการล้าง หลังการหุงสุก และหลังการล้างและหุงสุก

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ได้จำนวน 8 สิ่งทดลองจากข้อ 2 มาล้างและหุงสุก ตามวิธีของ Shrestha *et al.* (2003) และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการหุงสุก และหลังการล้างและหุงสุก โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

2.3.1 การล้างข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องเขย่าเป็นเวลา 60 วินาที ความเร็วรอบ 150 rpm เมื่อครบเวลา กรองเอาเมล็ดข้าวออกด้วยตะแกรง ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำข้าวไปวิเคราะห์คุณภาพ

2.3.2 การหุงข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

นำตัวอย่างข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการล้างมา 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ แล้ววางไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 97 ± 3 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเป็นเวลา 20 นาที จนข้าวสุก ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำข้าวไปวิเคราะห์คุณภาพ

2.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพ

2.3.3.1 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (A.A. Karagozler et al., 2008)

2.3.3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric (Dewanto et al., 2002) ของข้าวหลังการล้างและหุงสุก

2.3.3.3 ค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab ของข้าวหลังการล้างและหุงสุก

2.3.3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหลังหุงสุก โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รายงานเป็นค่าความแข็ง

2.3.3.5 ทดสอบความชอบของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก ด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบวิธี 9 – point hedonic scale (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด) เตรียมข้าวสำหรับการชิมโดยใช้ปริมาณ 10 กรัม บรรจุในถ้วยพลาสติกสีขาวที่มีฝาปิดและมีรหัสเลข 3 หลัก โดยแบ่งเสิร์ฟตัวอย่างครั้งละ 4 ตัวอย่าง

2.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Complete Randomized Design) ในการวิเคราะห์ผลของชนิดสมุนไพรและชนิดของสารเคลือบต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการหุงสุก และหลังการล้างและหุงสุก สำหรับการวิเคราะห์ผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรม SPSS version 15.0

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ได้จำนวน 8 สิ่งทดลอง จากตอนที่ 2 มาทำการบรรจุในถุงเลียนแบบสภาวะการจัดจำหน่ายในท้องตลาด และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

3.1 การบรรจุข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรแต่ละชนิดมาบรรจุในถุงสุญญากาศชนิด Nylon LDPE ปิดผนึกแบบสุญญากาศ บรรจุน้ำหนักถุงละ 100 กรัม เก็บรักษาในตู้ทึบแสงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์มาวิเคราะห์คุณภาพ

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพ

3.2.1 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (A.A. Karagozler et al., 2008) ของข้าวหลังการล้างและหุงสุก

3.2.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric (Dewanto *et al.*, 2002) ของข้าวหลังการล้างและหุงสุก

3.2.3 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3.2.4 ค่า Water activity โดยใช้เครื่องวัด Water activity

3.2.5 ค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดสี HunterLab

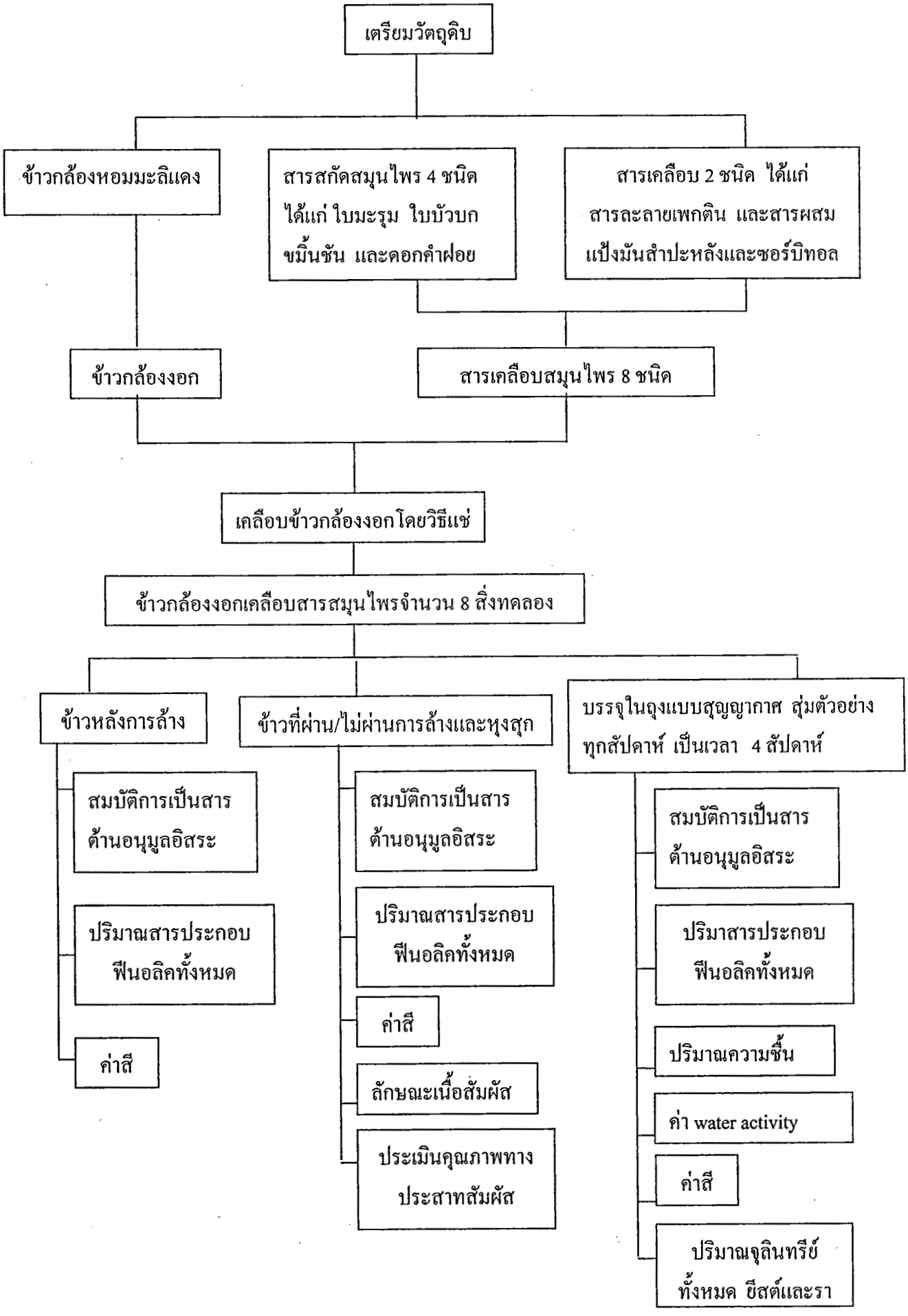
3.2.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (AOAC, 1995)

พิจารณาคุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรเปรียบเทียบกับแนวทางการผลิตข้าวกล้องงอกให้ได้มาตรฐาน (สำนักงานพัฒนาและส่งเสริมข้าวกล้องงอก, 2553) ที่กำหนดไว้ว่าข้าวกล้องงอกพร้อมหุงบริโภคที่มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ได้มาจากข้าว เช่น กรวด หิน ความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก จำนวนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และราไม่เกิน 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม นอกจากนี้เลือกตัวอย่างข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากตอนที่ 2 มาตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ GABA ที่การเก็บรักษา 0 และ 4 สัปดาห์ด้วย

3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ในการวิเคราะห์ผลของชนิดของสมุนไพรและชนิดของสารเคลือบที่มีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณความชื้น ค่า Water activity ค่าสี และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่เก็บไว้ในแต่ละสัปดาห์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรม SPSS version 15.0

ทั้งนี้แผนภาพสรุปวิธีดำเนินการทดลองในตอนที่ 2 และ3 แสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แผนภาพสรุปวิธีการดำเนินการทดลองและวิเคราะห์คุณภาพข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพร

ตอนที่ 4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

นำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่เลือกได้มาหุงสุกแล้วนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ จำนวน 100 คน แบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับ แบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 คือ ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ตอนที่ 2 คือ ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ และตอนที่ 3 คือ ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบผลิตภัณฑ์สุดท้าย แบบสอบถามแสดงไว้ในภาคผนวก

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน

จัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชนในรูปแบบการอบรมเชิงปฏิบัติการ โดยลงพื้นที่ไปพบชุมชนได้แก่ผู้ประกอบการแปรรูปข้าว ชุมชนผู้ปลูกข้าว เผยแพร่กรรมวิธีการผลิต ให้ความรู้เชิงเทคนิคในการแปรรูปอาหารให้ได้คุณภาพมาตรฐาน เน้นรูปแบบการสาธิตและให้ชุมชนได้ฝึกปฏิบัติจริงเนินการ โดยจัดทำเอกสารประกอบการอบรม และประเมินผลการอบรม รายละเอียดเอกสารต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก

1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ GABAของข้าวกล้องงอก

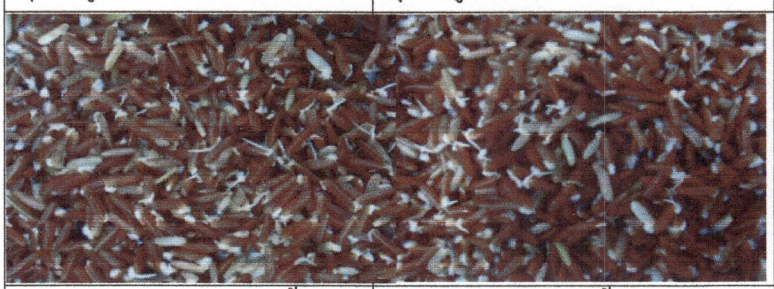
การทดลองนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก โดยขั้นตอนแรกทำการศึกษาระยะเวลาการแช่ข้าว 3 ระดับ ได้แก่ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่ 3 ระดับ ได้แก่ 5, 35 และอุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) และมีตัวอย่างควบคุม คือ ข้าวกล้องหอมมะลิแดงจากจังหวัดสระแก้ว ที่ไม่ได้แช่น้ำ ข้าวกล้องงอกที่ได้แต่ละสภาวะ นำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และนำไปบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณ GABA ตัวอย่างข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องงอกในแต่ละสภาวะแสดงดังภาพที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ค่า GABA แสดงดังภาพที่ 4-2 และข้อมูลผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4-1

ข้าวกล้องควบคุม

ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 5 ° c

ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 28 ° c

ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 ° c



ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 16 ชั่วโมง อุณหภูมิ 5 ° c

ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 16 ชั่วโมง อุณหภูมิ 28 ° c

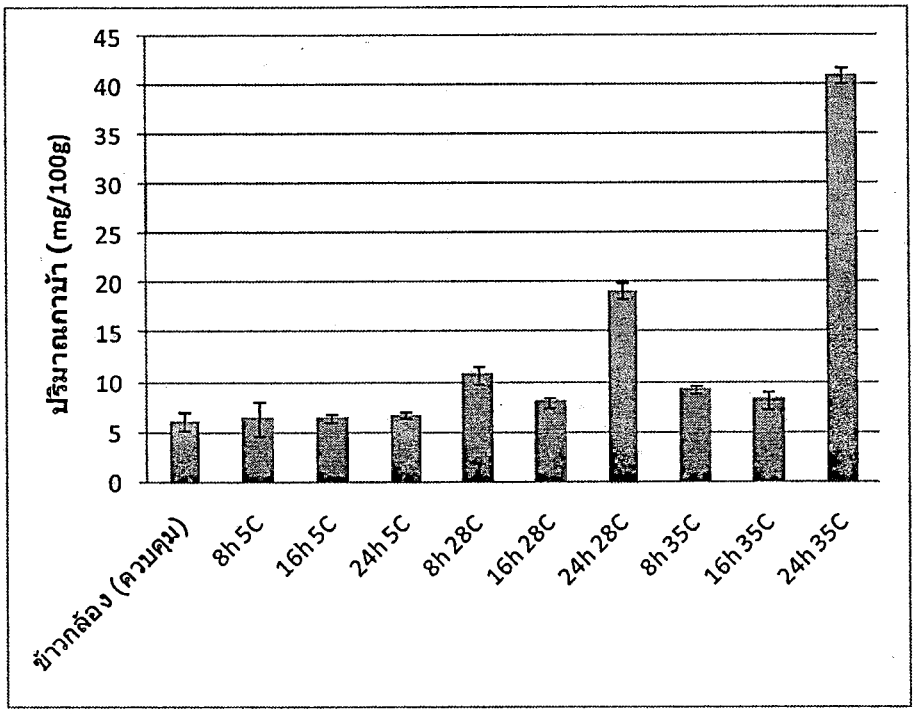
ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 16 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 ° c

ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 5 ° c

ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 28 ° c

ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 ° c

ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม และข้าวกล้องงอกในแต่ละสภาวะ



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะต่างๆ ในการเพาะข้าวกล้องงอกกับปริมาณGABA

ตารางที่ 4-1 ปริมาณGABAในข้าวกล้องที่ทำการเพาะที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่างข้าวกล้องที่สภาวะต่างๆ		ปริมาณGABA (mg/100g)
ข้าวกล้อง (ควบคุม)		$6.05^{g} \pm 0.88$
5 องศาเซลเซียส	แช่น้ำ 8 ชั่วโมง	$6.32^{g} \pm 1.68$
	แช่น้ำ 16 ชั่วโมง	$6.36^{g} \pm 0.35$
	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	$6.67^{fg} \pm 0.23$
28 องศาเซลเซียส	แช่น้ำ 8 ชั่วโมง	$10.78^{c} \pm 0.88$
	แช่น้ำ 16 ชั่วโมง	$7.91^{ef} \pm 0.48$
	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	$19.16^{b} \pm 0.75$
35 องศาเซลเซียส	แช่น้ำ 8 ชั่วโมง	$9.16^{de} \pm 0.35$
	แช่น้ำ 16 ชั่วโมง	$8.15^{ef} \pm 0.88$
	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	$41.02^{a} \pm 0.75$

[a-g] ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากภาพที่ 4-1 จะเห็นได้ว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำ และบ่มที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีรากงอกออกมาจากเมล็ดข้าวในระดับต่างๆ กัน ในระหว่างการแช่น้ำนั้น เอนไซม์ กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase, GAD) ในเมล็ดข้าวจะถูกกระตุ้น และทำหน้าที่เปลี่ยนกรดกลูตามิคในเมล็ดข้าวเป็น GABA (Lea และคณะ, 1990) เมื่อนำแต่ละตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณ GABA พบว่าเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่น้ำมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นจากข้าวกล้องควบคุม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.32-41.02 mg/100mg ในการทดลองนี้ได้ทำการแช่ข้าวที่มีการปรับ pH ที่ 6.0 ซึ่งเป็นสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีรายงานว่า ไฮโดรเจนอะตอม (H^+) จะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ glutamate decarboxylate ทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดกลูตามิกไปเป็น GABA (Shelp และคณะ, 1999)

สำหรับอุณหภูมิการแช่ข้าว มีผลต่อปริมาณ GABA โดยจากตารางที่ 4-1 จะเห็นได้ว่า เมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มการผลิตสาร GABA เพิ่มขึ้นเช่นกัน การแช่ข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (5 องศาเซลเซียส) ให้ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม สำหรับระยะเวลาการแช่ข้าว จะมีผลต่อปริมาณ GABA อย่างเห็นได้ชัด เมื่อผ่านการแช่ที่ 24 ชั่วโมง การเพาะข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดงที่สภาวะการแช่น้ำระยะเวลา 24 ชั่วโมงและบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้สาร GABA สูงที่สุด คือ 41.02 mg/100g ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการศึกษาในข้าวกล้องพันธุ์ขาวมะลิ 105 และพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งพบว่า การแช่ข้าวที่ pH 6 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ข้าวทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณ GABA สูงกว่าที่สภาวะอื่นๆ (Watchararparpaiboon และคณะ, 2010) โดยมีปริมาณ GABA อยู่ในช่วง 14.51-16.50 mg/100g ตามลำดับ นอกจากนี้เมธาวีและสุดารัตน์ (2552) ซึ่งได้ทำการศึกษาในข้าวมันปู รายงายว่าที่สภาวะการแช่ข้าว 24 ชั่วโมง และบ่มในที่มืดเป็นเวลา 32 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA สูงที่สุด เท่ากับ 21.32 mg/100g ปริมาณ GABA จากงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยอื่นๆ ที่กล่าวมา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยด้านสายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน และในงานวิจัยนี้ยังมีการบ่มข้าวต่อในสภาวะชื้น ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมงด้วย ทำให้เพิ่มระยะเวลาในการงอกของข้าวเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4-1) แสดงให้เห็นว่า การแช่ข้าวกล้องในน้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA สูงที่สุด จึงเลือกสภาวะนี้มาทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยนำตัวอย่างมาใส่ในภาชนะปิดที่บรรจุแก๊สไนโตรเจน แล้วนำไปวางในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ปริมาณGABAในข้าวกล้องที่ผ่านการบ่มด้วยแก๊สไนโตรเจน

ตัวอย่างข้าวกล้องที่สภาวะต่างๆ	ปริมาณGABA (mg/100g)
ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 24 ชั่วโมง บ่ม 35 องศาเซลเซียส	41.73±0.23
ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 24 ชั่วโมง บ่ม 35 องศาเซลเซียส + บ่มภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน	81.19±0.19

จากตารางที่ 4-2 พบว่า ข้าวกล้องงอกที่นำไปบ่มต่อในสภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจนร่วมด้วย เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเพิ่มปริมาณ GABA ขึ้นจากเดิมถึงสองเท่า โดยมีค่าเท่ากับ 81.19 mg/100g ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Komatsuzaki (2007) ซึ่งพบว่า ปริมาณ GABA ในข้าวกล้องสายพันธุ์ญี่ปุ่นที่ผ่านการแช่น้ำร่วมกับการบ่มภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน มีค่าเพิ่มขึ้นจากข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำอย่างเดียว ประมาณ 2 เท่า โดยเพิ่มจาก 10.01 mg/100g เป็น 24.9 mg/100g ในทำนองเดียวกัน Chung และคณะ (2009) พบว่า การทำข้าวบาร์เลย์งอกโดยเก็บในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในที่มืดนั้น ส่งผลให้ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 4 เท่า (Watchararparpaiboon และคณะ (2010) พบว่า การเพิ่มอากาศหรือออกซิเจนเข้าไปในระหว่างการแช่ข้าว ส่งผลให้ปริมาณ GABA ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวมะลิ 105 และพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าลดลง ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า การผลิตข้าวกล้องงอกภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จะส่งเสริมต่อการเพิ่มปริมาณ GABA ได้มากขึ้น

การที่ปริมาณ GABA มีค่าเพิ่มมากขึ้นภายใต้สภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจนนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจาก กรดกลูตามิคถูกสังเคราะห์เพิ่มขึ้นโดยผ่านวัฏจักร glutamate synthase (GOGAT) glutamine synthetase (GS) ซึ่งวัฏจักรนี้มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของ GABA และกรดอะมิโนอะลานีน ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Aurisano และคณะ, 1995; Reggina และคณะ, 2000) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การที่เนื้อเยื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะที่บีบคั้นมากๆ เช่น hypoxia (สภาวะที่เนื้อเยื่อขาดแคลนออกซิเจน), cold shock และการเก็บในที่มืด ก็ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ GABA เช่นกัน (Roberts และคณะ, 1984; Servaites และคณะ, 1979)

1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอก

ในระหว่างกระบวนการงอกนั้น องค์ประกอบทางเคมีของข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเนื่องจากไฮโดรไลติกเอนไซม์ในเมล็ดข้าวจะถูกกระตุ้น และทำการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ๆ เช่น แป้ง พอลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง และโปรตีน ให้เปลี่ยนเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

ลง เช่น น้ำตาล เปปไทด์ และกรดอะมิโน (Saman และคณะ, 2008) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และใยอาหาร ของข้าวกล้อง (control) และข้าวกล้องงอกที่สภาวะการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ก๊าซไนโตรเจน แสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกที่สภาวะการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ก๊าซไนโตรเจน

องค์ประกอบทางเคมี (% db.)	ข้าวกล้อง (control)	ข้าวกล้องงอก (24hr, 35°C + N_2)
ความชื้น	13.91 ± 0.01	16.44 ± 0.14
โปรตีน	7.98 ± 0.06	8.34 ± 0.04
ไขมัน	3.08 ± 0.03	3.83 ± 0.28
คาร์โบไฮเดรต	71.59±0.00	67.18±1.76
เถ้า	0.86 ± 0.04	0.48 ± 0.06
ใยอาหาร	2.07 ± 0.00	2.97 ± 1.55

จากตารางที่ 4-3 ปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องหอมมะลิแดง (ควบคุม) จากงานวิจัยนี้มีค่า 7.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Moongngarm & Saetung (2010) ซึ่งทำการศึกษาในข้าวกล้องสายพันธุ์ไทย (กข 6) และพบว่า ข้าวสายพันธุ์ กข 6 มีปริมาณโปรตีน 6.98 เปอร์เซ็นต์ และในข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีน 7.81 เปอร์เซ็นต์ (รสพร และคณะ, 2551) สำหรับโปรตีนในข้าวกล้องที่ผ่านการทำให้งอก ในงานวิจัยนี้มีค่า 8.34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (Watchararparpaiboon และคณะ, 2010) ซึ่งรายงานว่า โปรตีนในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 101 และชัยนาท 1 มีค่า 10.50 และ 9.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่รสพร และคณะ (2551) พบว่าข้าวกล้องหอมมะลิ 101 ที่ผ่านการงอกเป็นเวลา 24-72 ชั่วโมง มีค่าโปรตีนในช่วง 8.01-8.02 เปอร์เซ็นต์ การที่โปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้น หลังข้าวผ่านการงอก เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น เอนไซม์บางตัวถูกกระตุ้นและสร้างสารประกอบไนไตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (กรดนิวคลีอิค) หรือ

การเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนอิสระ Moham และคณะ (2010) พบว่าในระหว่างการงอกของข้าวสายพันธุ์อินดิกา (*Indica*) โปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะถูกไฮโดรไลซ์ให้มีขนาดเล็กลง ในช่วงเริ่มต้นของการงอก

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหารมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวกล้องผ่านการทำให้งอก ในขณะที่คาร์โบไฮเดรต และเถ้า มีปริมาณลดลง ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานของ Moongngarm & Saetung (2010) ซึ่งรายงานว่า ข้าวกล้องพันธุ์ กข 6 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และใยอาหารเพิ่มขึ้น ในขณะที่คาร์โบไฮเดรต มีค่าลดลง การที่คาร์โบไฮเดรตมีค่าลดลง เนื่องจากเอนไซม์อะมิเลสทำการย่อยแป้ง เช่น อะมิโลส และอะมิโลเพคติน เป็นเดกซ์ทริน หรือโมโนแซคคาไรด์ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (Oloyo, 2004)

1.3 ผลการลดปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอก

ในกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง (parboiling rice) ในทางการค้านั้น จะมีการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 20 ชั่วโมง ในระหว่างนี้จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Bandara และคณะ, 1991) วิธีการลดจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างการผลิตข้าวกล้องงอกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ความดันสูง การฉายรังสีอัลตราไวโอเลต เป็นต้น ซึ่งวิธีที่กล่าวมาข้างต้นยังมีปัจจัยจำกัดด้านค่าใช้จ่าย งานวิจัยในส่วนนี้จึงทำการศึกษาผลของการใช้ไอน้ำและเอทานอล หลังจากขั้นตอนการแช่ข้าว เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์

เมื่อนำข้าวกล้อง (control) และข้าวกล้องงอกที่สภาวะการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C และนำมาผ่านการงอกภายใต้แก๊สไนโตรเจนเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง มาตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า ข้าวกล้องงอกมีเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณสูง ($\sim10^5$ CFU/g) จึงมีการนำตัวอย่าง มาผ่านไอน้ำนาน 20 นาที แช่เอทานอลนาน 3 นาที พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอก ยังคงมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่มากอยู่ ($\sim10^4$ CFU/g) ต่อมาได้มีการศึกษาปัจจัยของการให้ความร้อนหลังการผ่านไอน้ำ และแช่เอทานอล โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านไอน้ำ 20 นาที แช่เอทานอล 3 นาที นำไปต้มให้ความร้อนเป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ ก่อนนำไปอบแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 °C และวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อรา ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

ตัวอย่าง	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	จำนวนยีสต์และรา (CFU/g)
ข้าวกล้อง	$2.8x10^5$	ND
ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 24 ชั่วโมง บ่ม 35°C+N_2 gas	$5.5x10^5$	ND
ข้าวกล้องงอก+ไอน้ำ 20 นาที+เอทานอล 3 นาที	$4.2x10^4$	ND
ข้าวกล้องงอก+ไอน้ำ+เอทานอล+ต้ม 5 นาที	$1.3x10^4$	ND
ข้าวกล้องงอก+ไอน้ำ+เอทานอล+ต้ม 10 นาที	$1.5x10^3$	ND

หมายเหตุ: มาตรฐานเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวกล้องงอก ไม่เกิน $1x10^6$ CFU/g
มาตรฐานยีสต์และราในข้าวกล้องงอกไม่เกิน 500 CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์)
ND = non detectable ไม่พบยีสต์และรา

จากตารางที่ 4-4 พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องเริ่มต้น มีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นค่อนข้างสูง คือ $2.8x10^5$ CFU/g และเมื่อผ่านการทำให้งอก จะมีจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาในข้าวสายพันธุ์ไทย ยังไม่มีผู้รายงานถึงจำนวนจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในข้าวกล้องงอก แต่ในงานวิจัยของ Komatsuzaki และคณะ (2007) ซึ่งทำการศึกษาในข้าวสายพันธุ์ญี่ปุ่น รายงานว่า ข้าวกล้องเริ่มต้น มีจุลินทรีย์อยู่ $1.7x10^4$ CFU/g และเมื่อผ่านการงอกโดยการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบเชื้อจุลินทรีย์ในช่วง 1.9×10^8 CFU/g จะเห็นได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นของจำนวนเชื้อหลังการงอก อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวกล้องงอกที่ผ่านไอน้ำ แช่ด้วยเอทานอลและต้มเป็นเวลา 5 นาที พบเชื้อจุลินทรีย์อยู่ที่ 1.3×10^4 CFU/g ในขณะที่ข้าวกล้องงอกที่สภาวะเดียวกับข้างต้น แต่ต้มเป็นเวลา 10 นาที พบเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณลดลงมากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 1.5×10^3 CFU/g ผลการทดลองดังกล่าวไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Komatsuzaki และคณะ (2007) ซึ่งพบว่า การใช้ไอน้ำ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้อย่างมาก จนเหลือในระดับ 10^2 CFU/g และเมื่อใช้ไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที ตามด้วยแช่เอทานอล 3 นาที ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงถึงในระดับที่ตรวจไม่พบ สำหรับงานวิจัยนี้ข้าวกล้องงอกมีเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณสูง ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีการเปลี่ยนน้ำแช่จำนวนน้อยครั้งในช่วงการบ่มที่สภาวะอุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีจำนวนมาก ส่วนผลของไอน้ำและเอทานอล พบว่ามีผลต่อการลดจำนวนจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอกได้ในระดับหนึ่ง และเมื่อให้ความร้อนด้วยการต้มเป็นเวลานานขึ้น สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามข้าวกล้องงอกจากทุกสภาวะตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ต่ำกว่า 1×10^6 CFU/g) และตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา ซึ่ง

แสดงถึงมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานด้านเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ที่มีการกำหนดไว้ (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2550) แนวโน้มจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในการผลิตข้าวกล้องงอกต้องมีความเข้มงวดกับการควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการงอก เช่น ควรมีการเปลี่ยนน้ำแช่ในระหว่างการบ่มหลายครั้ง และดำเนินการผลิตโดยใช้เทคนิคปลอดเชื้อ (aseptic technique) เป็นต้น

ตอนที่ 2 การศึกษาการเคลือบข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด

2.1 ผลการเตรียมวัตถุดิบข้าวกล้องงอก

จากการเตรียมข้าวกล้องงอกตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 1 พบว่าได้ข้าวกล้องงอกที่ยังคงมีสีออกน้ำตาลแดง เนื่องจากใช้ข้าวพันธุ์หอมมะลิแดง ซึ่งมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลแดง และมีส่วนของรากสีขาวที่งอกบริเวณส่วนจมูกข้าว ในกระบวนการเพาะข้าวกล้องงอก เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สำคัญ คือ เมื่อแช่ข้าวในน้ำ น้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว กระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงานจนสามารถงอกได้ เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกสารอาหารที่เก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็ถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งมีการสะสมของสารเคมีสำคัญต่างๆ ได้แก่ แกมมาออริซานอล (gamma-orazynol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และสารแกมมา-อะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid) (Shoichi *et al.*, 2004) จากการสังเกตพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของข้าวระหว่างการเพาะงอก โดยเห็นว่าข้าวกล้องหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีรากสีขาวงอกออกมาตรงส่วนจมูกข้าว บางเมล็ดมองเห็นชัดเจน บางเมล็ดมองเห็นเพียงลักษณะเป็นปุ่มสีขาวเท่านั้น และเมื่อนำข้าวกล้องนี้ไปบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์และอัดก๊าซไนโตรเจนแล้วทิ้งไว้นาน 12 ชั่วโมง พบว่ารากที่งอกมีความยาวเพิ่มขึ้น และสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

2.2 ผลการเตรียมสารเคลือบสมุนไพร

2.2.1 ผลการสกัด ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสมุนไพร

เพื่อศึกษาผลของชนิดสมุนไพรที่จะนำมาใช้ในการเตรียมสารเคลือบ ดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าปริมาณสารสกัดหยาบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก

ผลจากการนำสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม เหง้าขมิ้นชัน และดอกคำฝอย ดังแสดงในภาพผนวก มาทำการสกัดด้วยน้ำ จากนั้นทำการระเหยน้ำออกจะได้สารสกัดที่มีลักษณะเป็นสารเหนียวมีสีแตกต่างกันตามชนิดของสมุนไพร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดพบว่า ดอกคำฝอยให้ปริมาณผลผลิตสารสกัดหยาบสูงกว่าสมุนไพรชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณผลผลิตสารสกัดหยาบร้อยละ 40.067

รองลงมาได้แก่ มะรุม บัวบกและขมิ้น ดังแสดงในตารางที่ 4-5 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ (สุวิมล และชัยโย, มปป.) ซึ่งทำการสกัดสมุนไพรหลายๆชนิดด้วยน้ำและพบว่า เมื่อทำการสกัดสมุนไพรด้วยน้ำ ดอกคำฝอยให้ปริมาณผลผลิตสารสกัดหยาบสูงกว่าใบบัวบกและเหง้าขมิ้นชัน โดยสารที่พบมากในดอกคำฝอยคือสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งเป็นสารที่ละลายได้ดีในน้ำส่งผลให้ได้ปริมาณสารสกัดสูงกว่าสมุนไพรชนิดอื่นๆ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ที่พบในปริมาณสูงในสารสกัดคำฝอยคือ ไฮดรอกซีแซฟฟลาว เยลโล เอ (hydroxysafflor yellow A) เป็นสารที่มีสีส้มเหลือง นอกจากนี้ยังพบสาร เคมเฟรอล-3-*O*-β-รูติโนไซด์ (kaempferol 3-*O*-β-rutinoside), เควอซีติน (quercetin), ลูทอีโอลิน (luteolin), อาพิจินิน (apigenin), ไอโซแรมเนติน (isorhamnetin) , อะคาเซติน (acacetin), และสารประกอบฟีนอลิคได้แก่ สารอัมเบลลิเฟอร์โรน (umbelliferone) (Suleimanov, 2004 ; Fan *et al.*, 2009) สารสกัดหยาบที่ได้จากมะรุมมีลักษณะเป็นสีเขียวเข้ม โดยสารที่พบมากในใบมะรุมไดแก่ แรมโนส (ramose) และอะซิติลแรมโนส (acetyl-rhamnose) ที่ถูกแทนที่ด้วยสารกลูโคสิโนเลท (glucosinolates) นอกจากนี้ยังพบสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบซึ่งได้แก่สารในกลุ่ม แคมเฟอรอล (kaempferol), เควอซีติน และ ไอโซแรมเนติน (Amaglo *et al*, 2010) ในขณะสารองค์ประกอบหลักของสารสกัดหยาบจากใบบัวบกจะเป็นสารในกลุ่มเทอร์พีน ซึ่งเป็นสารที่ละลายได้น้อยในน้ำ โดยพบว่าสารประกอบสำคัญในสารสกัดจากใบบัวบกด้วยน้ำคือสาร กรดอะเซียติก (asiatic acid) อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside), กรดมาดีคาสสิคmadecassic acid และ มาดิคาสโซไซด์ (madecassoside) (Kim *et al.*, 2009) ส่วนสารสกัดหยาบจากขมิ้น จะมีสีเหลืองส้มซึ่งเป็นสีของสาร เคอร์คูมินอยด์ ซึ่งเป็นสารในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids) เป็นสารสีเหลืองส้มประกอบด้วยสารหลัก 3 ตัว คือ เคอร์คูมิน (curcumin) ดีเม็ทอกซี่เคอร์คูมิน (demethoxycurcumin) และบิสดีเมท็อกซี่เคอร์คูมิน (bisdemethoxycurcumin) (Jayaprakasha *et al,* 2005) ซึ่งเป็นสารที่ละลายได้น้อยในน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์

ตารางที่ 4-5 ปริมาณผลผลิต และลักษณะของสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดสมุนไพรชนิดต่างๆ ด้วยน้ำ

ชนิดของสมุนไพร	ผลผลิตสารสกัด	ลักษณะของสารสกัดหยาบ
มะรุม	34.433[b]	สารเหนียวสีน้ำตาลปนเหลือง
บัวบก	24.300[c]	สารเหนียวสีน้ำตาลปนเขียว
ขมิ้น	23.800[c]	สารเหนียวสีเหลืองส้ม
ดอกคำฝอย	40.067[a]	สารเหนียวสีน้ำตาลปนส้ม

[a,b,c,...] หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.2.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (total phenolic) และ ปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonoid content) ในสารสกัดสมุนไพร

เมื่อทำการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของสารสกัดหยาบจากสมุนไพร ทั้ง 4 ชนิดที่ทำการสกัดด้วยน้ำ พบว่า สารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 4-6 โดยมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 24.89 $\pm$ 1.35 ถึง 159.01 $\pm$ 1.59 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิคในสารสกัด 1 กรัม และพบว่าสารสกัดหยาบจากดอกคำฝอยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงที่สุด โดยสารประกอบฟีนอลิคที่พบมากในคำฝอยได้แก่ สารในกลุ่ม โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และ สารโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) (Salem *et al.*, 2011) ในขณะสารสกัดหยาบจากขมิ้น มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดต่ำที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารสกัดหยาบจากสมุนไพรทั้ง 4 ชนิดมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์อยู่ในช่วงระหว่าง 5.33 $\pm$ 0.19 ถึง 37.75 $\pm$ 0.54 มิลลิกรัมสมมูลของสารมาตรฐานแคททิคินในสารสกัดหนัก 1 กรัม โดยพบว่าสารสกัดหยาบจากใบมะรุมมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด ในขณะที่สารสกัดหยาบจากขมิ้นมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ต่ำที่สุด และพบว่าสารสกัดหยาบจากดอกคำฝอยมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างจากสารสกัดหยาบจากใบบัวบก ซึ่งความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและสารฟลาโวนอยด์ในสมุนไพรชนิดต่างๆอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของสารสำคัญในพืชแต่ละชนิด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับ

การรายงานของ (Sumazian *et al*, 2010) ที่รายงานว่าสารสกัดจากใบบัวบกด้วยน้ำจะมีปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด และสารฟลาโวนอยด์สูงกว่าสารสกัดจากขมิ้นชัน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการรายงานของ Tilak *et al.* (2004) ซึ่งรายงานว่า สารสกัดหยาบจากขมิ้นชันด้วยน้ำร้อนมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วง 3.579 ± 0.28 ถึง 7.029 ± 0.11 มิลลิกรัมเควอซิทินต่อกรัมของขมิ้นสด

ตารางที่ 4-6 ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดสมุนไพรชนิดต่างๆ

สมุนไพร	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (มิลลิกรัมเดทเทคินต่อกรัมสารสกัด)
มะรุม	133.48 ± 1.11^{b}	37.75 ± 0.54^{a}
บัวบก	45.79 ± 1.92^{c}	25.52 ± 0.87^{b}
ขมิ้น	24.89 ± 1.35^{d}	5.33 ± 0.19^{c}
ดอกคำฝอย	159.01 ± 1.59^{a}	25.69 ± 0.30^{b}

$^{a,b,c,..}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.2.3 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity)ของสารสกัดหยาบจากสมุนไพร

จากผลการศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด พบว่า สมุนไพรทั้ง 4 ชนิดมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-7 โดยพบว่า สารสกัดหยาบจากใบมะรุม ใบบัวบกและดอกคำฝอย มีคุณสมบัติที่ดีในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน BHT โดยค่าความเข้มข้นที่ต้านอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง (IC_{50}) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 73.59±1.40 ถึง 106.04±0.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Salem *et al.*, (2011) ซึ่งพบว่าสารสกัดหยาบจากดอกคำฝอยมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าสารมาตรฐาน BHT และสอดคล้องกับการรายงานของ Sumazian *et al*, (2010) ซึ่งรายงานว่าสารหยาบสกัดจากใบบัวบกด้วยน้ำร้อน มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดหยาบจากขมิ้นด้วยน้ำร้อน จากการทดลองพบว่า สารสกัดจากใบมะรุมมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด และมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ไม่แตกต่างจากสารสกัดใบบัวบก ($p>0.05$) โดย Pari *et al.* (2007) รายงานว่า สารสกัดจากใบมะรุมด้วยน้ำมีประสิทธิภาพดีในการต้านอนุมูลอิสระ

DPPH โดยสารสำคัญในใบมะรุมที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี ได้แก่ สารในกลุ่มกรดฟีนอลิค ซึ่งได้แก่สารแคฟีอิค (caffeic), พารา- คูมาริค (*p*-coumaric) เฟอรูริค (ferulic) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิคที่พบในสารสกัดจากใบมะรุมด้วยน้ำ นอกจากนี้ยังพบสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งได้แก่สารฟลาวานอล (flavanols) และฟลาโวนอล (flavonols) ในขณะที่สารสำคัญที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีในสารสกัดหยาบจากใบบัวบก ได้แก่สาร อะเซียติโคไซด์ และสารฟลาโวนอยด์ โดยสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากในใบบัวบกได้แก่สารไมริซีติน (Myricetin) และ เควอซีติน (Mustafa *et al*, 2009) ในขณะสารสกัดจากขมิ้นชันมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้น้อยที่สุด ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของพืชแต่ละชนิดอาจเกิดจากสมุนไพรชนิดต่างๆมีชนิดและปริมาณสารสำคัญที่มีประสิทธิภาพต้านอนุมูลอิสระได้แตกต่างกัน โดยสารสำคัญในสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้แก่สารในกลุ่ม เทอร์พีนอยย์ สเตียรอยด์ และสารประกอบฟีนอลิค เช่น แทนนิน คูเมอร์ริน และฟลาโวนอยด์ โดยสารประกอบฟีนอลิค มีความสัมพันธ์กับการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พืชที่มีปริมาณสารฟีนอลิคสูงจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี (Mustafa *et al*, 2009) Amic *et al*. (2003) รายงานกลไกของสารจำพวกฟีนอลิคที่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ว่า เกิดจากการให้อิเลกตรอนของสารประกอบฟีนอลแก่อนุมูลอิสระ โดยที่อนุมูลอิสระ ($DPPH^{\bullet}$) ในสารละลายจะมีสีม่วง เมื่อรับอิเลกตรอนจากสารประกอบฟีนอล จะได้เป็นสาร DPPH ซึ่งจะเห็นเป็นสีเหลือง ส่วน phenoxy radical ที่เกิดขึ้นจะจับตัวกันเองหรือจับตัวกับ $DPPH^{\bullet}$ ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระหมดไป

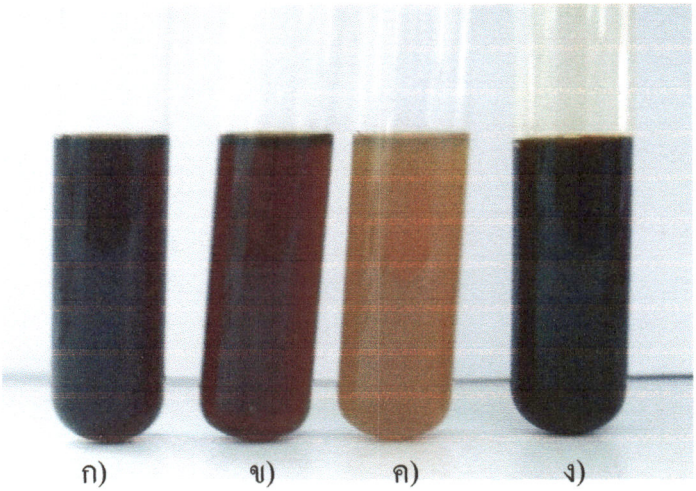
ตารางที่ 4-7 ปริมาณฟีนอลิคหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดสมุนไพรชนิดต่างๆ

สมุนไพร	ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ต้านอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}), µg/ml
มะรุม	81.27 ± 1.27^{a}
บัวบก	73.59 ± 1.40^{a}
ขมิ้น	1448.42 ± 4.42^{d}
ดอกคำฝอย	106.04 ± 0.95^{b}
BHT	226.56 ± 1.05^{c}

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

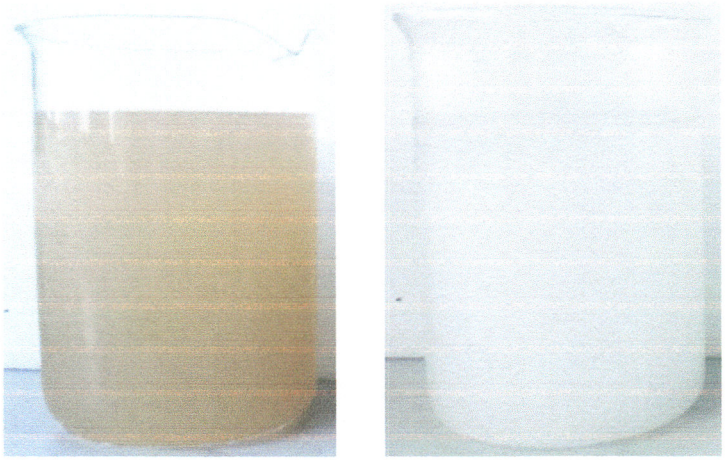
จากการเตรียมสารเคลือบสมุนไพร โดยนำสารสกัดสมุนไพรมาผสมกับสารเคลือบ ทั้งนี้ใช้สารสกัดจากสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชัน และดอกคำฝอย แสดงดังภาพที่ 4-2 ซึ่งสังเกตได้ว่าสารสกัดแต่ละชนิดมีสีแตกต่างกัน กล่าวคือ สารสกัดใบบัวบกมีสีน้ำตาลเขียวเข้ม สารสกัดใบมะรุมมีสีเขียวอมน้ำตาล สารสกัดขมิ้นชันมีสีเหลือง และสารสกัดดอกคำฝอยมีสีน้ำตาลเหลืองเข้ม ทั้งนี้อาจเนื่องจากสมุนไพรแต่ละชนิดมีรงควัตถุและสารที่เป็นองค์ประกอบในชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน และเนื่องจากใบบัวบกและใบมะรุมมีสีเขียว รงควัตถุที่สำคัญเหมือนกันคือ คลอโรฟิลล์ อย่างไรก็ตามเมื่อสกัดได้เป็นสารสกัดที่มีสีออกน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการสกัดใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้คลอโรฟิลล์ที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ เมื่อได้รับความร้อนไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้ง่าย จะได้สารที่ชื่อว่าฟีโอไฟติน ซึ่งมีสีเขียวอมน้ำตาล (Hanno K. et al., 1998) ส่วนขมิ้นชันและดอกคำฝอยมีสีเหลือง รงควัตถุที่สำคัญเหมือนกันคือ แคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุเฉพาะในขมิ้นชันคือ เคอร์คูมิน (curcumin) ซึ่งเป็นสารสีเหลืองส้ม (อุดมการณ์ อินทุใส และ ปาริชาติ ทะนานแก้ว, 2549) และในดอกคำฝอยคือ คาร์เทมิน (carthamin) ซาโพจินิน (Sapogenie) และซาโฟมีนเอ (Safflomin A) ซึ่งเป็นสารสีแดง (สมพร ภูติยานันต์, 2551) ในขั้นตอนการสกัดสมุนไพรด้วยน้ำร้อน จะเกิดการสกัดสารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกสารประกอบฟีนอลิค สารรงควัตถุ และน้ำมันหอมระเหย (Jin et al., 2008)

จากการเตรียมสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด พบข้อสังเกตว่าสามารถเตรียมสารละลายได้ง่าย โดยเพคตินสามารถละลายน้ำได้ง่าย และทำให้ได้สารละลายมีสีออกเหลือง ส่วนแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลสามารถละลายน้ำได้ง่ายเช่นกัน และได้เป็นสารละลายสีขาว แสดงดังภาพที่ 4-3 เมื่อเตรียมสารเคลือบสมุนไพรโดยนำสารสกัดสมุนไพรมาผสมกับสารเคลือบแล้วมีลักษณะแสดงดังภาพที่ 4-4



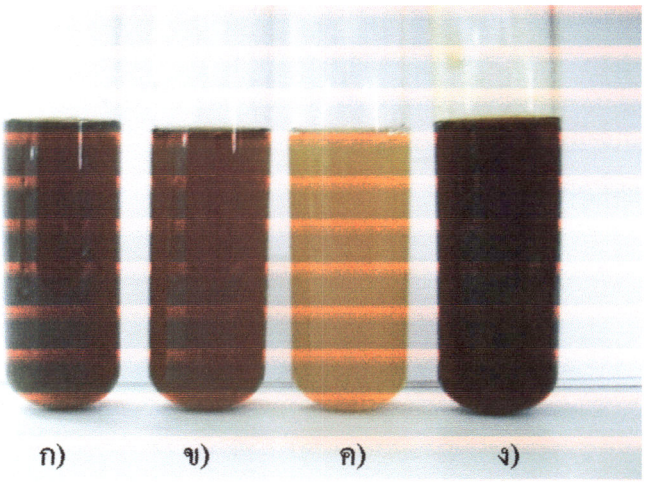
ก) ข) ค) ง)

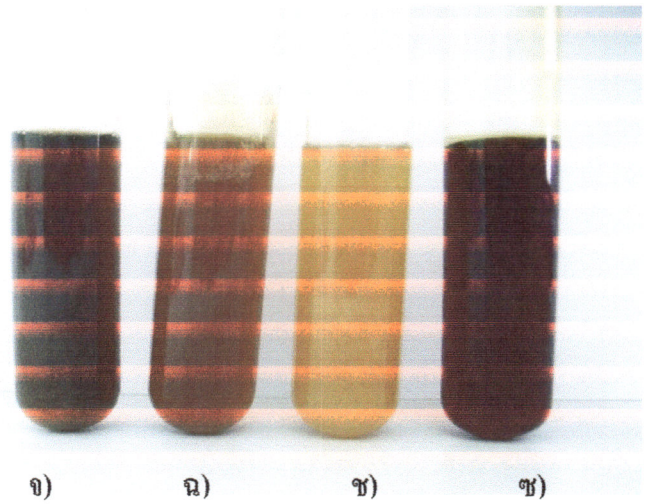
ภาพที่ 4-2 สารสกัดสมุนไพร ก) ใบบัวบก ข) ใบมะรุม ค) ขมิ้นชัน และ ง) ดอกคำฝอย ความเข้มข้น 10% (w/w)



ก) สารละลายเพคติน ข) สารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล

ภาพที่ 4-3 สารเคลือบ ก) สารละลายเพคติน และ ข) สารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล





ภาพที่ 4-4 สารเคลือบสมุนไพร ก) สารเคลือบเพคตินใบบัวบก ข) สารเคลือบเพคตินใบมะรุม ค) สารเคลือบเพคตินขมิ้นชัน ง) สารเคลือบเพคตินดอกคำฝอย จ) สารเคลือบผสมแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลใบบัวบก ฉ) สารเคลือบผสมแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลใบมะรุม ช) สารเคลือบผสมแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลขมิ้นชัน และ ซ) สารเคลือบผสมแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลดอกคำฝอย

2.3 ผลของการสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาในการทำแห้ง

เนื่องจากหลังกระบวนการแช่ข้าวกล้องงอกในสารเคลือบสมุนไพร ทำให้ข้าวมีความชื้นสูงขึ้น จำเป็นต้องลดความชื้นลง โดยการนำข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 ชนิด มาอบแห้งในตู้อบลมร้อน จากการทดลอง พบว่าเมื่อนำข้าวกล้องงอกมาเคลือบด้วยสารเคลือบสมุนไพร โดยการแช่ทำให้ข้าวมีความชื้นอยู่ในช่วง 49.62-45.76 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเพื่อลดความชื้นของข้าวลงจึงนำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยต้องการควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 12-13 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ทำนายเวลาในการทำแห้งจากการสร้างกราฟการทำแห้ง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง แสดงดังภาพในภาคผนวก และสมการความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลา (x) ในการทำนายเวลาการทำแห้งข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4-8 พบว่า สมการของทุกสิ่งทดลองมีค่า R^2 ซึ่งแสดงถึงค่าความน่าเชื่อถือของสมการค่อนข้างสูง โดยทั่วไปสมการที่มักนำมาใช้ ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 แสดงถึงสมการมีความน่าเชื่อถือมาก (Haaland, 1998; Hu, 1999) ซึ่งจากสมการทำนายเวลาในการทำแห้งข้าวกล้องงอกทั้ง 8 สิ่งทดลอง เพื่อให้ได้ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ ต้องนำไปอบแห้งนาน 245.00– 249.52 นาที ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติการจริงจึงปรับเวลาการอบแห้งให้สามารถจับเวลาได้สะดวกขึ้น รายละเอียดเวลาที่ใช้ทำแห้งจริงระบุไว้ในตารางที่ 4-1 โดยอยู่ในช่วง 245– 250 นาที เมื่อวัดปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ได้ของข้าวกล้องงอกทั้ง 8 สิ่งทดลอง พบว่าอยู่ในช่วง 12.03 – 12.40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามความชื้นที่กำหนดไว้ทุกสิ่งทดลอง

ตารางที่ 4-8 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลา(x) ในการทำนายเวลาการทำแห้งข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	สมการ	R^2	เวลาที่ทำนายได้ (นาที)	เวลาที่ใช้ทำแห้งจริง (นาที)	ความชื้นสุดท้ายที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)
1	เพคติน	ใบบัวบก	y = -0.1057x + 37.897	0.9578	245.00	245	12.03 ± 0.08
2	เพคติน	ใบมะรุม	y = -0.1029x + 37.329	0.9576	246.15	246	12.15 ± 0.16
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	y = -0.1093x + 38.950	0.9653	246.57	247	12.13 ± 0.09
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	y = -0.1069x + 38.554	0.9507	248.40	248	12.15 ± 0.18
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	y = -0.1086x + 39.073	0.9504	249.29	249	12.35 ± 0.21
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	y = -0.1107x + 39.404	0.9568	247.55	248	12.40 ± 0.15
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	y = -0.1119x + 39.867	0.9529	249.03	249	12.22 ± 0.33
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	y = -0.1109x + 39.672	0.9547	249.52	250	12.18 ± 0.18

2.3 ผลของชนิดสมุนไพรและชนิดของสารเคลือบต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการหุงสุก และหลังการล้างและหุงสุก

จากการพิจารณาลักษณะปรากฏ พบว่าเมล็ดข้าวกล้องงอกที่ผ่านการเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลองยังคงมีลักษณะเป็นเมล็ดข้าวสมบูรณ์และมีลักษณะคล้ายกัน แต่มีเพียงด้านสีที่สังเกตเห็นความแตกต่าง โดยในสิ่งทดลองที่ 4 และ 8 มีสีเหลืองเข้มกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวใช้สารสมุนไพรคือ ดอกคำฝอย ซึ่งสารสกัดจากดอกคำฝอยมีสีเหลืองเข้มมากจากรงควัตถุที่ให้สีเหลืองคือ แซฟฟลาเวอร์ เยลโลว์ (Saffower yellow) และรงควัตถุที่ให้สีแดงคือ คาร์เทมิน (Carthamin) ซาโพจินิน (Sapogenin) และซาโฟมีนเอ (Safflomin A) ตามที่กล่าวไว้ตั้งแต่ต้น นอกจากนี้มีรายงานว่าดอกคำฝอยมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวคือ กรดไขมันไลโนเลอิค และกรดไขมันโอเลอิค เป็นองค์ประกอบสำคัญด้วย อาจมีผลให้สารรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ ซึ่งละลายได้ดีในน้ำมัน สามารถคงตัวได้ และสามารถยึดติดกับผิวข้าวกล้องได้ดีกว่าสมุนไพรชนิดอื่น (สมพร ภูติยานันต์, 2551; M.F. Marcone, 2003)

เพื่อศึกษาผลของชนิดสมุนไพรและชนิดของสารเคลือบต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการหุงสุก และหลังการล้างและหุงสุก ดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล(ANOVA) สำหรับค่าสมบัติการเป็นต้านสารอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแข็ง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ (ด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวม) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก และสามารถสรุปผลของชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างหุงสุกและหลังการล้างและหุงสุกได้ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสมุนไพร (Herb : H) และชนิดสารเคลือบ (Coating : C) ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

ค่าคุณภาพ	หลังการล้าง			หลังการล้างและหุงสุก			หลังการหุงสุก		
	H	C	H×C	H	C	H×C	H	C	H×C
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig
L*	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig
a*	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig
b*	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig
ความแข็ง	-	-	-	ns	sig	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	-	-	-	sig	ns	ns	sig	ns	ns
ความชอบด้านกลิ่นรส	-	-	-	sig	ns	sig	sig	sig	sig
ความชอบด้านความนุ่ม	-	-	-	ns	ns	ns	ns	sig	ns
ความชอบโดยรวม	-	-	-	sig	ns	sig	sig	ns	sig

หมายเหตุ sig หมายถึง มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ns หมายถึง ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

- หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง

จากตารางที่ 4-9 พบว่าปัจจัยด้านชนิดสมุนไพรและชนิดสารเคลือบ มีอิทธิพลร่วมกันต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ค่า L* a* และ b* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการหุงสุก และหลังการล้างและหุงสุก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับด้านค่าความแข็ง พบว่า ชนิดสมุนไพรและชนิดสารเคลือบไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุกและหลังการหุงสุก มีเพียงปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบที่มีผลต่อค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ชนิดของสมุนไพรและชนิดสารเคลือบมีอิทธิพลร่วมกันต่อความชอบด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวมของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุกและหลังการหุงสุก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อความชอบด้านสีและความชอบด้านความนุ่ม มีเพียงปัจจัยด้านชนิดสมุนไพรที่มีผลต่อความชอบด้านสีของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบที่มีผลต่อความชอบด้านความนุ่มของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.3.1 ค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก แสดงดังตารางที่ 4-10

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 และ 8 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคตินและสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ 93.12% และ 92.31% ตามลำดับ ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 และ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบเพคตินและสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล ตามลำดับ มีค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากันและมีค่าต่ำที่สุดคือ 85.70% ($p<0.05$)

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดคือ 88.53 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดคือ 74.63% ($p<0.05$)

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สารสมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ 90.82% ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดคือ 81.24% ($p<0.05$)

จากผลการทดลองเห็นได้ว่า การใช้สารสมุนไพรที่สกัดจากดอกคำฝอยมาเคลือบข้าวทั้งที่ใช้ร่วมกับเพคตินหรือสารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีแนวโน้มให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกทั้งหลังการล้าง หลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก มีค่ามากกว่าการใช้สารเคลือบสมุนไพรชนิดอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในดอกคำฝอยมีสารที่มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น มีการวิจัยรายงานถึงผลการเปรียบเทียบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากการใช้ตัวทำละลายเมทานอลจากพืชบางชนิดที่มีสรรพคุณทางยา พบว่าสารสกัดจากดอกคำฝอย มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH สูงถึง 80% ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับวิตามินซีที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน ทั้งนี้สูงกว่าสารสกัดจากพืชชนิดอื่นได้แก่ รากแดนดิไลออน (Dandelion root) และใบผักกาดเขียวจีน (Mustard leafe) (S.-H. Lee et., 2007) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าในดอกคำฝอยมีสารในกลุ่มของวิตามินอีหรือโทโคฟีรอล

ตารางที่ 4-10 ค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	radical scavenging activity (%)		
			หลังการล้าง	หลังการล้างและหุงสุก	หลังการหุงสุก
1	เพคติน	ใบบัวบก	85.70±0.23^{d}	74.63±0.23^{g}	82.86±0.62^{d}
2	เพคติน	ใบมะรุม	90.28±0.81^{b}	79.22±0.93^{d}	85.83±0.40^{c}
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	89.88±0.40^{b}	81.22±0.84^{c}	85.70±0.84^{c}
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	93.12±0.40^{a}	88.53±0.23^{a}	90.82±0.23^{a}
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	85.70±0.93^{d}	77.46±0.23^{ef}	81.24±0.62^{e}
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	88.26±0.40^{c}	78.27±0.23^{e}	85.70±0.23^{c}
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	89.61±0.23^{b}	77.33±0.40^{f}	83.40±0.40^{d}
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	92.31±0.40^{a}	84.35±0.23^{b}	89.88±0.40^{b}

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ปริมาณสูงโดยอยู่ในรูปของ แอลฟ่า-โทโคฟีรอล เดลต้า-โทโคฟีรอล และแกมม่า-โทโคฟีรอล ในปริมาณ 223 33 และ 3.9 mg/kg oil ตามลำดับ (M.F. Marcone, 2003) อีกทั้งในดอกคำฝอยยังมีรงควัตถุให้สีเหลืองคือ แซฟฟลาเวอร์ เยลโลว์ (Safflower yellow) และรงควัตถุที่ให้สีแดงคือ คาร์เทมิน (Carthamin) ซาโพจินิน (Sapogenin) และซาโฟมีนเอ (Safflomin A) ซึ่งจัดเป็นสารประกอบฟีนอลิค (สมพร ภูติยานันต์, 2551) ดังนั้นจึงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระคงอยู่มากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น อีกทั้งในข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามินซี วิตามินอี กรดเฟอรูลิกและกรดฟีนอลิคทั้งหมด รวมทั้งสารแกมมา-อะมิโนบิวทิริกแอซิด ในปริมาณมากขึ้นจึงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น (Tian et al., 2004) ดังนั้นในการทดลองนี้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระส่วนหนึ่งที่วิเคราะห์ได้เป็นส่วนที่มาจากการงอกของข้าวด้วย

การใช้สารเคลือบจากเพคตินมีผลช่วยให้สารพฤกษเคมีที่สำคัญจากสารสมุนไพรนั้นเคลือบติดกับเมล็ดข้าวได้ เนื่องจากเพคตินเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยสายโซ่ galacturonic acid ต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 และมีการแทนที่ด้วยกลุ่ม methyl ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติการละลาย ในการทดลองนี้ใช้เพคตินแบบ high-methoxyl pectins ซึ่งมีสมบัติในการละลายน้ำที่ดี สามารถเกิดเจลและเกิดฟิล์มเคลือบให้ความมันวาว และผิวหน้าไม่เหนียวติด (Sanderson, 1981; Kester and Fennema,1986) อีกทั้งสารละลายของเพคตินมีความเป็นกรด ดังนั้นจึงสามารถทำปฏิกิริยากับสตาร์ชที่ผิวหน้าของเมล็ดข้าวทำให้เกิดชั้นของน้ำตาลบางๆ ขึ้น (Bramall, 1986) ซึ่งน้ำตาลจะดึงน้ำออกจากโมเลกุลเพคติน เนื่องจากน้ำตาลเป็นสารที่มีกลุ่มไฮดรอกซิลมาก จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้กลุ่มไฮดรอกซิลของโมเลกุลเพคตินเป็นอิสระ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนบนโมเลกุลเพคตินอื่นได้ต่อไป และหมู่ไฮดรอกซิลจากกรดจะช่วยลดการแตกตัวของกลุ่มคาร์บอกซิล ทำให้สายของเพคตินโมเลกุลเข้ามาใกล้กันได้ และเกาะตัวกันโดยการเชื่อมพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของกลุ่มโพลาร์ของโมเลกุลเพคตินที่อยู่ใกล้กัน เกิดเป็นตาข่ายร่างแหสามมิติ ที่สามารถกักของเหลวไว้ภายในได้ โมเลกุลของเพคตินเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่นมีลักษณะเป็นเจล (นิธิยา รัตนปนนท์, 2545) จึงสามารถเคลือบสารสมุนไพรต่างๆ ติดบนเมล็ดข้าวได้นั่นเอง

ในขณะที่การใช้แป้งมันสำปะหลังร่วมกับซอร์บิทอลก็มีผลช่วยให้เกิดการเคลือบติดกับเมล็ดข้าวได้เช่นกัน โดยคุณลักษณะของแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีอัตราส่วนของปริมาณอะไมโลเพคตินต่ออะไมโลส เท่ากับ 80 ต่อ 20 จึงทำให้สารละลายแป้งที่ได้มีความเหนียว เพราะอะไมโลเพคตินมีส่วนสำคัญที่ทำให้น้ำแป้งมีความเหนียว เมื่อนำมาให้ความร้อนจะมีความใส มีความหนืดสูง และสามารถเกิดฟิล์มเคลือบได้ ในขณะที่ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิด

หนึ่ง มีสมบัติในการรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์มได้ดี มีส่วนช่วยให้ฟิล์มมีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น (Sacharow, 1976) มีงานวิจัยรายงานว่าการใช้สารละลายแป้งร่วมกับซอร์บิทอลทำให้สารเคลือบมีความหนืดคงตัว และเกิดฟิล์มที่มีความเหนียวยืดหยุ่น ไม่แตกเปราะง่าย (กฤษฎา งามทับ, 2550) Laohakunjit and Noomhorm. (2004) รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซอร์บิทอลในสารละลายแป้งข้าวเจ้าในช่วง 20-45% (w/w) ทำให้ฟิล์มของสารเคลือบที่ได้มีความนิ่มและมีความเหนียวดีขึ้น

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ข้าวหลังการล้างและหุงสุก และข้าวหลังการหุงสุก พบว่าการใช้สารเคลือบจากเพคตินทำให้ข้าวมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังร่วมกับซอร์บิทอล แม้ทั้งเพคตินและมันสำปะหลังจะเป็นสารเคลือบประเภทคาร์โบไฮเดรตเหมือนกัน ซึ่งมีสมบัติที่ดีหลายประการได้แก่ มีความข้น ความหนืด ความเหนียว และความสามารถอยู่ในรูปของเจล แต่อาจมีสมบัติเฉพาะที่สำคัญบางประการที่แป้งมันสำปะหลังอาจด้อยกว่าในการใช้เป็นสารเคลือบสมุนไพร มีรายงานว่าการเกิดฟิล์มของแป้งมันสำปะหลัง เมื่อมีการเติมสารสกัดที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันหอมระเหย ทำให้ฟิล์มเปราะแตกง่าย (กฤษฎา งามทับ, 2550) จึงมักมีการใช้เพคตินเป็นสารเคลือบข้าว ตัวอย่างเช่นงานวิจัย Shrestha *et al.* (2003) ที่มีการเติมกรดโฟลิคลงในเมล็ดข้าวแล้วเคลือบด้วยเพคติน พบว่า ข้าวพรีมิกซ์ที่เคลือบด้วยเพคตินสามารถป้องกันการสูญเสียกรดโฟลิค จากการหุงต้มโดยใช้ปริมาณน้ำที่มากเกินพอได้ถึง 31% และงานวิจัยของลลิตา ชาติยานนท์ (2549) พบว่าสามารถผลิตข้าวพรีมิกซ์เคลือบวิตามินได้โดยใช้สารละลายเพคตินเป็นสารเคลือบ โดยข้าวที่ใช้เพคตินที่มีปริมาณเมทอกซิล 36 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการสูญเสียไทอะมีน และไรโบฟลาวินจากการล้างน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการหุงสุก และหลังการล้างและหุงสุก ของทุกสิ่งทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 85.70-93.12% 81.11-90.82% และ 77.33-88.53% ตามลำดับ จากแนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการล้างและการหุงสุก ส่งผลให้ค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการล้างมีการแช่เมล็ดข้าวในน้ำ และเกิดการเสียดสีกันเองของเมล็ดข้าว จึงมีโอกาสทำให้สารเคลือบหลุดออกจากเมล็ดข้าวหรือมีการเกาะติดน้อยลง สารสมุนไพรที่เคลือบอยู่จึงสามารถละลายไปกับน้ำล้างได้ และการใช้ความร้อนในการหุงข้าว (อุณหภูมิ 97±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที) อาจทำให้สารต้านอนุมูลอิสระจำพวกแคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิค วิตามินซี ที่มีอยู่ในข้าวกล้องงอกและสารพฤกษเคมีในสารสมุนไพรสูญเสียไปด้วยความร้อน ซึ่งแคโรทีนอยด์จะเปลี่ยนจาก trans-form เป็น cis-form โดยมี

ความร้อนเป็นปัจจัยในการเปลี่ยนแปลง(นิธิยา รัตนปนนท์, 2545) ส่วนสารประกอบฟีนอลิคมีทั้งชนิดที่ละลายและไม่ละลายน้ำ และบางชนิดสามารถสลายตัวได้ด้วยความร้อน (Tain et al., 2004) และวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิคเป็นสารประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน แสงและอุณหภูมิที่ทำให้กรดแอสคอร์บิคเสื่อมสลายได้ (Birch *et al.*, 1977) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีผลทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวหลังการล้างและหุงสุกลดลงได้ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thitima Kuljarachanan *et al.* (2009) ที่รายงานว่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกากมะนาวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนจากการลวกและการทำแห้งลดลง โดยเกิดจากแนวโน้มของปริมาณวิตามินซีและสารประกอบฟีนอลิคมีปริมาณลดลงนั่นเอง

2.3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สารประกอบฟีนอลิค คือ สารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวน (aromatic ring) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เข้ามาแทนที่ซึ่งอาจเข้ามาแทนที่ 1 หมู่ หรือมากกว่า สารประกอบฟีนอลิคสามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้จากโครงสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ จำนวนคาร์บอน และหมู่ที่เข้ามาแทนที่ในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งมีการจำแนกชนิดของสารประกอบฟีนอลิคมากกว่า 8,000 ชนิด โดยจำแนกเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ กรดฟีนอลิค (phenolic acid) ลิกนิน (lignin) กรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์ (hydroxycinnamic acid andderiviatives) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) (วันพรรษา ชุติปัญญา, 2549) ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลิคที่มีการจำแนกตามหมู่ที่เข้ามาแทนที่เช่น กรดซีนามิค (cinnamic acid) กรดคาเฟอิค (caffeic acid) กรดคลอโรจีนิค (chlorogenic acid) แอนโธไซยานิน (anthocyanin) และแทนนิน (tannin) ซึ่งมีสารฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) เป็นโมเลกุลต้นแบบ (precursor) (Krit-Etherton et al., 2002)

โดยปกติข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการงอก เนื่องจากในระหว่างการงอกจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีทำให้เกิดสารเคมีที่สำคัญต่างๆ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิค เช่น กรดเฟอรูลิกและกรดฟีนอลิคทั้งหมด Tian et al. (2004) พบว่าสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้จากข้าวกล้องงอกประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลที่ละลายน้ำ และสารประกอบฟีนอลที่ไม่ละลายน้ำ โดยมีปริมาณฟีนอลที่ไม่ละลายน้ำในปริมาณสูงกว่าสารประกอบฟีนอลที่ละลายน้ำ ทั้งนี้ในข้าวกล้องงอกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่ละลายน้ำ 1.45 mg/100 g flour และสารประกอบฟีนอลิคที่ไม่ละลายน้ำ 24.78 mg/100 g flour ในขณะที่ข้าวขาวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่ละลายน้ำ 0.28 mg/100 g flour และสารประกอบฟีนอลิคที่ไม่ละลายน้ำ 5.77 mg/100 g flour ดังนั้นในการทดลองนี้สารประกอบฟีนอลิคส่วนหนึ่งที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นส่วนที่มาจากการงอกของข้าว

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างละหุงสุก และหลังการหุงสุก แสดงดังตารางที่ 4-11

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงที่สุด คือ 129.44 mg/g crude extract ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสาร

ตารางที่ 4-11 ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด(mg/g crude extract)		
			หลังการล้าง	หลังการล้างและหุงสุก	หลังการหุงสุก
1	เพคติน	ใบบัวบก	121.18±0.29^{b}	23.58±0.48^{b}	31.45±0.22^{b}
2	เพคติน	ใบมะรุม	129.44±0.48^{a}	24.67±0.19^{a}	36.75±0.33^{a}
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	44.55±0.29^{f}	20.39±0.55^{c}	27.93±0.19^{c}
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	111.16±0.38^{c}	20.58±0.40^{c}	27.48±0.59^{d}
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	41.93±0.19^{g}	15.08±0.38^{e}	17.83±0.29^{e}
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	103.23±0.22^{d}	21.09±0.29^{c}	29.02±0.22^{bc}
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	38.80±0.40^{h}	13.87±0.11^{f}	18.98±0.59^{e}
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	87.57±0.87^{e}	17.13±0.48^{d}	24.10±0.19^{d}

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 38.80 mg/g crude extract ($p<0.05$)

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่าสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงที่สุด คือ 24.67 mg/g crude extract ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 13.87 mg/g crude extract ($p<0.05$)

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่าสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงที่สุด คือ 36.75 mg/g crude extract ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 และ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกและขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 17.83 และ 18.98 mg/g crude extract ตามลำดับ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าการใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคตินในข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก มีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากปริมาณฟีนอลิคของสารสกัดสมุนไพรใบมะรุม มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิค ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำมากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น (ปฐม โสมวงศ์, 2552) มีการวิจัยรายงานว่าใบมะรุมเป็นแหล่งสำคัญของสารประกอบฟีนอลิคและสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และให้ผลการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ของสารสกัดจากใบมะรุมอ่อนและใบมะรุมแก่ พบว่าสารสกัดจากใบมะรุมอ่อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ 36.02 และ 15 mg/g ตามลำดับ และสารสกัดจากใบมะรุมแก่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ 45.81 และ 27 mg/g ตามลำดับ (Sreelatha, 2009) ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้สารสกัดจากใบมะรุมแก่ด้วย จึงคาดว่ามีสารดังกล่าวในปริมาณสูง และจากการทดลอง พบว่าการใช้สารเคลือบเพคตินมีแนวโน้มทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าการใช้สารเคลือบจากแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล เมื่อเปรียบเทียบที่สมุนไพรชนิดเดียวกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองข้อ 4.3.1 และเนื่องจากสมบัติเฉพาะที่สำคัญบางประการที่แป้งมันสำปะหลังอาจด้อยกว่าดังที่ได้ให้เหตุผล

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก ของทุกสิ่งทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 41.93-129.44 13.87-24.67 และ 17.83-36.75 mg/g crude extract ตามลำดับ จากแนวโน้ม

ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการล้างและการใช้ความร้อนในการหุงสุกส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดลดลง เนื่องจากการล้างข้าวกล้องงอกด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 60 วินาที พร้อมกับการเขย่าทำให้สารประกอบฟีนอลิคซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำ ละลายออกมากับน้ำที่ใช้ล้าง และการใช้ความร้อนในการหุงที่อุณหภูมิ 97±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทำให้สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดที่มีอยู่ในข้าวกล้องงอก และสารสมุนไพรสูญเสียไปด้วยความร้อนได้ โดยเฉพาะสารกลุ่มแอนโธไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิคที่ละลายน้ำได้ดี ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน แสง (Lazze M.C. et al., 2004) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kuljarachanan T., *et al.* (2009) ที่รายงานว่าแนวโน้มของสารประกอบฟีนอลิคมีปริมาณลดลง เมื่อมีการให้ความร้อนกับกากมะนาว และ รัดดา กองมะณี (2551) ที่รายงานผลของวิธีการลวกต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์ชีวภาพในผลหม่อนระหว่างการทำแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการลวกผลหม่อนส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคและแอนโธไซยานินลดลง

2.3.3 ค่าสี L* a* b* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าของผู้วิจัยพบว่า สีของข้าวกล้องงอกหลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสมุนไพรชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบสมุนไพรชนิดต่างๆ มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดงใกล้เคียงกัน แต่ข้าวกล้องงอกที่ใช้สารเคลือบสมุนไพรดอกคำฝอยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลออกเหลืองมากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น เมื่อนำมาล้างและหุงสุก พบว่าสีของสารเคลือบที่ผิวของข้าวจางลง และเนื้อขาวที่หุงสุกมีลักษณะเป็นสีขาว เมื่อนำมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี L* a* b* ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก แสดงดังตารางที่ 4-12 ถึง ตารางที่ 4-14

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง พบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่า L* สูงที่สุดคือ 42.69 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า L* ต่ำที่สุดคือ 33.72 ($p<0.05$) ส่วนค่า a* พบว่าสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่า a* สูงที่สุดคือ 16.50 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่า a* ต่ำที่สุดคือ 13.22 ($p<0.05$) และค่า b* พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า b* สูงที่สุดคือ 27.89 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่า b* ต่ำที่สุดคือ 15.71 ($p<0.05$)

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก พบว่าสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่า L* สูงที่สุดคือ 46.36 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่า L* ต่ำที่สุดคือ 41.31 ($p<0.05$) ส่วนค่า a* พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า a* สูงที่สุดคือ 11.58 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล มีค่า a* ต่ำที่สุดคือ 8.68 ($p<0.05$) และค่า b* พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า b* สูงที่สุดคือ 16.08 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบเพคตินมีค่า b* ต่ำที่สุดคือ 8.30 ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-12 ค่า L* ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	ค่า L*		
			หลังการล้าง	หลังการล้างและหุงสุก	หลังการหุงสุก
1	เพคติน	ใบบัวบก	38.26±0.03^{d}	43.79±0.13^{c}	41.78±0.17^{c}
2	เพคติน	ใบมะรุม	37.39±0.08^{e}	42.8±0.08^{d}	39.20±0.27^{g}
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	41.34±0.14^{b}	42.23±0.17^{e}	43.55±0.37^{a}
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	33.72±0.13^{f}	42.39±0.20^{e}	42.66±0.12^{b}
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	37.41±0.21^{e}	46.36±0.13^{a}	40.71±0.10^{f}
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	42.69±0.09^{a}	43.56±0.19^{c}	41.43±0.11^{cd}
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	38.62±0.44^{d}	41.31±0.09^{f}	41.28±0.23^{e}
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	40.38±0.44^{c}	45.73±0.07^{b}	40.61±0.15^{f}

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-13 ค่า a* ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	ค่า a*		
			หลังการล้าง	หลังการล้างและหุงสุก	หลังการหุงสุก
1	เพคติน	ใบบัวบก	15.30±0.07^{c}	9.66±0.07^{d}	10.21±0.10^{d}
2	เพคติน	ใบมะรุม	15.72±0.02^{b}	11.58±0.22^{a}	10.72±0.15^{c}
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	14.23±0.10^{d}	11.16±0.19^{b}	10.69±0.09^{c}
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	15.89±0.03^{b}	10.28±0.07^{c}	9.18±0.06^{f}
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	16.50±0.03^{a}	9.03±0.03^{e}	10.30±0.13^{d}
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	13.74±0.08^{e}	11.29±0.06^{b}	12.06±0.06^{b}
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	13.68±0.27^{e}	10.16±0.05^{c}	12.35±0.14^{a}
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	13.22±0.20^{f}	8.68±0.31^{f}	9.87±0.14^{e}

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-14 ค่า b* ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบ และชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	ค่า b*		
			หลังการล้าง	หลังการล้างและหุงสุก	หลังการหุงสุก
1	เพคติน	ใบบัวบก	21.28±0.09^{b}	8.30±0.26^{f}	9.33±0.05^{f}
2	เพคติน	ใบมะรุม	20.15±0.02^{c}	9.92±0.10^{c}	11.33±0.02^{c}
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	19.59±0.49^{d}	8.73±0.03^{e}	9.85±0.02^{e}
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	27.89±0.09^{a}	16.08±0.02^{a}	19.59±0.21^{a}
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	19.42±0.34^{d}	6.62±0.26^{g}	10.38±0.04^{d}
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	15.71±0.17^{e}	9.32±0.01^{d}	10.29±0.07^{d}
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	19.17±0.12^{d}	8.51±0.15^{ef}	10.34±0.07^{d}
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	21.10±0.09^{b}	12.66±0.20^{b}	17.25±0.03^{b}

$^{a,b,c,..}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังหุงสุก พบว่าสิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า L* สูงที่สุดคือ 43.55 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า L* ต่ำที่สุดคือ 39.20 ($p<0.05$) ส่วนค่า a* พบว่าสิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า a* สูงที่สุดคือ 12.35 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า a* ต่ำที่สุดคือ 9.18 ($p<0.05$) และค่า b* พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า b* สูงที่สุดคือ 19.59 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า b* ต่ำที่สุดคือ 9.33 ($p<0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน มีค่า b* สูงที่สุดในทุกกระบวนแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากในดอกคำฝอยมีแคโรทีนอยด์ และสารสีแดงคือ คาร์เทมิน (carthamin) ซาโพจินิน (Sapogenin) และซาโฟมีนเอ (Safflomin A) (สมพร ภูติยานันต์, 2551) ซึ่งสารสกัดสมุนไพรดอกคำฝอยมีสีเหลืองเข้มมากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น นอกจากนี้สารเคลือบเพคตินที่เตรียมได้มีสีเหลืองอ่อนอยู่แล้ว (ภาพที่ 4-4) จึงทำให้มีค่า b* สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น

เมื่อพิจารณาค่า L* a* b* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก ของทุกสิ่งทดลอง พบว่ามีค่า L* อยู่ในช่วง 33.72-42.69 41.31-46.36 และ 39.20-43.55 ตามลำดับ จากแนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการล้างและการหุงสุก ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรมีค่า L* เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการล้างมีโอกาสให้สารเคลือบที่ผิวข้าวกล้องงอกหลุดออก และการหุงสุกทำให้เนื้อข้าวสุกจึงมีส่วนที่เป็นสีขาวเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่า L* เพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่า a* มีค่าอยู่ในช่วง 13.22-16.50 8.68-11.58 และ 9.18-12.35 ตามลำดับ และค่า b* มีค่าอยู่ในช่วง 15.71-27.89 6.62-16.08 และ 9.33-19.59 ตามลำดับ จากแนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการล้างและหุงสุกมีผลให้ค่า a* และ b* มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดง ซึ่งมีลักษณะภายนอกของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวเป็นสีแดง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการล้างพร้อมกับการเขย่า อาจทำให้ผิวเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและสารเคลือบสมุนไพรที่เคลือบหลุดออก และการใช้ความร้อนในการหุงสุกทำให้รงควัตถุต่างๆ เสื่อมสลายไปได้

2.3.4 ค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

จากตารางที่ 4-15 แสดงค่าความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบ และชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก และที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้งสอง ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 30.259-30.851 N และ 40.117-40.734 N ตามลำดับ ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก มีแนวโน้มของค่าความแข็งต่ำกว่าข้าวกล้องเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการล้างข้าวกล้องงอกด้วยน้ำกลั่นก่อนหุงทำให้เมล็ดข้าวมีการดูดซึมน้ำได้มากกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการล้าง จึงทำให้กระบวนการ gelatinization ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก สามารถเกิดเจลได้ดีเนื่องจากมีน้ำในปริมาณเพียงพอ โดยปกติข้าวกล้องมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอก (pericarp) ที่มีสีแดง เมื่อนำเมล็ดข้าวกล้องมาแช่หรือล้างน้ำส่งผลให้ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลง(อุบลลักษณ์ วงษ์ชื่น, 2547) อาจหลุดลอกได้ขณะล้าง จึงทำให้ข้าวหลังการล้างและหุงสุกมีค่าความแข็งต่ำกว่าข้าวที่ไม่ได้ล้างและหุงสุก มีรายงานว่าคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสหลังการหุงสุกเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการเลือกบริโภคข้าวกล้องงอก วริธร ยิ้มย่อง และ สุนัน ปานสาคร (2552) ได้วัดค่าความแข็งของข้าวกล้องงอกหลังการล้างและหุงสุก พบว่ามีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 26-28 N ซึ่งมีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกรับวนการงอก ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบความนุ่มอยู่ในช่วง 5.70-6.30 ซึ่งหมายถึงความชอบระดับชอบปานกลาง โดย พรพรรณ กอมนชัย (2550) ได้วัดค่าความแข็ง (Hardness) ของข้าวหอมมะลิหุงสุกโดยการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่า ได้รับคะแนนความชอบด้านความนุ่มอยู่ในช่วง 6.00-6.16 ซึ่งหมายถึงความชอบระดับปานกลาง

ตารางที่ 4-15 ค่าความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	ค่า Hardness (N)	
			หลังการล้างและหุงสุก^{ns}	หลังการหุงสุก^{ns}
1	เพคติน	ใบบัวบก	30.73±0.08	40.530±0.30
2	เพคติน	ใบมะรุม	30.85±0.06	40.30±0.26
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	30.54±0.11	40.12±0.02
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	30.80±0.21	40.73±0.15
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	30.32±0.44	40.21±0.08
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	30.26±0.20	40.36±0.41
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	30.30±0.14	40.67±0.08
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	30.30±0.23	40.67±0.39

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

2.3.5 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวม

จากตารางที่ 4-16 แสดงคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวม ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบ และชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก พบว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคะแนนความชอบด้านสี และความนุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยคะแนนอยู่ในช่วง 6.37-7.33 และ 6.07-6.67 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่าแม้คุณภาพด้านสีจากการวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) ทั้งค่า L* a* และb* (ตารางที่ 4-11-4.13) แต่ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสความชอบด้านสี แสดงว่าให้เห็นว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) อาจแสดงให้เห็นว่าแม้สีของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านสีของผู้ทดสอบ หรืออาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างของค่าสีที่เกิดขึ้น ผู้ทดสอบไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างกันได้ด้วยสายตา จึงทำให้ไม่มีผลต่อความชอบของผู้ทดสอบ ในขณะที่ผลการทดสอบคุณภาพด้านความแข็ง จากการวัดด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)ซึ่งให้ผลที่แสดงความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบด้านความนุ่มที่ไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เช่นกัน

จากผลการทดลองคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล และสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 6.77 6.60 และ 6.63 ($p\geq0.05$) ตามลำดับ แต่สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันและซอร์บิทอล ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสต่ำที่สุดคือ 5.27 ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสกัดสมุนไพรขมิ้นชัน และสารสกัดสมุนไพรดอกคำฝอย มีกลิ่นหอมเฉพาะซึ่งเป็นสารสกัดประเภทน้ำมันหอมระเหย และสามารถเกาะติดที่ผิวข้าวได้ดีกว่าสมุนไพรชนิดอื่น (สิริลักษณ์ มาลานิยม, 2545) และ

คะแนนด้านความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดคือ 7.17 ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-16 คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบ และชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	คะแนนความชอบ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			สี^{ns}	กลิ่นรส	ความนุ่ม ^{ns}	ความชอบโดยรวม
1	เพคติน	ใบบัวบก	6.60±0.97	5.50±0.94^{bc}	6.33±0.96	5.30±1.34^{d}
2	เพคติน	ใบมะรุม	6.53±0.82	5.87±0.97^{b}	6.67±0.92	5.37±1.19^{d}
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	6.63±0.56	5.90±0.99^{b}	6.23±0.97	6.10±1.27^{b}
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	7.17±0.91	6.77±0.97^{a}	6.37±0.96	7.17±1.68^{a}
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	6.37±0.93	5.27±0.98^{c}	6.07±0.94	5.43±0.90^{cd}
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	6.53±0.90	5.90±0.99^{b}	6.17±0.99	6.03±0.67^{bc}
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	7.00±0.95	6.60±0.89^{a}	6.33±0.99	6.27±0.98^{b}
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	7.33±0.99	6.63±0.81^{a}	6.23±0.86	6.33±1.35^{b}

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-17 แสดงคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวม ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบ และชนิดสมุนไพร ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก พบว่า ให้ผลเหมือนกับกรณีของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก โดยปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคะแนนความชอบด้านสี และความนุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยคะแนนอยู่ในช่วง 6.70-7.33 และ 6.00-6.50 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง พบข้อสังเกตว่ามีแนวโน้มเหมือนกันทั้งด้านความชอบด้านสีและความนุ่ม

จากผลการทดลองคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก พบว่าให้ผลเหมือนกับกรณีของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก โดยพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคติน สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล และสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสสูงที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 7.60 7.17 และ 7.47 ตามลำดับ แต่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบเพคติน ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสต่ำที่สุดคือ 6.13 ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามจากภาพรวมของคะแนนความชอบด้านต่างๆ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรสของข้าวหลังหุงสุกมากกว่าข้าวหลังการล้างและหุงสุก และความชอบด้านความนุ่มและความชอบโดยรวมมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคตินได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบสูงที่สุด ทั้งกรณีของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุงสุก

ตารางที่ 4-17 คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการหุงสุก

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสารสมุนไพร	คะแนนความชอบ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			สี ^{ns}	กลิ่นรส	ความนุ่ม ^{ns}	ความชอบโดยรวม
1	เพคติน	ใบบัวบก	6.70±0.70	6.13±1.26^{f}	6.50±0.90	5.90±1.56^{cd}
2	เพคติน	ใบมะรุม	6.97±0.85	6.97±0.81^{bc}	6.50±0.63	5.33±1.35^{d}
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	7.10±0.88	6.33±1.63^{e}	6.20±0.76	7.10±1.18^{abc}
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	7.33±0.92	7.60±0.81^{a}	6.23±0.77	7.70±0.92^{a}
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	6.97±0.96	6.80±0.85^{de}	6.07±0.94	5.47±1.55^{d}
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	6.83±0.87	6.90±0.99^{bc}	6.17±0.59	6.57±1.45^{c}
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	7.07±0.64	7.17±0.70^{abc}	6.00±0.74	6.27±1.48^{c}
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	7.27±0.74	7.47±0.86^{ab}	6.10±0.88	7.27±1.62^{ab}

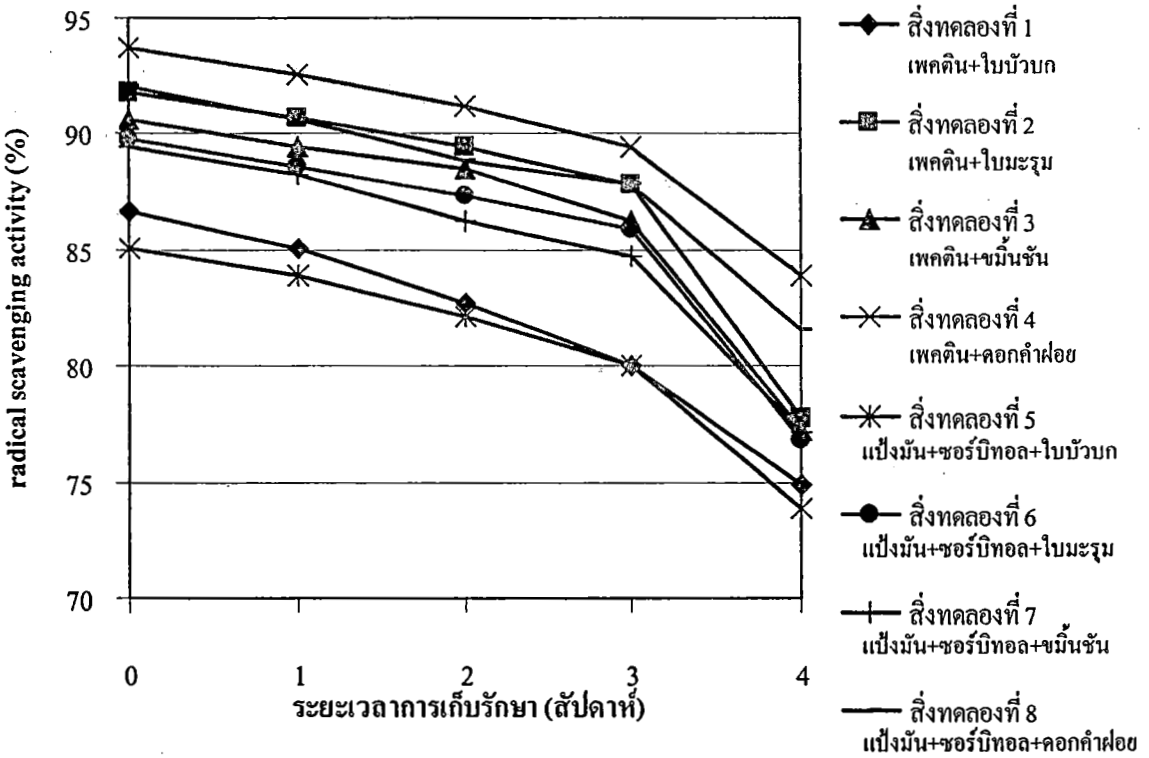
$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำตัวอย่างข้าวกล้องเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ที่ได้มาบรรจุในถุงสุญญากาศชนิด Nylon LDPE ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วสุ่มตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ค่า water activity ปริมาณความชื้น ค่าสี (L* a* และ b*) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา มีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา รายงานผลเป็นค่า radical scavenging activity (%) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

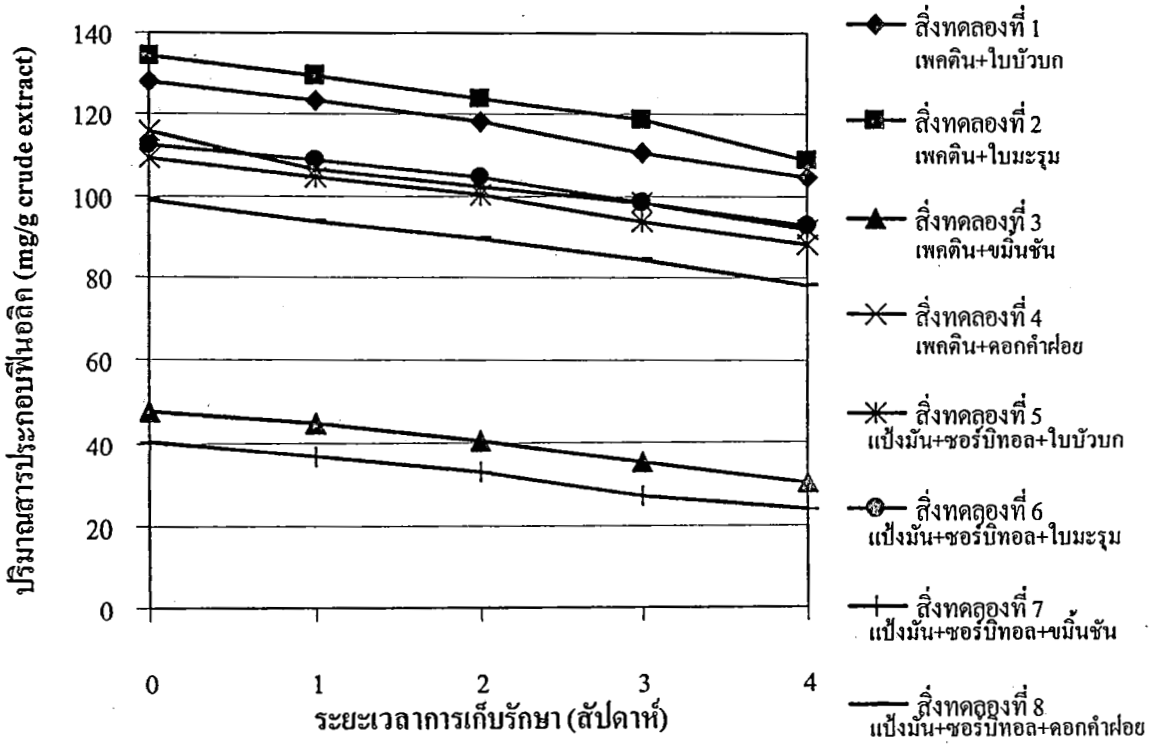
จากภาพที่ 4-5 พบว่าค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้

สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคตินมีแนวโน้มของค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระยังคงอยู่สูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลมีแนวโน้มของค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด ทั้งนี้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่คงอยู่ สอดคล้องกับสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในข้าวตั้งแต่ต้น (สัปดาห์ที่ 0) กล่าวคือหากมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 จะยังคงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสิ่งทดลองอื่นตลอดการเก็บรักษา

การลดลงของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างการเก็บรักษานี้ อาจเนื่องมาจากในข้าวกล้องยังคงมีรำข้าวที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ถ้าปล่อยทิ้งไว้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจะลดปริมาณลงเรื่อยๆ เพราะเมื่อข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกสัมผัสกับแสงเมล็ดข้าวจะเกิดกลไกการเติบโตแบบอัตโนมัติ โดยเอนไซม์จะเข้าไปทำให้ไขมันที่ไม่อิ่มตัวเกิดการแตกตัว ซึ่งในระหว่างกลไกลนี้ สารต้านอนุมูลอิสระจากเมล็ดข้าวเองหรือจากสารสมุนไพรที่เคลือบอยู่ สามารถเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการเหม็นหืนของไขมันอิสระที่เกิดขึ้นได้ แม้สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องทั่วไปจะมีจำนวนมากกว่าเอนไซม์หลายเท่า แต่ความรวดเร็วของเอนไซม์สามารถทำงานซ้ำได้อย่างต่อเนื่อง จึงมีผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่จำกัดมีแนวโน้มลดลงได้ (เฉลิมวุฒิ สฤษดิกุล, 2549)

3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา รายงานผลเป็นค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (mg/g crude extract) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4-6

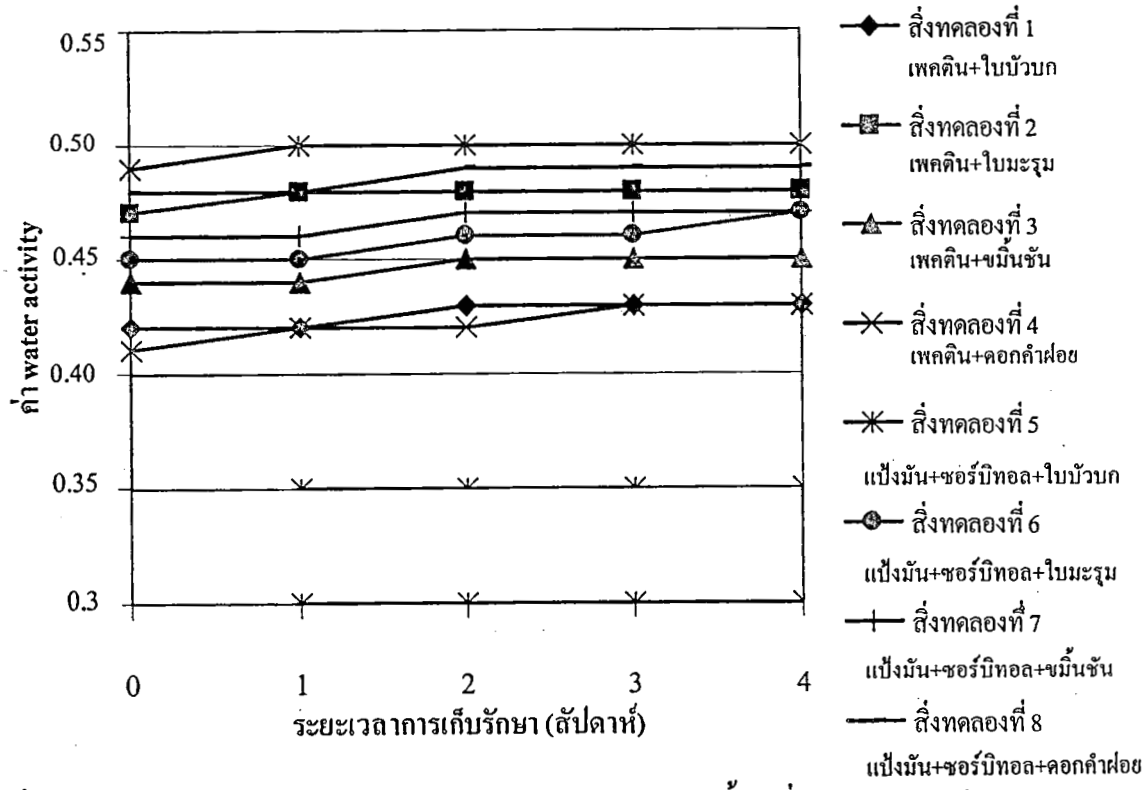


ภาพที่ 4-6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

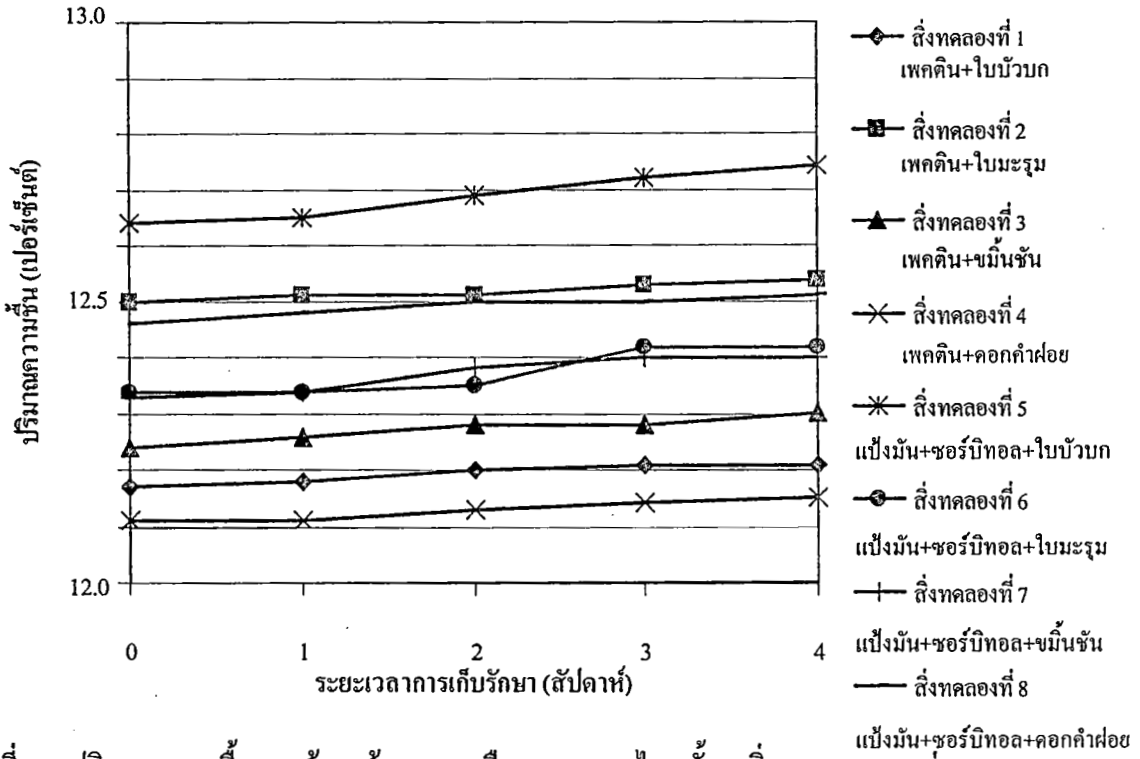
จากภาพที่ 4-6 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคตินมีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่ยังคงอยู่สูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลมีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคต่ำที่สุด ทั้งนี้แนวโน้มการคงอยู่ของสารประกอบฟีนอลิค สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่มีในข้าวตั้งแต่ต้น (สัปดาห์ที่ 0) กล่าวคือ หากมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 จะยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดมากกว่าสิ่งทดลองอื่นตลอดการเก็บรักษาส่วนการลดลงของสารประกอบฟีนอลิคระหว่างการเก็บรักษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Miura et al. (2002) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดใบติ้ว เมื่อเก็บรักษาโดยบรรจุในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคมีปริมาณลดลง

3.3 ค่า water activity และปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ค่า water activity และปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอกคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา รายงานผลเป็นค่า water activity และปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4-7 และ ภาพที่ 4-8 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-7 ค่า water activity ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4-8 ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ค่า a_w แสดงถึงปริมาณที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงอายุการเก็บหรือการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ได้ (Chrife and Pilar Buere, 1994) เมื่อพิจารณาผลการทดลองในภาพที่ 4-7 พบว่าค่า a_w ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.46-0.50 จึงถือว่าเป็นช่วงค่า a_w ระดับต่ำ (ต่ำกว่า 0.6) ซึ่งจัดเป็นอาหารแห้งที่จะเกิดการเสื่อมเสีย หรือเปลี่ยนแปลงได้ยาก สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนยีการอาหาร, 2546) โดยสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลมีแนวโน้มค่า a_w สูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคตินมีแนวโน้มค่า a_w ต่ำที่สุด

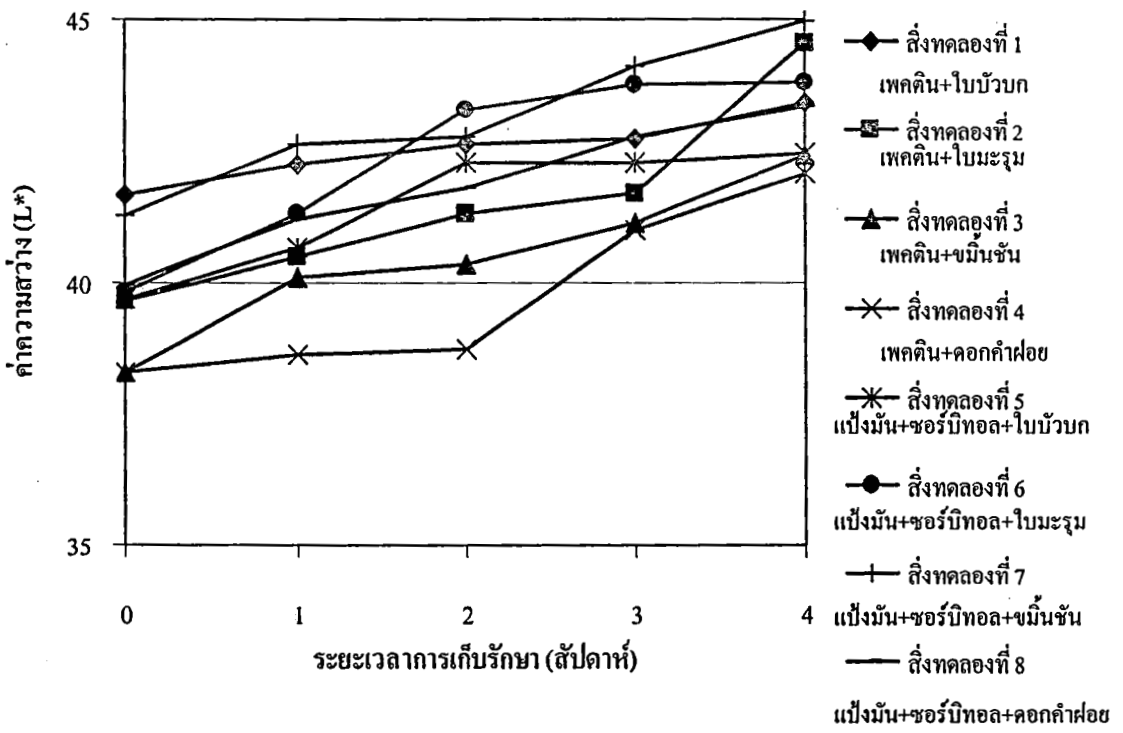
จากภาพที่ 4-8 พบว่า ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 12.11-12.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตามมาตรฐานของข้าวกล้องงอก (สำนักงานพัฒนาและส่งเสริมข้าวกล้องงอก, 2553) กำหนดไว้ว่าต้องมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ โดยสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้สมุนไพรใบบัวบกร่วมกับ

สารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังกับซอร์บิทอลมีแนวโน้มปริมาณความชื้นสูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคตินมีแนวโน้มปริมาณความชื้นต่ำที่สุด

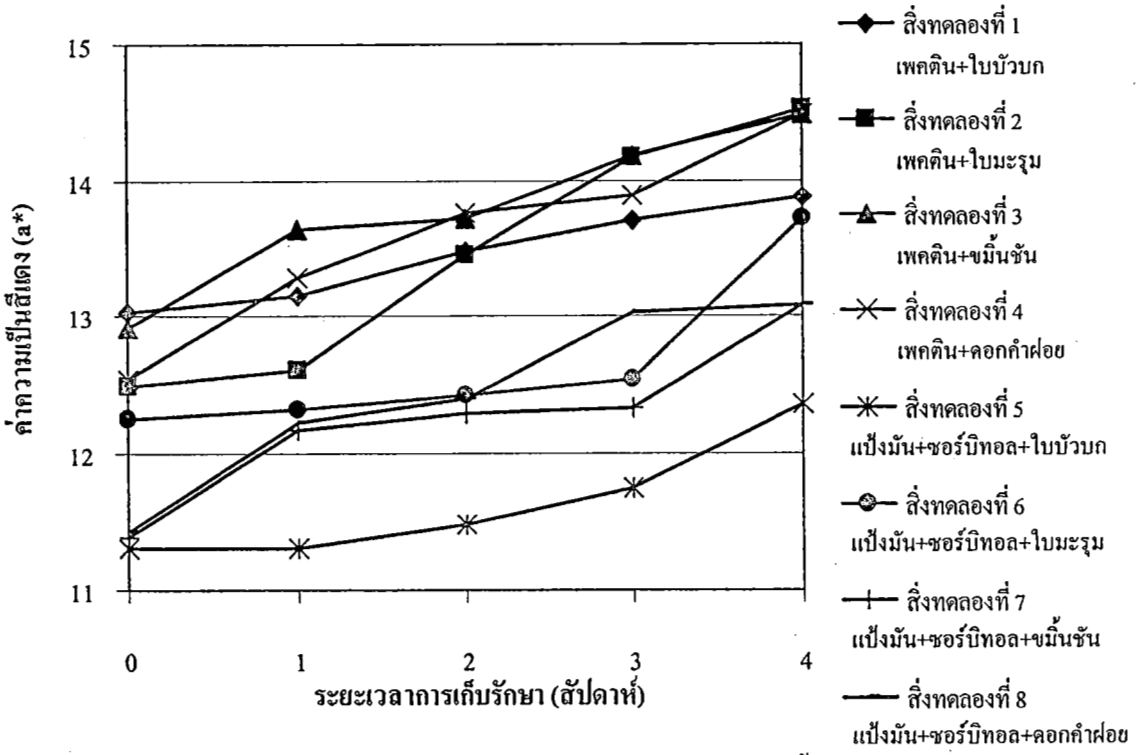
จากความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและค่า a_w พบว่า ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w มีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น ค่า a_w มักเพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และ ไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) อย่างไรก็ตามการที่ค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักอาจเป็นผลจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติกชนิด Nylon LDPE ปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ จึงสามารถป้องกันการซึมเข้าออกของอากาศและไอน้ำ และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นอย่างดี (ทิพย์วรรณ อรัญดร, 2552)

3.4 ค่าสี L* a* และ b*

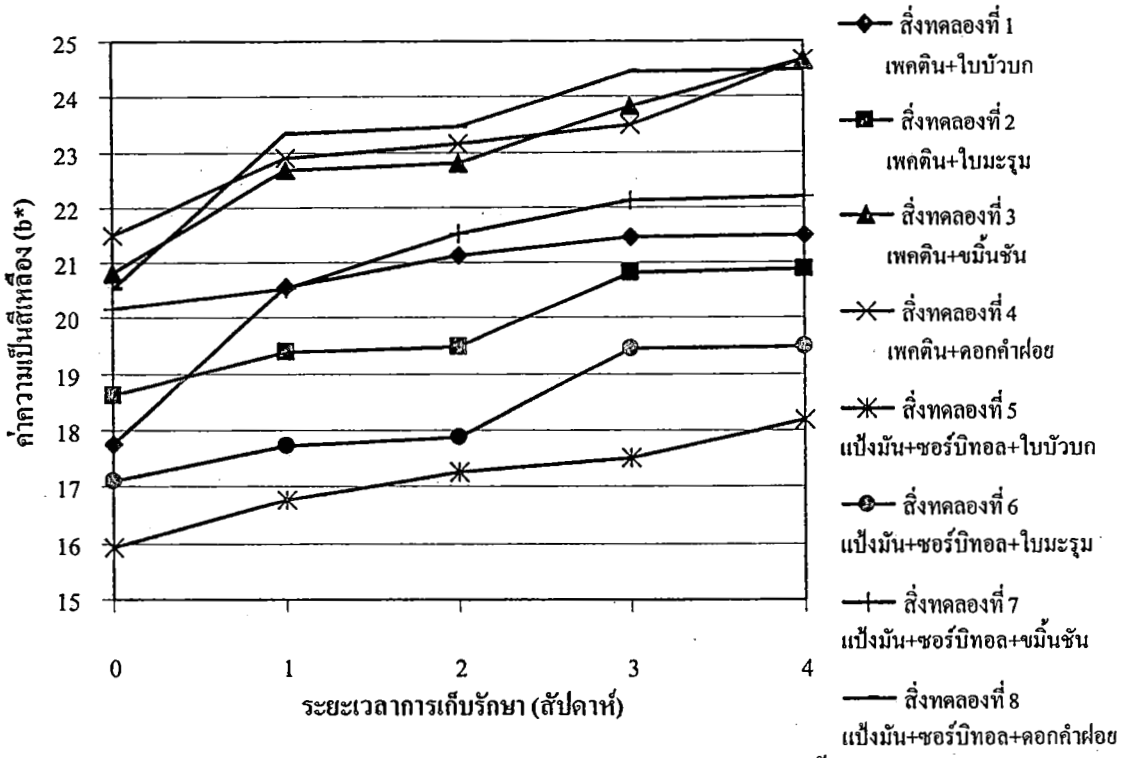
จากการวิเคราะห์ค่าสี ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษารายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4-9 ถึง ภาพที่ 4-11 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-9 ค่าความสว่าง (L*) ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4-10 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4-11 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

แนวโน้มในภาพรวม จากภาพที่ 4-9 ถึง 4-11 พบว่า ค่าสี (L* a* และ b*) ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาช่วงค่าสี L* a* b* ของแต่ละสิ่งทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลง พบว่า อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก แต่พอจะสามารถอธิบายแนวโน้มได้ว่า ข้าวกล้องงอกมีสีซีดจางลงอาจเนื่องมาจากรงควัตถุจากสีสมุนไพรที่เคลือบเปลี่ยนแปลงไปจึงมีค่าความสว่าง และสีเหลืองมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย และมีสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเห็นสีของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวซึ่งมีสีแดงชัดเจนขึ้นจากการที่สารสีจากสมุนไพรจางลงและสารเคลือบบางส่วนหลุดออก

3.5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลองระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4-18 และตารางที่ 4-19 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4-18 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลองระหว่างการเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ ข้าวกล้องงอกเคลือบสาร

สมุนไพรสิ่งทดลองที่ 1 4 และ 6 เริ่มตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดในปริมาณ 1×10^4 CFU/g ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดในปริมาณ 2×10^4 CFU/g และเมื่อเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดของทุกสิ่งทดลองอยู่ในช่วง $1 \times 10^4 - 9 \times 10^4$ CFU/g ซึ่งยังไม่เกินปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่กำหนดไว้ตามแนวทางการผลิตข้าวกล้องงอกให้ได้มาตรฐาน คือ 1×10^6 CFU/g (สำนักงานพัฒนาและส่งเสริมข้าวกล้องงอก, 2553)

จากตารางที่ 4-19 แสดงปริมาณยีสต์และราของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลอง ตามแนวทางการผลิตข้าวกล้องงอกให้ได้มาตรฐานกำหนดไว้ว่า ปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 500 CFU/g (สำนักงานพัฒนาและส่งเสริมข้าวกล้องงอก, 2553) จากผลการทดลองพบว่าตลอดการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ ตรวจสอบไม่พบยีสต์และรา จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

จากการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา จึงสรุปได้ว่า ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่บรรจุถุงฟอยพลาสติก Nylon LDPE ในสภาวะสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตรวจไม่พบยีสต์และรา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดจึงมีความปลอดภัยสำหรับการนำมาหุงสุกเพื่อบริโภคต่อไปได้ การที่ผลการวิเคราะห์ด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบเชื้อในปริมาณน้อยหรือไม่พบเลยอาจเนื่องมาจากในกระบวนการงอกข้าว ผู้วิจัยใช้เทคนิคการปลอดเชื้อ (aseptic technique) และข้าวหลังการเคลือบจะถูกนำมาอบแห้งจึงเป็นการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ เมื่อลดปริมาณความชื้นและค่า a_w จึงมีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนตายไป หรือบางส่วนอาจอยู่รอดแต่ไม่สามารถเจริญได้

ตารางที่ 4-18 ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
			0	1	2	3	4
1	เพคติน	ใบบัวบก	ไม่พบ	1×10^4 est.	2×10^4 est.	4×10^4 est.	5×10^4 est.
2	เพคติน	ใบมะรุม	ไม่พบ	ไม่พบ	2×10^4 est.	4×10^4 est.	5×10^4 est.
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	ไม่พบ	ไม่พบ	3×10^4 est.	5×10^4 est.	6×10^4 est.
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	ไม่พบ	1×10^4 est.	4×10^4 est.	6×10^4 est.	8×10^4 est.
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	ไม่พบ	2×10^4 est.	3×10^4 est.	4×10^4 est.	5×10^4 est.
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	ไม่พบ	1×10^4 est.	4×10^4 est.	6×10^4 est.	9×10^4 est.
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	ไม่พบ	ไม่พบ	4×10^4 est.	6×10^4 est.	8×10^4 est.
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	ไม่พบ	ไม่พบ	4×10^4 est.	6×10^4 est.	8×10^4 est.

est. (estimated) หมายถึง จำนวนจุลินทรีย์ที่นับได้โดยประมาณ

ตารางที่ 4-19 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สิ่งทดลองที่	ชนิดสารเคลือบ	ชนิดสมุนไพร	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
			0	1	2	3	4
1	เพคติน	ใบบัวบก	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
2	เพคติน	ใบมะรุม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
3	เพคติน	ขมิ้นชัน	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
4	เพคติน	ดอกคำฝอย	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
5	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบบัวบก	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
6	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ใบมะรุม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
7	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ขมิ้นชัน	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
8	แป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอล	ดอกคำฝอย	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

3.6 ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา

จากผลการทดลองตอนที่ 2 พบว่าสิ่งทดลองที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยที่ใช้สารเคลือบเพคติน นำตัวอย่างดังกล่าวมาตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ GABA ที่การเก็บรักษา 0 และ 4 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกที่ไม่ได้เคลือบสารสมุนไพร แสดงผลดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ปริมาณGABA ของข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยที่ใช้สารเคลือบเพคตินที่การเก็บรักษา 0 และ 4 สัปดาห์

ตัวอย่างข้าวกล้อง	ปริมาณGABA (mg/100g)
ข้าวกล้องงอก	81.19±0.19[a]
ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยที่ใช้สารเคลือบเพคตินที่การเก็บรักษา 0 สัปดาห์	71.23±0.25[b]
ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยที่ใช้สารเคลือบเพคตินที่การเก็บรักษา 4 สัปดาห์	70.45±0.21[b]

[a,b] หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-20 พบว่า ข้าวกล้องงอกที่นำมาเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยโดยการใช้สารเคลือบเพคตินที่การเก็บรักษา 0 สัปดาห์ มีปริมาณ GABA ต่ำกว่าข้าวกล้องงอกที่ไม่ผ่านการเคลือบสารสมุนไพร ($p<0.05$) โดยมีปริมาณ GABA ประมาณ 71 mg/100g ซึ่งคิดเป็นปริมาณ GABA ที่ลดลง 12.26 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนหลังการเคลือบสารสมุนไพรมีการใช้ความร้อนในการอบแห้งด้วย เพื่อลดความชื้นจากข้าวให้เหลือประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 248 นาที การใช้ความร้อนดังอาจทำให้ปริมาณ GABA มีแนวโน้มลดลงได้ ทั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Watanabe *et. al.* (2004) ที่กล่าวว่าปริมาณGABA ในขนมปังสลายตัวหมดระหว่างกระบวนการอบ อย่างไรก็ตามมีรายงานของ Komatsuzaki *et. al.* (2007) กล่าวว่า การใช้กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณ GABA นอกจากนี้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นานขึ้นถึง 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณ GABA มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีปริมาณ GABA ประมาณ 70 mg/100g

ตอนที่ 4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

จากผลการทดลองตอนที่ 2 พบว่าสิ่งทดลองที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยที่ใช้สารเคลือบเพคติน จึงนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องดังกล่าวมาหุงสุกแล้วนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ จำนวน 100 คน แบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับ แบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 คือ ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ตอนที่ 2 คือ ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ และตอนที่ 3 คือ ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบผลิตภัณฑ์สุดท้าย ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-21 ถึง ตารางที่ 4-23 และภาพที่ 4-12

จากการทดสอบผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า มีลักษณะทางประชากรศาสตร์ดังนี้คือ เพศหญิงร้อยละ 57 และเพศชายร้อยละ 43 โดยส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 15-23 ปี มีการศึกษาระดับปริญญาตรี เป็นนิสิตนักศึกษา พนักงานบริษัทเอกชน มีรายได้ต่อเดือนต่ำกว่า 5,000 บาท และ 5,001 - 10,000 บาท รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-21 และจากการสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรในด้านต่างๆ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ ร้อยละ 67 รู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก และเคยบริโภคร้อยละ 35 โดยมีความถี่ในการรับประทานผลิตภัณฑ์น้อยกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ร้อยละ 70 ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความสนใจผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพร ร้อยละ 85 ถ้ามีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพรวางจำหน่ายผู้บริโภคจะซื้อ ร้อยละ 45 และไม่แน่ใจ ร้อยละ 38 โดยเหตุผลสำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพร ได้แก่ ราคา คุณค่าทางอาหาร รสชาติ ภาชนะบรรจุ ลักษณะปรากฏ และความแปลกใหม่ ร้อยละ 45 37 17 12 10 และ 9 ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-22

จากตารางที่ 4-23 และภาพที่ 4-12 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยที่ผ่านการหุงสุกแล้ว ในทุกด้านคือ ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง ถึงชอบมาก หากมีผลิตภัณฑ์นี้ออกวางจำหน่าย ผู้บริโภคคิดว่าจะซื้อมาบริโภค ร้อยละ 61 ไม่แน่ใจร้อยละ 37 และไม่ซื้อร้อยละ 2

ตารางที่ 4-21 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

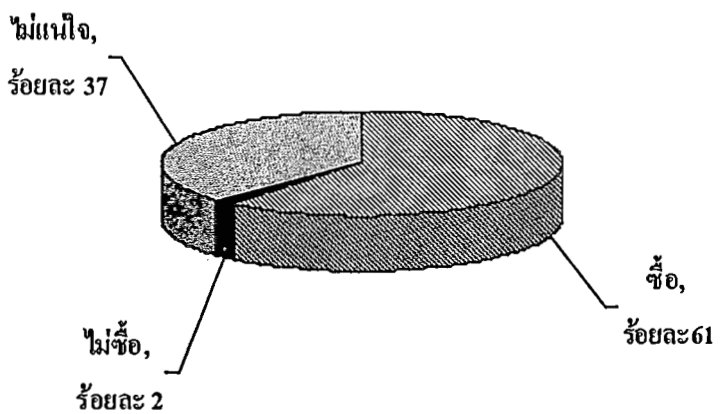
ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละ
เพศ	
ชาย	43
หญิง	57
อายุ	
น้อยกว่า 15 ปี	3
15-23 ปี	31
24-32 ปี	15
33-41 ปี	19
42-50 ปี	9
51-60 ปี	23
ระดับการศึกษา	
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	15
มัธยมศึกษาหรือ ปวช.	16
อนุปริญญาหรือ ปวส.	6
ปริญญาตรี	53
สูงกว่าปริญญาตรี	10
อาชีพ	
นิสิต/นักศึกษา	35
ข้าราชการ/รัฐวิสหกิจ/พนักงานของรัฐ	10
พนักงานบริษัทเอกชน	41
ธุรกิจส่วนตัว	10
อื่นๆ	4
รายได้ต่อเดือน	
ต่ำกว่า 5,000 บาท	30
5,001-10,000 บาท	21
10,001-15,000 บาท	30
15,001-20,000 บาท	6
มากกว่า 20,000 บาท	13

ตารางที่ 4-22 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์

ข้อมูล	ความถี่ (ร้อยละ)
รู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก	
รู้จัก	67
ไม่รู้จัก	23
ไม่แน่ใจ	10
เคยบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก	
เคย	35
ไม่เคย	65
ความถี่ในการรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก	
น้อยกว่า 1 ครั้ง/สัปดาห์	70
1-3 ครั้ง/สัปดาห์	14
4 -6 ครั้ง/สัปดาห์	11
ทุกวัน	5
ความสนใจผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพร	
สนใจ	
ไม่สนใจ	85
เฉยๆ	5
ถ้ามีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพรวางจำหน่าย	10
ผู้บริโภคจะซื้อหรือไม่	
ซื้อ	
ไม่ซื้อ	45
ไม่แน่ใจ	17
เหตุผลสำคัญในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของ	38
สารสมุนไพร	
คุณค่าทางอาหาร	37
ราคา	45
รสชาติ	17
ความแปลกใหม่	9
ลักษณะปรากฏ	10
ภาชนะบรรจุ	12

ตารางที่ 4-23 ผลการทดสอบผู้บริโภคด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรดอกคำฝอยที่หุงสุกแล้ว

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ลักษณะปรากฏ	7.87 ± 1.11
สี	7.89 ± 1.35
กลิ่น	7.34 ± 1.34
กลิ่นรส	7.28 ± 1.08
รสชาติ	7.82 ± 1.01
ความนุ่ม	7.29 ± 1.14
ความชอบโดยรวม	7.69 ± 1.12



ภาพที่ 4-12 ผลการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรของผู้บริโภค

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชนในรูปแบบการอบรมเชิงปฏิบัติการ ในวันเสาร์ที่ 30 เมษายน 2554 ณ ที่ทำการชุมชน ตำบลมาบไผ่ อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี มีผู้เข้าร่วมการอบรมจำนวนรวม 35 คน ซึ่งเป็นผู้ประกอบการแปรรูปข้าว ชุมชนผู้ปลูกข้าว และผู้สนใจ โดยได้จัดทำเอกสารประกอบการอบรม และให้การอบรมเชิงปฏิบัติการในด้านการผลิตข้าวกล้องงอก การสกัดสารสมุนไพร การเตรียมเคลือบสารสมุนไพร และการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร รวมทั้งให้ความรู้ในการแปรรูปอาหารให้ได้คุณภาพมาตรฐาน นอกจากนี้ได้มีการตอบข้อซักถามต่างๆ จากผู้เข้าร่วมการอบรมด้วย ภาพตัวอย่างการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-13 ถึง 4-20 และ ภาพประกอบในภาคผนวก

ภาพที่ 4-13 คณะผู้วิจัยร่วมเป็นวิทยากรถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน

ภาพที่ 4-14 วิทยากรถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนากับผู้ประกอบการแปรรูปข้าว ชุมชนผู้ปลูกข้าว และผู้สนใจ

ภาพที่ 4-15 วิทยากรอธิบายขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรให้กับผู้ร่วมการอบรม

ภาพที่ 4-16 วิทยากรแนะนำเอกสารประกอบให้กับผู้เข้าร่วมการอบรม

ภาพที่ 4-17 วิทยากรให้ความรู้และสาธิตการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

ภาพที่ 4-17 ผู้เข้าร่วมการอบรมรับฟังการบรรยายและสาธิตการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

ภาพที่ 4-18 วิทยากรสาธิตการสกัดสารสมุนไพรชนิดต่างๆ

ภาพที่ 4-19 คณะวิทยากรร่วมกันตอบข้อซักถามของผู้เข้าร่วมการอบรม

ภาพที่ 4-20 คณะวิทยากรถ่ายรูปร่วมกับผู้เข้าร่วมการอบรม

จากการประเมินผลการอบรมเชิงปฏิบัติการ ผู้เข้าร่วมการอบรมมีลักษณะทางประชากรศาสตร์ดังนี้ คือ เพศหญิงร้อยละ 85.71 และเพศชายร้อยละ 14.29 โดยส่วนใหญ่มีอายุมากกว่า 50 ปี มีการศึกษาระดับประถมศึกษา และมัธยมศึกษา ร้อยละ 57.14 และ 37.15 ตามลำดับ ส่วนใหญ่เป็นแม่บ้าน และประกอบอาชีพค้าขายหรือประกอบธุรกิจส่วนตัว ร้อยละ 28.57 และ 48.57 ตามลำดับ โดยผู้เข้าร่วมการอบรมส่วนใหญ่ร้อยละ 45.71 มีรายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วง 1,001-2,000 บาท รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-24 และจากการสอบถามความพึงพอใจในโครงการในด้านต่างๆ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจด้านวันที่จัดโครงการ และระยะเวลาในการจัดโครงการ อยู่ในระดับพอใจปานกลางถึงพอใจมาก (คะแนน 3.63-3.83) ด้านการบรรยายของวิทยากร เนื้อหาในการบรรยาย เอกสาร/สื่อที่ใช้ประกอบการบรรยาย และความพร้อมของวัสดุ/อุปกรณ์ในการสาธิต อยู่ในระดับพอใจมาก (คะแนน 4.00-4.26) ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมอบรมมีความพึงพอใจในการได้รับประโยชน์โดยรวมระดับพอใจปานกลาง (คะแนน 3.06) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-24 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้เข้าร่วมการอบรม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละ
เพศ	
ชาย	14.29
หญิง	85.71
อายุ	
ต่ำกว่า 20 ปี	0
21-30 ปี	5.71
31-40 ปี	14.29
41-50 ปี	25.71
มากว่า 50 ปี	54.29
ระดับการศึกษา	
ต่ำกว่าประถมศึกษา	0
ประถมศึกษา	57.14
มัธยมศึกษา	37.15
ปริญญาตรี	5.71
สูงกว่าปริญญาตรี	0
อาชีพ	
นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	11.43
ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ	11.43
พนักงานบริษัทเอกชน	0
ค้าขาย/ประกอบธุรกิจส่วนตัว	28.57
แม่บ้าน	48.57
รายได้ต่อเดือน	
ต่ำกว่า 1,000 บาท	14.29
1,001-2,000 บาท	45.71
5,001-10,000 บาท	25.71
10,001-15,000	2.86
มากกว่า 15,000	11.43

ตารางที่ 4 – 25 ระดับคะแนนความพึงพอใจด้านต่างๆจากการอบรมเชิงปฏิบัติการ

รายการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
วันที่จัดการโครงการ	3.83 ± 0.86
ระยะเวลาในการจัดโครงการ	3.63 ± 0.88
การบรรยายของวิทยากร	4.06 ± 0.73
เนื้อหาในการบรรยาย	4.00 ± 0.69
เอกสาร/สื่อที่ใช้ประกอบการบรรยาย	4.06 ± 0.80
ความพร้อมของวัสดุ/อุปกรณ์ในการสาธิต	4.26 ± 0.80
ประโยชน์โดยรวมที่ได้รับจากการเข้าร่วมโครงการ	3.06 ± 0.76

* จาก 5 คะแนน โดย 1 หมายถึง พอใจน้อยที่สุด 2 มายถึง พอใจน้อย 3 หมายถึง พอใจปานกลาง 4 หมายถึง พอใจมาก และ 5 หมายถึง พอใจมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก

จากผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอกเพื่อให้ได้ปริมาณ gamma - aminobutyric acid (GABA) สูงที่สุด คือ สภาวะการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุในสภาวะการใช้ก๊าซไนโตรเจน วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณ GABA สูงที่สุด เท่ากับ 81.19 mg/100g การลดปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอก ทำได้โดยนำข้าวกล้องที่ได้มาผ่านไอน้ำ 20 นาที แช่เอทานอล 3 นาที และต้มเป็นเวลา 10 นาที

ตอนที่ 2 การศึกษาการเคลือบข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด

จากการศึกษาผลของชนิดสมุนไพร และชนิดสารเคลือบต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร พบว่าปัจจัยทั้ง2 มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ค่าสี (L* a* และb*) รวมทั้งคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้าน กลิ่นรส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) ซึ่งข้าวกล้องงอกที่ใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบจากเพคติน มีแนวโน้มของค่าดังกล่าวสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ใช้สารเคลือบสมุนไพรชนิดอื่น และข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังหุงสุก ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบมาก

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา

จากการตรวจสอบคุณภาพของข้าวกล้องเคลือบสารสมุนไพร ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่เก็บไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ค่า water activity ปริมาณความชื้น ค่าสี (L* a* และ b*) เล็กน้อย แต่ยังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และมีความปลอดภัยสำหรับการนำไปหุงบริโภค

ตอนที่ 4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

จากการทดสอบผู้บริโภคจำนวน 100 คน ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรคือดอกคำฝอยที่ผ่านการหุงสุกแล้ว ในทุกด้านคือ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง ถึงชอบมาก และหากมีผลิตภัณฑ์นี้ออกวางจำหน่าย ผู้บริโภคคิดว่าจะซื้อมาบริโภค ร้อยละ 61 ไม่แน่ใจร้อยละ 37 และไม่ซื้อร้อยละ 2

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน

จากถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่พัฒนาได้แก่ชุมชน พบว่า ผู้เข้าร่วมการอบรมมีความพึงพอใจด้านวันที่จัดโครงการ และระยะเวลาในการจัดโครงการ อยู่ในระดับพอใจปานกลางถึงพอใจมาก ด้านการบรรยายของวิทยากร เนื้อหาในการบรรยาย เอกสาร/สื่อที่ใช้ประกอบการบรรยาย และความพร้อมของวัสดุ/อุปกรณ์ในการสาธิต อยู่ในระดับพอใจมาก ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมอบรมมีความพึงพอใจในการได้รับประโยชน์โดยรวมระดับพอใจปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

1) ข้าวกล้องงอกเป็นผลผลิตทางการเกษตร ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถนำไปพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆได้

2) ในการเตรียมข้าวกล้องงอก อาจศึกษาหาวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ โดยอาจเพิ่มระยะเวลาในการต้มให้ความร้อนข้าวกล้องงอกให้นานขึ้น จาก 10 นาที หรือผ่านการใช้ไอน้ำในเวลาที่นานขึ้น

3) ศึกษาการใช้สารเคลือบชนิดอื่น เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ และลดค่าใช้จ่าย เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว

4) ศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพร ที่ความเข้มข้นหลายระดับ เพื่อปรับปรุงในการแต่งกลิ่นรส และเสริมสารพฤกษเคมีให้กับผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

5) ศึกษาคุณภาพและลักษณะของฟิล์มที่นำมาใช้เป็นสารเคลือบ

รายการอ้างอิง

กฤษฎา งามทับ. (2550). *การพัฒนาการผลิตข้าวเคลือบกลิ่นรสสมุนไพรไทย.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กล้า เมธากานต์. (2552). *ข้าวกล้องงอก มหัศจรรย์พันธุ์ข้าวไทย.* สำนักพิมพ์แฮปปี้ ทู ดู. กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปียะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง.* พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

จารุรัตน์ สันเต, วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ และรัชฎา ตั้งวงค์ไชย.(2550). *ผลของกระบวนการแช่ต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวเทริกเอซิดในข้าวกล้องงอก (หอมมะลิ 105).* วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร. 38(5), 164-167.

เฉลิมชัย รอดมณี. (2548). *ผลของการแช่และการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง.* ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.

เฉลิมวุฒิ สฤษดิกุล. (2549). *ข้าวกล้องสด.* สำนักพิมพ์พีเพิลมีเดีย. กรุงเทพฯ.

ดวงจงกล สุทธิเนียม. (2550). *การพัฒนาเครื่องดื่มสุขภาพชนิดผงจากข้าวกล้องหอมมะลิงอกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เดชา ศิริภัทร. (2551). *นิตยสารหมอชาวบ้าน,* 21(345). วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม 2553, เข้าถึงได้จาก http://www.herbclubthailand.com/hcnew/library.

นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข. (2545). *แอนติออกซิเดนท์ : สารต้านมะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย.* สำนักพิมพ์นพบุรีการพิมพ์. เชียงใหม่.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). *เคมีอาหาร.* สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

บริษัท 3เอ็ม ประเทศไทย จำกัด. (2552). คู่มือการแปลผล 3M Petrifilm. แผนกจุลชีววิทยา.

ปฐม โสมวงศ์. (2552). คุณค่าทางอาหารและทางยาของสมุนไพรมะรุม. บทความรายการคลินิก. คณะเภสัชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปนัดดา พวงเกษม. (2540). *การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ประโยชน์.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยธิดา เข็มสุข. (2541). *การเสริมวิตามินในข้าวโดยวิธีการครอสลิงกิง.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ผกากรอง ขวัญข้าว. (2549). พืชใกล้ตัว. *วารสารอภัยภูเบศร,* 4(29). วันที่สืบค้น 28 ตุลาคม 2553, เข้าถึงได้จาก http://www.gooherb.com/article?id=22456&lang=th

ผุสดี สายชนะพันธ์. (2545). *สมุนไพร ทางเลือกใหม่ สู้ภัยมะเร็ง.* สำนักพิมพ์ยูทิไลซ์. สงขลา.

พรพรรณ กอมนชัย, พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี, นันทวัน เทิดไทย และวาสินี จันทร์นวล. (2550). *ความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อคุณภาพข้าวหอมมะลิหุงสุกโดยใช้แบบจำลองสมการโครงสร้าง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พวงพะยอม สังชม. (2544). การหาปริมาณวิตามินอีในเมล็ดบกโดยเทคนิคโฟโตรเมตริก. ครุศาสตร์บัณฑิต, สาขาการศึกษา. สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.

พิมพ์อร ศีตคุนรัตน์. (2552). *ข้าวกล้องงอก ราชาแห่งข้าว สุดยอดอาหารเพื่อสุขภาพ และความงาม*. สำนักพิมพ์ฐานบัณฑิต. กรุงเทพฯ.

พิสุทธิพร ฉ่ำใจ. (2551). *สมุนไพร สรรพคุณและประโยชน์เพื่อการนำไปใช้*. สำนักพิมพ์ต้นธรรม. กรุงเทพฯ.

พัชรี ตั้งตระกูล วารุณี วารัญญานนท์ วิภา สุโรจนะเมธากุล และลัดดา วัฒนศิริธรรม. (2551). *การเพิ่มปริมาณกรดแกมมา-อะมิโนบิวทิริกในคัพภะข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยการแช่น้ำ*. วาสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38: 531-538.

พัชรี ตั้งตระกูล. (2550). GABA *ในคัพภะข้าวและข้าวกล้องงอก*. วารสารอาหาร. 37(4) : 291-296.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. (2535). *ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้*. *อาหาร*. 22: 1-6.

มยุรี ตันติสิระ. (2550). *ศึกษาฤทธิ์และความเป็นพิษของสารสกัดมาตรฐานบัวบก*. รายงานวิจัยคณะเภสัชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เมธาวี อนะวัชกุล สุดารัตน์ เจียมยั่งยืน. (2552). *การศึกษาปริมาณกาบา และการพัฒนาโยเกิร์ตเสริมกาบาจากข้าวกล้องมันปูงอก*. Kasetsart Journal (Natural Science). 43(5):224-231.

ยุพาพร ปรัญพฤทธิ์ และณัฏพัชร์ . (2553). *การพัฒนาคุณภาพข้าวกล้องงอก*. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และ ไพศาล วุฒิจำนงค์. (2545). *การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร*. เอกสารประกอบการสัมมนา-อบรมวิชาการด้านอุตสาหกรรมอาหาร.

รัดดา กองมะณี. (2551). *ผลกระทบร่วมของการกำจัดน้ำแบบออสโมติก การลวก และสารละลายเคมีต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของผลหม่อนอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ลลิตา ชาติยานนท์, ไพศาล วุฒิจำนงค์ และกมลวรรณ แจ้งชัด. (2549). *การประยุกต์ใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ในการผลิตข้าวเสริมวิตามิน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลินดา พงศ์ผาสุก. (2537). *การผลิตข้าวเคลือบกลิ่นหอม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วริธร ยิ้มย่อง และ สุนัน ปานสาคร. (2552). ศึกษาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นที่มีต่อปริมาณกรดแกมม่าแอมิดนบิวทิริกในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเพื่อการเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วันพรรณษา ชุติปัญญา. (2549). *การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด โทโคเฟอรอล และแกมม่า-ออไรซานอล ของข้าวกล้องงอกสมุนไพร.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สมพร ภูติยานนท์. (2551). *สมุนไพรใกล้ตัว ว่าด้วย สมุนไพรแต่ง สี กลิ่น รส*. เชียงใหม่.

สิริลักษณ์ มาลานิยม. (2545). *น้ำมันหอมระเหย สารสกัดจากพืชสมุนไพรไทย.* สมอ สาร, ปีที่ 28, ฉบับที่ 325.

สุธาทิพย์ ภมรประวัติ. (2550). มะรุมลดไขมัน ป้องกันมะเร็ง.*นิตยสารหมอชาวบ้าน*, 29(338) , 28-32. วันที่สืบค้น 28 ตุลาคม 2553, เข้าถึงได้จาก http://www.herbclubthailand.com/hcnew/library

สุพจน์ คิลานเภสัช. (2543). *สมุนไพร เครื่องเทศ และพืชปรุงแต่งกลิ่น*. กรุงเทพฯ.

สุวิมล เจตะวัฒนะ, และชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ. (มปป.) *ผลของรังสีแกมมาต่อสารต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพร*. วันที่สืบค้น 2 มีนาคม 2554, เข้าถึงได้จาก http://www.iaea.org/inis/collection */NCLCollectionStore/_Public/35/095/35095406.pdf*

สำนักงานพัฒนาและส่งเสริมข้าวกล้องงอก. (2553). หนองบัวลำภู.

อธิยา เรืองจักเพ็ชร. (2550). *ผลของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในมะขามป้อมและอายุของมะกอกน้ำต่อปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อารีย์ องค์วิเศษไพบูลย์. (2534). *คุณภาพและการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ. (2553). *การผลิตสารสกัดสมุนไพร*. เอกสารประกอบการสอน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุบลลักษณ์ วงษ์ชื่น. (2547). *การศึกษากระบวนการผลิตข้าวเสริมวิตามิน*. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

โอภา วัชระคุปต์. (2549). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. สำนักพิมพ์พีเอส พริ้นท์. กรุงเทพฯ.

Adyt, T.P., Weller, C.L. and Testin, R.F., (1991), Mechanical and barrier properties of edible corn and wheat protein films. Transactions of the ASAE. 34: 207-211.

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.

Amaglo, N.K., R.N. Bennett, R.B.L.Curto , E.A.S. Rosa , V. L. Turco ,A. Giuffrida , A. L. Curto , F. Crea , G. M. Timpo. (2010). *Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree Moringa oleifera* L., *grown in Ghana* .Food Chemistry 122: 1047–1054.

Amic, D., D., Davidovic, D., Beslo, and N. Trinajstic. (2003). Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids Croatia Chemica Acta., 76: 55-61.

A.O.A.C. (2000). Official Method of Analysis. 17th ed., The Association of Official Analytical Chemists Gaithersburg, Maryland.

Arife Alev Karogozler, B.E., Yelda C., D.U. (2008). *Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from Dorystoechas hastata.* Food Chemistry. 111: 400-407.

Bakan, J.A., (1978). *Microencapsulation.* Encyclopedia of Food Science. 499-507.

Bramall, L.D. (1986). A novel process for fortification of rice. Food Tech in Australia. 38: 281-284.

Chrife and Pilar Buere. (1994). *Water Acitivity Beer foam.* Handbook of Alcoholic Beverages Series.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K. & Liu, R.H. (2002). *Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity.* Agricultural and Food Chemistry. 50: 3010-3014.

Duan, X., Wei-Wei Zhang, X.L. & Bin, W. (2006). *Evaluation of antioxidant property of extract and fractions obtained from a red alga, Polysiphonia urceolata.* Food Chemistry. 95: 37-43.

Fan, L., S. Zhang, L. Yu, & L. Ma. (2006). *Evaluation of antioxidant property and quality of breads containing Auricularia auricula polysacchar ide flour.* Food Chemistry. 101: 1158-1163.

Fan, L. H.Y. Zhao, M. Xu, L.Zhou, H.Guo, J. Han, B.R. Wang, D.A. Guo. (2009). *Qualitative evaluation and quantitative determination of 10 major active components in Carthamus tinctorius L. by high-performance liquid chromatography coupled with diode array detector.* Journal of Chromatography A. 1216: 2063–2070.

Gennadios, A. and Weller, C.L., (1990). *Edible film and coating from wheat and corn properties.* Food Technology. 44: 63-68.

Gnanasambandam, R., Griffin, V. K., & Hettiarachchy, N. S. (1996). *Protein based films from rice bran.* Paper No. 53C-5, In Book of abstracts, Chicago, IL: Institute of Food Technologists.

Gouin S. (2004). *Microencapsulation industrial appraisal of existing technologies and trends.* Food Science and Technology. 15: 330-347.

Haaland H. (1998). *Fish silages prepared from raw materials of varying quality.* Chemical a nalysis related to balance experiments in rats, Fisk Dir Skr Ser Ernoering. 3: 27–35.

Hanno K., Lubitz W., G.H., H.S. (1998). *ENDOR studies of substituted chlorophyll cation radicals.* Spectrochimica Acta Part A. 54: 1141-1156.

Hu. (1999). *Study on rough rice fissuring during intermittent drying.* Drying Technology-An International Journal 17: 1779–1793.

Jayaprakasha, G.K., L. Jagan Mohan Rao and K.K. Sakariah. (2005). *Chemistry and biological activities of C. longa.* Trends in Food Science & Technology. 16: 533–548

Juliano, B.O., (1993). *Rice in human nutrition.* IRRI Research Paper Series, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome.

Kayahara, Hiroshi and Kikuichi Tsukahara. (2000). *Flavor, Health and Nutritional Quality of Pre-germinated Brown Rice.* presented at 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii.

Kester, J.J. and Fennema, O.R. (1986), Edible film and coatimgs: a Review, Food Technology. 40: 47-59.

Kim, W.J. J. Kim, B. Veriansyah, J.D. Kim, Y.W. Lee, S.G. Oh and R.R. Tjandrawinata, (2009). *Extraction of bioactive components from Centella asiatica using subcritical water* Journal of Supercritical Fluids. 48: 211–216

Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyashima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. (2007). *Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice.* Journal of Food Engineering, 78(2): 556-560.

Kuljarachanan, T., S. Devahastin and N. Chiewchan (2009). *Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying.* Food Chemistry. 113: 944-949.

Kyritsi, C. Tzia., & V.T. Karathanos. (2010). *Vitamin fortified rice grain using spraying and soaking methods.* LWT-Food Science and Technology. 44: 312-320.

Laohakunjit, N., and Noomhorm, A. (2004). *Effect of plasticizers on mechanical and barrier properties of rice starch film, Starch/Starke.* 56: 348-356.

Lazze, M.C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A.I., Stivala, L.A.,Bianchi,L. (2004). *Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human celllines.* Carcinogenesis, 25: 1427-1433.

Lee, S.H., Lillehoj, H.S., Chun, H-K, Tuo, W., Park, H-J., Cho, S-M., Lee, Y-M., Lillehoj, E.P. (2007). *In vitro treatment of chicken peripheral blood lymphocytes, macrophages, and tumor cells with extracts of Korean medicinal plants.* Nutrition Research. 27: 362-366.

Lui LL., Zhai Q., Wan JM. (2005). *Accumulation of gamma-aminobutyric acid in giant-embryo gain in relation to glutamate decaboxylase acivity and it gene expression during water soaking.* Cereal Chem 82(2), 191-196.

Massimo, F. Marcone. (2003). Batis maritime (Saltwort/Beachwort): a nutritious, halophytic, seed bearings, perennial shrub for cultivation and recovery of otherwise unproductive agricultural land affected by salinity. Food Reseach International 36: 123-130.

Misuka, M. and Yasumatsu, K. (1985). *Rice enrich and fortification.* Rice: Chemistry and Technology.

Miura, H., Y. Kitamura, T. Ikenaga, K. Mizobe, T. Shimizu and M. Nakamura. (2002). *Anthocyanin production of Glehnia littoralis callus culture.* Phytochemistry, 48: 279-283.

Mohan, B.H., Malleshi, N.G. and Koseki, T. 2010. *Physico-chemical characteristics and non-starch polysaccharide contents of Indica and Japonica brown rice and their malts.* LWT-Food Science and Technology. 43: 784-791.

Moongngarm, A. and Saetung, N. (2010). *Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice.* Food Chemistry. 122: 782-788.

Muhammed, M. (1992). Turmeric and the Healing Curcuminoid. Connective Keats Publishing.

Murray, D.G., Maritta, N.G., and Boettger, R.M. (1971). *Novel amylase coatings for deep fried potato products.* United States patent.

Mustafa, R.A., A. Abdul Hamid, S. Mohamed, and F. Abu bakar. *Total Phenolic Compounds, Flavonoids, and Radical Scavenging Activity of 21 Selected Tropical Plants.*Journal of Food Science. 751(1): 28-35

Nibler, R.G. and Roseman, A.S. (1968). *Process for coating rice.* United States patent.

Nisperos-Carriedo, M. O. (1994). Edible coating and films based on polysaccharides. Technomic Publishing Company. 305-335.

Nussinovitch, A. and Mey-Tal, E. (1998). *Novel glossmeter for the measurement of food appearance including fresh produce and made materials.* U.S. patent No. 6, 018, 396.

Oloyo, R.A. (2004). *Chemical and nutritional quality changes in germinated seeds of Cajanus Cajun L.* Food Chemistry. 85:497-502.

Pari, L., M. Karamac A. Kosinska, A. Rybarczyk, R. Amarowicz. (2007). *Antioxidant activity of the crude extracts of drumstick tree (Moringa oleifera Lam.) and sweet broomweed (Scoparia dulcis L.) leaves.* Polish Journal of food and Nutrition Sciences. 57: 203–208

Pothakamury, R.U. and Barbosa-Canovas, G.V. (1995). *Fundamental aspects of controlled release in foods.* Food Science and Technology. 6: 397-406.

Reggina, R., Nebuloni, M. and Brambilla, I. (2000). *Anaerobic accumulation of amino acids in rice roots: role of the glutamine synthetase/glutamate synthase cycle.* Amino Acids. 18:207-217.

Roberts, J.K.M., Callis, J., Wemmer, D., Walbot, V. and Jardetzky, O. (1984). *Mechanism of cytoplasmic pH regulation in hypoxic maize root tips and its role in survival under hypoxia.* Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 81:3379-3383.

Romas, H.V., Fagen, K.W., Rothenberg, J.R. and Smith, D.L. (1988). *Method for adhering spices on the surface of rice.* U.S. Patent No. 4, 767, 636.

Sacharow, S. (1976), Handbook of package Meterials, Westport, CT: AVI Publishing.

Saikusa, T., Horino, T. and Mori (1994). *Accumulation of gamma-aminobutyric acid in the rice germ during water soaking.* Bioscience Biotechnology and Biochemistry.58: 2291-2292.

Salem, N., K. Msaada, G.Hamdaoui, F.Limam, and B. Marzouk . (2011) *Variation in Phenolic Composition and Antioxidant Activity during Flower Development of Safflower*

(Carthamus tinctorius L. Journal of Agricutural and Food Chemistry. dx.doi.org/10.1021/jf1049936

Saman, P., Vazquez, J.A. and Pandiella, S.S. (2008). *Controlled germination to enhance the functional properties of rice.* Process Biochemistry. 43(12):1377-1382.

Sanderson, G.R. (1981). *Polysaccharides in food.* Food Technology. 35: 50-57.

Shoichi, I. and Ishikawa, Y. (2004). *Marketing of Value-Added Rice Product in Japan*: Germinated brown rice and rice bread, presented at FAO international rice year,2004 Symposium Rome, Italy.

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 Research International. 36: 921- 928.

Sreelatha, S. and Padma, P. R.. (2009). *Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Moringa oleifera Leaves in Two Stages of Maturity.* Plant Foods Hum Nutr. 64: 303–311.

Su Tian, N. Kozo, N.K. (2004). *Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice and germinated brown rice.* Agricultural and Food Chemistry. 52: 4808-4813.

Tilak J.C, M. Banerjee, H. Mohan, T.P.A. Devasagayam (2004). *Antioxidant availability of turmeric in relation to its medicinal and culinary uses.* Phytotherapy Research 18: 798-804.

Watanabe, M.,T.Maeda, K.Tsukahara,H. Kayahara and N.Morita. (2004) *Application of pregerminated brown rice for breadmaking.* Cereal Chemistry. 81(4): 450-455.

Watchararparpaiboon, W., Laohakunjit, N. and Kerdchoechuen, O. (2010). *An improved process for high quality and nutrition of brown rice production.* Food Science and Technology International. 16(2):147-158.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางเคมี

ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณ GABA (Watchararparpaiboon et al., 2010)

นำตัวอย่างข้าวกล้องบดเป็นผงจำนวน 3 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติม 70%(v/v) เอทานอล จำนวน 30 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที ด้วยเครื่องเขย่า vortex จากนั้นนำไปเซนตริฟิวส์ที่ 8000 g ที่อุณหภูมิ 4 อาศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แยกส่วนสารละลายชั้นบนมากรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นล้างตะกอนที่เหลือซ้ำด้วยเอทานอลอีกรอบ นำส่วนละลายที่ได้ทั้งหมดมารวมกัน แล้วนำไประเหยเอทานอลออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วล้างน้ำ 3 มิลลิลิตร นำส่วนที่ได้จากการสกัดใส่ในหลอดทดลอง 0.1 มิลลิลิตร เติมบัฟเฟอร์ borate 0.2 มิลลิลิตร(กรดบอริก 0.2 M และ sodium borate 0.2 M pH 9) และฟีนอลรีเอเจนต์ 1 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากันและทำให้เย็น เติม 7.5% sodium hypochlorite 0.4 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงและนำไปให้ความร้อน 10 นาที แช่ในน้ำเย็น 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 nm เตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน γ- aminobutyric acid ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 125, 250, 375 และ 500 ug/mL ตามลำดับ

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยใช้ Hot air oven (AOAC No. 925.10,1995)

ทำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการบดเมล็ดข้าวกล้องงอกให้ละเอียด เก็บไว้ในภาชนะแห้ง สะอาด มีฝาปิดสนิท อบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที ชั่งน้ำหนักถ้วยและฝาปิดให้ได้น้ำหนักแน่นอน(ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักแน่นอนใส่ในถ้วยอลูมิเนียมประมาณ 2 กรัม เกลี่ยตัวอย่างให้กระจายตัว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส พร้อมเปิดฝาแง้มไว้เล็กน้อย นานประมาณ 4 ชั่วโมง ปิดฝาถ้วยนำถ้วยออกไปไว้ในเดสิกเคเตอร์เพื่อปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลงก่อนนำไปชั่งน้ำหนักแน่นอน ทำการอบซ้ำอีกครั้ง 30 นาที ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ถ้าน้ำหนักยังไม่คงที่ให้นำเข้าอบซ้ำอีกครั้งจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (ทำซ้ำ 3 ครั้ง) คำนวณปริมาณร้อยละของความชื้นของตัวอย่างอาหาร

$$\text{ปริมาณความชื้น(\%โดยน้ำหนัก)} = \frac{100(W_1 - W_2)}{(W_1 - W)}$$

W = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด เป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม ฝาและตัวอย่างก่อนอบ เป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม ฝาและตัวอย่างหลังอบ เป็นกรัม

ก-3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC No. 920.87,1995)

ทำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการบดเมล็ดข้าวกล้องงอกให้ละเอียด เก็บไว้ในภาชนะแห้ง สะอาด มีฝาปิดสนิท ทำการ preheat เตาไฟฟ้าสำหรับทำการย่อยประมาณ 5 – 10 นาที โดยตั้งระดับความร้อนที่ตำแหน่ง10 (10 นาที) แล้วจึงปรับเป็นตำแหน่ง 8 ซึ่งแสดงว่าพร้อมที่จะทำงาน การย่อยตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 – 2 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ใน Kjeldahl flask เติมสารคะตะลิสต 5 กรัม และเติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 15 – 20 มิลลิลิตร นำมาย่อยในเตาไฟฟ้า รอจนระดับความร้อนขึ้นตำแหน่ง 8 แล้วเปิดเครื่องกำจัดไอกรด(scrubber) ทำการย่อยจนสังเกตจากสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวใส ไม่มีตะกอนดำ แสดงว่าการย่อยเสร็จสมบูรณ์ (ประมาณ 40 นาที) ยก flask ขึ้นมาวางบนราง รอให้ไอกรดถูกกำจัดออกไปจนหมด นำ Kjeldahl flask ที่เย็นแล้วเข้าเครื่องกลั่น พร้อมนำ flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่เติมอินดิเคเตอร์ไปวางเพื่อรอรับแอมโมเนียจากการกลั่นตัวอย่าง นำ flask ไปไทเทรตกับกรดเกลือ (0.1 M HCl) จนได้จุดยุติสีชมพูเทา บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีน

คำนวณปริมาณโปรตีน

$$\%\ \text{ไนโตรเจน} = \frac{\text{ความเข้มข้นกรดเกลือ} \times (\text{ปริมาตรไทเทรตตัวอย่าง} - blank) \times 14 \times 100}{1000 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

$$\%\ \text{โปรตีน} = \%\ \text{ไนโตรเจน} \times \text{conversion factor}$$

ก-4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC No. 948.22, 1995)

ทำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการบดเมล็ดข้าวกล้องงอกให้ละเอียด เก็บไว้ในภาชนะแห้ง สะอาด มีฝาปิดสนิท อบ extraction cup ในตู้อบที่ 100 – 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นไว้ในเดสิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก(W_2) ชั่งตัวอย่างลงบนกระดาษกรอง ประมาณ 2- 5 กรัม (W_1) ห่อให้เรียบร้อย ใส่ตัวอย่างลงใน thimble ใช้ Glass wool อุดหลอดไว้ ถ้าตัวอย่างมีคาร์โบไฮเดรตมากให้สกัดด้วยน้ำก่อน นำไปเข้าเครื่อง Soxlet System ใส่ thimble ลงใน Soxlet System โดยใช้ adapter สวม เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงใน extraction cup ที่อบไว้ประมาณ 180 มิลลิลิตร นำไปเข้า Soxlet System ให้ความร้อนและสกัดเป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง หรือควรมีการ Syphon กลับของปิโตรเลียมอีเทอร์อย่างน้อย 10 รอบ ระเหยตัวทำละลายออกให้หมด โดยปล่อย extraction cup ไว้บน Steam Bath เพื่อระเหยตัวทำละลายออกมาให้หมด นำ extraction cup ไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อให้น้ำหนักคงที่ เอาออกจากตู้อบ แล้วปล่อยให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก(W_3)

คำนวณหา % ไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักของตัวอย่าง เป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของ extraction cup เป็นกรัม

W_3 = น้ำหนักของ extraction cup และสารสกัดหลังอบ เป็นกรัม

ก-5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC No. 923.03,1995)

ทำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการบดเมล็ดข้าวกล้องงอกให้ละเอียด เก็บไว้ในภาชนะแห้ง สะอาด มีฝาปิดสนิท เผา Porcelain or platinum crucible ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 15 นาที ปล่อยให้เย็นไว้ในเดสิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก(W_0) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 -5 กรัม ลงใน crucible ชั่งน้ำหนัก(W_1) นำมาเผาให้หมดควันใน Fume hood โดยใช้ hot plate จนตัวอย่างอาหารไหม้ดำ(charred) และหมดควันดำ(fumeless) นำเข้าเผาให้เป็นเถ้าใน muffle furnace ตั้งอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน ถ้ายังมีสีดำให้เติมน้ำเล็กน้อยอบให้แห้งและนำมาเผาต่อ หรืออาจใช้วิธีเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 2 หยด หรือ 4 N nitric acid ประมาณ 4 – 5 หยด เพื่อช่วยเร่งให้ได้เถ้าเร็วขึ้น ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่คงที่ (W_2) ทำซ้ำ 3 ครั้ง

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{(W_2 - W_0)}{W_1 - W_0} \times 100$$

W_0 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา เป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและตัวอย่างก่อนเผา เป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและตัวอย่างหลังเผาเป็นกรัม

ก-6 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (AOAC,1995)

ทำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการบดเมล็ดข้าวกล้องงอกให้ละเอียด เก็บไว้ในภาชนะแห้ง สะอาด มีฝาปิดสนิท ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 - 3 กรัม บันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน(W_0) อบไล่ความชื้น เอาตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมกรด H_2SO_4 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และนำไปต้มเดือดเป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายออกโดยใช้ผ้ากรองบนกรวยบุชเนอร์ และล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร 2 – 3 ครั้ง นำตะกอนผ่านการล้างลงในบีกเกอร์เดิม เติม NaOH 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และนำไปต้มเดือดเป็นเวลา 30 นาที กรองทันทีด้วยผ้ากรองบนกรวยบุชเนอร์ และล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร 2 – 3 ครั้ง ล้างตะกอนด้วย 95% เอทานอล 200 มิลลิลิตร 2 – 3 ครั้ง นำตะกอนที่เหลือบนผ้ากรองใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน(น้ำหนัก

crucible, W_1) อบตะกอนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมงจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่คงที่(W_3) ทำซ้ำ 3 ครั้ง

$$\% \text{ Crude fiber} = \frac{((W_2 - W_1) - (W_3 - W_1))}{W_0} \times 100$$

W_0 = น้ำหนักของตัวอย่าง เป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา เป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและตะกอนก่อนอบ เป็นกรัม

W_3 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและตะกอนหลังอบ เป็นกรัม

ก-7 การทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (A.A. Karagozler *et al.*, 2008)

การสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียด 50 กรัม จากนั้นทำการสกัดด้วยเอทานอล (95 เปอร์เซ็นต์) 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยแช่ตัวอย่างที่บดละเอียดในเอทานอล ตั้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. นำตัวอย่างมาผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนที่ใสมาผ่านการระเหยแห้งโดยการใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำร้อนเป็น 80 ± 2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายออกจากตัวอย่างจนแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. ละลายสารสกัดข้าวกล้องงอกอีกครั้งด้วยตัวทำละลายอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนของน้ำหนักสารสกัดแห้งต่อเอทานอลเป็น 1: 1000 เก็บตัวอย่างสารสกัดในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในที่มืดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลาย DPPH (alcoholic 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ซึ่งจะได้เป็นสารละลาย DPPH

2. นำตัวอย่างสารสกัดที่ได้มา 3 มิลลิลิตร ผสมกับสาละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ปั่นผสมด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 3 วินาที ตั้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที

3. เตรียม blank โดยผสมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 3 มิลลิลิตร กับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ปั่นผสมด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 3 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างและ blank ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ radical scavenging activity ตามสมการ

$$\% \text{ radical scavenging activity} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

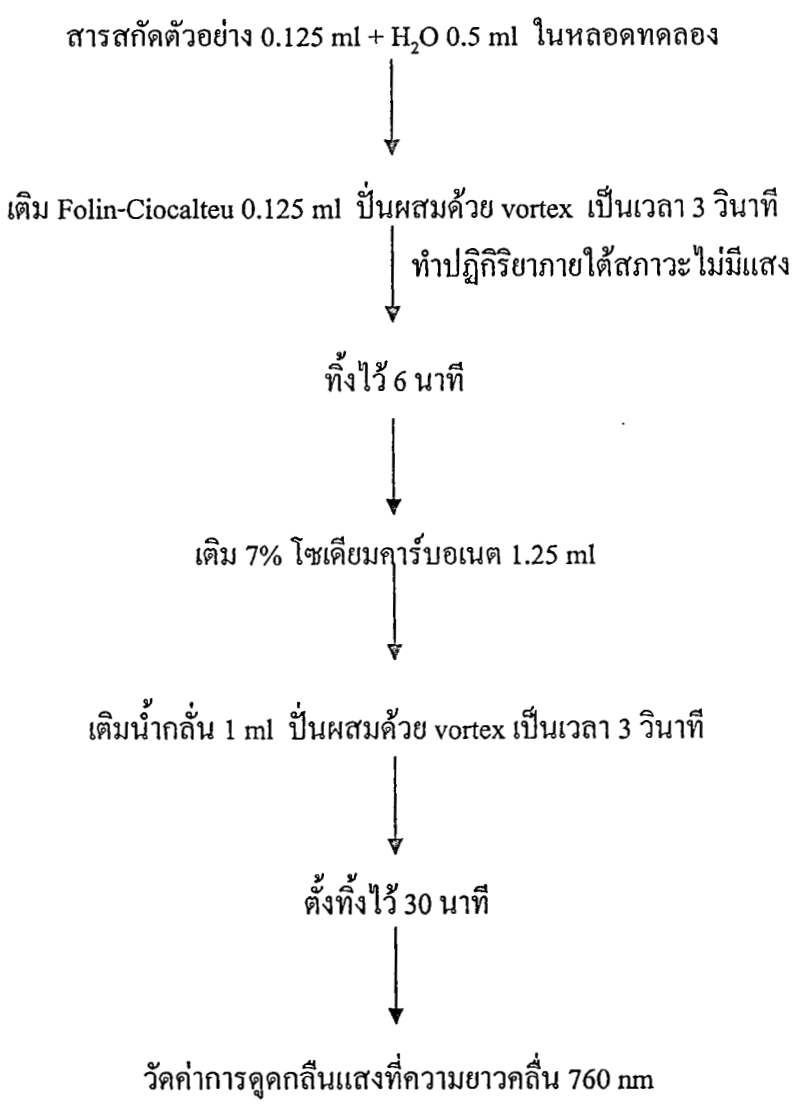
กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

หมายเหตุ สารละลาย DPPH ต้องเตรียมใหม่ทุกวันและเก็บในที่มืดอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์

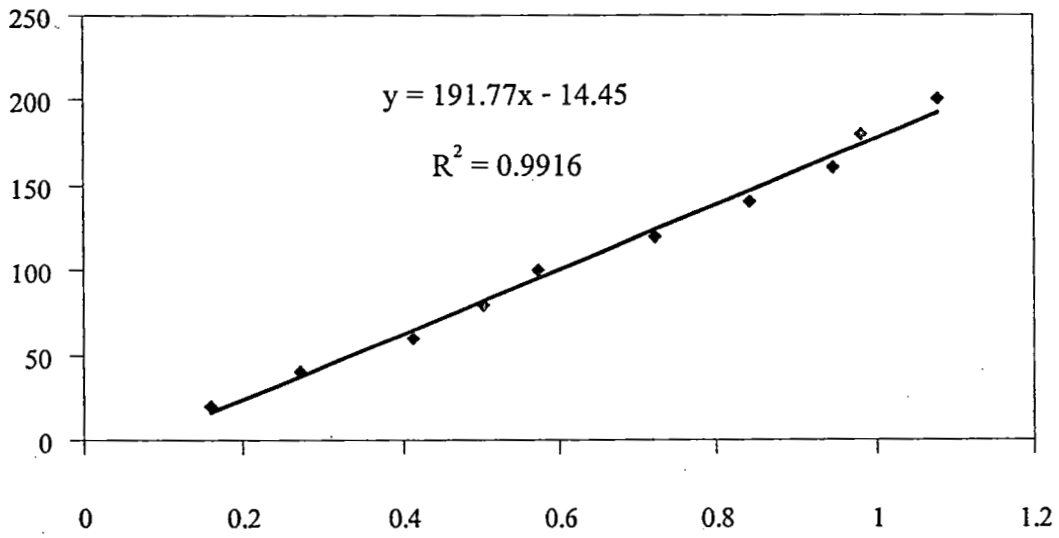
ก-8 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Dewanto *et al.*, 2002)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดโดยใช้ UV/VIS Spectrophotometer ใช้สารสกัดตัวอย่างเช่นเดียวกับที่แสดงในภาคผนวก ก-7 มีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ ก- 1



ภาพที่ ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด

เตรียม blank โดยทำกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของกรดแกลลิค โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิคที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 10 ระดับ (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 µg/ml) จากนั้นปิเปตแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 ml เติมน้ำ 0.5 ml แล้วทำตามขั้นตอนต่างๆ เหมือนกับตัวอย่าง



ภาพที่ ก-2 กราฟมาตรฐาน (standard curve) ของกรดแกลลิค

ก-9 การวิเคราะห์ค่า Water activity (a_w)

วิเคราะห์ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง NOVASINA รุ่น AWC Water activity center โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า a_w มีดังนี้

วิธี Set-up Calibration

1. กรณีรู้ค่า a_w โดยประมาณของตัวอย่างที่จะทดสอบให้ Calibrate ด้วยสารละลายความชื้นมาตรฐาน 2 ตัว ที่มีค่า a_w มากกว่า และน้อยกว่าค่า a_w โดยประมาณของตัวอย่าง
2. กรณีไม่รู้ค่า a_w โดยประมาณของตัวอย่างที่จะทดสอบให้ Calibrate ด้วยสารละลายความชื้นมาตรฐานทั้ง 6 ตัว
3. เสียบปลั๊กเครื่อง เปิดสวิตซ์ที่ด้านหลังเครื่อง ปรับสวิตซ์ Temperature preselector เป็นหมายเลข 190
4. เปิด Cover และ Measurement head ตามลำดับ นำตลับสารความชื้นมาตรฐานใส่ใน Measurement head ตามลำดับ นำตลับสารความชื้นมาตรฐานใส่ใน Measuring bowl ให้เริ่มต้นด้วยสารความชื้นมาตรฐานที่มีค่าสูง ปิด Measurement head และ Cover ตามลำดับ
5. หมุนปุ่มสีเหลืองไปยังหมายเลข 2 รอจนอุณหภูมิและค่า a_w ใกล้เคียงกับที่จะ Calibrate
6. กดปุ่มสีฟ้าค้างไว้จนกระทั่งบนจอกระพริบ ถ้าบนจอกระพริบเป็นคำว่า NO CAL รอจนกว่าบนจอแสดงข้อความที่เป็นตัวเลขของสารความชื้นมาตรฐานที่กำลัง Calibrate พร้อมกับคำว่า CAL แล้วข้อความกระพริบด้วย แล้วจึงปล่อยมือ

7. กดปุ่มสีฟ้าอีกครั้ง จนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบและแสดงค่าอุณหภูมิ และค่า a_w
8. หลังจากเสร็จสิ้นการ Calibrate แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปกติ คือพร้อมที่จะวัด และแสดงค่าอุณหภูมิ และ% ERE (a_w =ERH/100) ของตัวอย่าง

วิธีการใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง

1. ตั้งอุณหภูมิในการอ่านค่าตามที่ต้องการ
2. ปรับปุ่มสีเหลืองให้อยู่ที่หมายเลข 1
3. นำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง (sample cup) ปริมาณของตัวอย่าง 3 ใน 4 ของความจุของถ้วย และตัวอย่างต้องไม่สูงเกินขอบของภาชนะโดยเด็ดขาด
4. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น
5. เปิดฝาถ้วยตัวอย่างออก แล้ววางลงใน Chamber ปิดด้วยฝาครอบทองเหลือง พร้อมหมุนตามเข็มนาฬิกา ปิดฝาเครื่อง Novasina
6. รอจนกระทั่งหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิที่ต้องการ และเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่างกระพริบพร้อมกัน 4 อัน เมื่อเครื่องหมายสามเหลี่ยมด้านล่างกระพริบ 4 อัน พร้อมกัน เริ่มจับเวลาประมาณ10 นาที จึงบันทึกค่า a_w และอุณหภูมิ
7. เปิดฝาเครื่อง Novasina แล้วหมุนฝาครอบทองเหลืองทวนเข็มนาฬิกา ยกขึ้น นำภาชนะบรรจุออกจาก Chamber
8. เมื่อเลิกใช้งาน ให้วางถ้วยตัวอย่างที่บรรจุ siliga gel ลงใน Chamber แล้วจึงปิดฝาเครื่อง Novasina

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ข-1 การวัดค่าสี

วัดค่าสีโดยใช้เครื่อง (HunterLab, MiniScan XP Plus, U.S.A) นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรหลังการล้างและการหุงสุก มาบรรจุให้เต็มตลับพลาสติกทรงกลมใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร โดยใส่ตัวอย่างข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรหลังการล้างและการหุงสุกลงไปในตลับพลาสติก ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดสีมีดังนี้

1.ขั้นตอนการต่อเครื่องให้เรียบร้อย

1.1เสียบสายอุปกรณ์ต่อกับเครื่องให้เรียบร้อย ก่อนที่จะทำการเสียบเข้ากับปลั๊กไฟ

1.2 เข้าโปรแกรม Universal

2.ทำการ Standardize

2.1 เข้าMenu Bar Standardize (CAL)

2.2 เลือก Port Size เป็น 1.25 นิ้ว กด OK

2.3 เครื่องจะถามหาแผ่น Black Glass ให้แผ่นวาง Black Glass ที่ Sample Port กด OK

2.4เครื่องจะถามหาแผ่น White Tile ให้แผ่นวาง White Tile ที่ Sample Port กด OK

2.5กด OK อีกครั้ง

2.6 ทำการวัดค่าเทียบกับแผ่นขาวโดยใช้ Scale X Y Z วัดเทียบค่ากับ Scale ด้านหลังแผ่นความแตกต่าง Delta X Y Z ต้องมีความต่างไม่เกิน ± 0.3 Units ถ้าเกินให้ทำความสะอาดแผ่น Black Glass และ White Tile แล้วทำการ Standardize ใหม่อีกครั้ง

3.หน้าจอของโปรแกรม Universal มีทั้งหมด 9 หน้าจอ แต่เจอหน้าจอใช้ดู Scale คือ Master Color Data

4.การวัดค่า

4.1 เราสามารถทำการวัดค่าได้เลย โดยเลือกเข้าหน้าจอ Master Color Data

4.2 ถ้าต้องการวัดค่า Standard กด Read Std ที่ Menu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Standard

4.3ถ้าต้องการวัดค่า Sample กด Read Sam ที่ Menu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Sample

5.การเปลี่ยน Scale

5.1 ในหน้าจอ Master Color Data ให้กด Active View ที่เมนู Bar

5.2 ทำการแก้ไข Scale ในช่อง Scale แล้วกด OK

5.3 โปรแกรมจะทำการเปลี่ยน Scale ให้

6.การ Upload ข้อมูล

6.1เข้า Menu Sensor เลือก Upload MiniScale Sample

6.2 ทำการ Mark ข้อมูลที่จะให้เลือก Select All ถ้าต้องการเลือกทั้งหมด

6.3 เลือก Save ถ้าต้องการเก็บค่า เลือก Display ถ้าต้องการโชว์ข้อมูลและเก็บค่าทีหลัง

ข-2 วัดเนื้อสัมผัส (เฉลิมชัย รอดมณี, 2548)

วัดเนื้อสัมผัสข้าวหุงสุกโดยใช้เครื่อง Texture Analysis; TA.XT2 นำข้าวที่ผ่านการหุงสุก 20 กรัม บรรจุในกระป๋องอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร สูง 3.7 เซนติเมตร รายงานค่าเป็นค่าความแข็ง(hardness) ใช้หัววัดขนาด 35 มิลลิเมตร (P/35) และกำหนดสภาวะของเครื่องดังนี้

Mode	: Measure force in compression
Option	: Return to start
Pre-test speed	: 0.5 mm/s
Test speed	: 0.5 mm/s
Post-test speed	: 10.0 mm/s
Strain	: 75%
Strigger type	: Auto-10 g

Data acquisitions rate: 100 pps

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ค-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Petrifilm) (บริษัท 3เอ็ม ประทศไทย จำกัด, 2552)

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในถุงพลาสติกปลอดเชื้อ เติมสารละลายเปปโตนปริมาตร 90 มิลลิลิตร ลงในถุง นำไปตีผสมเป็นเวลา 60 วินาที จะได้ตัวอย่างความเจือจาง 10^{-1}

2. ใช้ปิเปตถ่ายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองบรรจุสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม จะได้ตัวอย่างความเจือจาง 10^{-2}

3. เจือจางตัวอย่างโดยวิธีเดียวกับข้อ 2 เป็นลำดับ จนได้ตัวอย่างความเจือจางที่ต้องการ

4. วางแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปสำหรับจุลินทรีย์ทั้งหมด บนพื้นราบ เปิดแผ่นฟิล์มแผ่นบนขึ้น

5. ปิเปตตัวอย่างความเจือจางที่เหมาะสม 2 ระดับ คือ 10^{-3} และ 10^{-4} มา 1 มิลลิลิตร ใช้ปิเปตถ่ายตัวอย่างลงกลางแผ่นฟิล์มแผ่นล่าง ให้ปิเปตตั้งฉากกับแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป ทำ 2 ซ้ำ ในตัวอย่างแต่ละความเจือจาง

6. ค่อยๆ ปิดแผ่นฟิล์มแผ่นบนลงมา อย่าปล่อยให้แผ่นฟิล์มตกลงมาเอง

7. วางตัวกด (spreader) ทาบลงบนแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป กดลงจนเห็นตัวอย่างกระจายทั่วบริเวณวงกลมขอบนอก ยก spreader ขึ้น รอ 1-2 นาที เพื่อให้เนื้อเจลแข็งตัว

8. บ่มแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปโดยให้ด้านใสหงายขึ้น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน

9. นับจำนวนโคโลนีจากแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อ หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละแผ่นที่มีค่าอยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี และคำนวณค่า cfu ต่อกรัมของตัวอย่าง ทั้งนี้หากจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1-25 โคโลนี ให้เขียนคำว่า estimated หรือ est. ต่อท้ายไว้ด้วย

ค่า cfu ต่อกรัม คำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\text{cfu ต่อกรัม} = n/d$$

$$\text{หรือ} = n \times df$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีที่นับได้

d คือ ความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะในจานที่หาค่า n ได้

df คือ dilution factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะในจานที่หาค่า n ได้

ค-2 การตรวจเชื้อยีสต์และราโดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Petrifilm) (บริษัท 3เอ็ม ประทศไทย จำกัด, 2552)

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม และทำการเจือจางด้วยสารละลายเปปโตน โดยวิธีเดียวกับ ง-1 จนได้ตัวอย่างความเจือจางตามต้องการ

2. เลือกตัวอย่างที่มีค่าความเจือจางที่เหมาะสม 2 ระดับ คือ 10^{-2} และ 10^{-3} มา 1 มิลลิลิตร ใช้ปิเปตถ่ายตัวอย่างลงกลางแผ่นฟิล์มแผ่นล่าง ให้ปิเปตตั้งฉากกับแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปสำหรับยีสต์และรา ทำ 2 ซ้ำ ในตัวอย่างแต่ละความเจือจาง

6. ค่อยๆ ปิดแผ่นฟิล์มแผ่นบนลงมา อย่าปล่อยให้แผ่นฟิล์มตกลงมาเอง

7. วางตัวกด (spreader) ทาบลงบนแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป กดลงจนเห็นตัวอย่างกระจายทั่วบริเวณวงกลมขอบนอก ยก spreader ขึ้น รอ 1-2 นาที เพื่อให้เนื้อเจลแข็งตัว

8. บ่มแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปโดยให้ด้านใสหงายขึ้น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน

9. นับจำนวนโคโลนีจากแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อ หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละแผ่นที่มีค่าอยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี และคำนวณค่า cfu ต่อกรัมของตัวอย่าง ทั้งนี้หากจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1-25 โคโลนี ให้เขียนคำว่า estimated หรือ est. ต่อท้ายไว้ด้วย

ค่า cfu ต่อกรัม คำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\text{cfu ต่อกรัม} = n/d$$

$$\text{หรือ} = n \times df$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีที่นับได้

d คือ ความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะในจานที่หาค่า n ได้

df คือ dilution factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะในจานที่หาค่า n ได้

ค-3 การวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

นำน้ำกลั่นใส่ในหลอดทดลองปริมาตร 2 มิลลิลิตร ต้มจนเดือด และชั่งตัวอย่างข้าวกล้องงอก 1 กรัม ใส่หลอดทดลอง (อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1 : 2) ต้มเป็นเวลา 5 และ 10 นาที เมื่อครบเวลาให้ตักข้าวที่สุกแล้วออกมา 0.5 กรัม ใส่หลอดทดลองสำหรับ dilution (10^{-1})

ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ปริมาณ 11.75 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเพื่อให้อาหารละลายอย่างสมบูรณ์ เทใส่ขวด Duran และชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ปริมาณ 19.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเพื่อให้อาหารละลายอย่างสมบูรณ์ และเทใส่ขวด Duran จากนั้นเตรียมสารละลายกรดทาร์ทาริก 10% โดยชั่งผงกรดทาร์ทาริกปริมาณ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเทใส่ขวด duran

นำ Petri dish อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA และ PDA สารละลายกรดทาร์ทาริก 10% และหลอดทดลองพร้อมฝาปิด Pipette tip และน้ำกลั่นมา clave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

ปิเปตตัวอย่างแต่ละความเจือจางมา 1 มิลลิลิตร ใส่ใน Petri dish (แต่ละ Petri dish ทำ 2 ซ้ำ) และทำ Petri dish ควบคุมที่ไม่ใส่ตัวอย่าง 1 อัน เทอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอุณหภูมิ 45 – 50 °C ลงใน Petri dish ที่มีตัวอย่างอยู่ปริมาตร 15 มิลลิลิตร หมุนจานไปมาเล็กน้อยโดยการหมุนซ้ายและขวาเพื่อให้อาหารกับตัวอย่างเข้ากันดี จากนั้นรอให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง กลับจานเพาะเชื้อก่อนนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง รอจนครบเวลาแล้วนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ ตรวจนับเชื้อในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีในช่วง 30-300 โคโลนี รายงานผลจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหารตัวอย่าง ในหน่วย CFU/g

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบความชอบวิธี 9-point Hedonic Scale

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	2 = ไม่ชอบมาก	3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	5 = เฉย	6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง	8 = ชอบมาก	9 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	_____	_____	_____	_____
สี	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....
ความนุ่ม	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณกาบาของข้าวกล้องงอก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาในการแช่	2	1124.477	562.238	835.964	.000*
อุณหภูมิในการแช่	2	617.157	308.579	458.810	.000*
เวลา*อุณหภูมิ	4	1205.852	301.463	448.230	.000*
Error	18	12.106	0.673		
Total	27	7722.066			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารสกัดหยาบจากสมุนไพรที่ทำการสกัดด้วยน้ำ

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สมุนไพร	3	570.697	190.232	79.540	.000*
Error	8	19.133	2.392		
Total	12	11862.90			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในสารสกัดหยาบสมุนไพร

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
ชนิดสารสกัด	3	38608.947	12869.649	5866.373	.000*
Error	8	17.550	2.194		
Total	12	137386.10			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารสกัดหยาบสมุนไพร

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
ชนิดสารสกัด	3	1626.162	542.054	1846.862	.000*
Error	8	2.348	.294		
Total	12	8297.87			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนประสิทธิภาพต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบสมุนไพร

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
ชนิดสารสกัด	4	4268965.31	1067241.329	41689.11	.000*
Error	10	256	25.6		
Total	15	6517800.13			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	3.619	3.619	12.668	.003*
สมุนไพร	3	148.919	49.640	173.745	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	3.615	1.205	4.218	.022*
Error	16	4.571	.286		
Total	24	191780.735			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	14.446	14.446	57.126	.000*
สมุนไพร	3	354.533	118.178	467.329	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	48.187	16.062	63.518	.000*
Error	16	4.046	.253		
Total	24	154514.408			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	19.929	19.929	81.500	.000*
สมุนไพร	3	238.967	79.656	325.751	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	16.981	5.660	23.147	.000*
Error	16	3.912	.245		
Total	24	175283.178			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	7017.840	7017.840	36208.651	.000*
สมุนไพร	3	18427.469	6142.490	31692.267	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	4798.469	1599.490	8252.590	.000*
Error	16	3.101	.194		
Total	24	203575.486			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	182.381	182.381	1200.336	.000*
สมุนไพร	3	104.962	34.987	230.269	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	26.952	8.984	59.129	.000*
Error	16	2.431	.152		
Total	24	9489.587			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	345.345	345.345	98.617	.000*
สมุนไพร	3	353.585	117.862	33.657	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	142.368	47.456	13.552	.000*
Error	16	56.030	3.502		
Total	24	17466.343			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า L* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	26.376	26.376	435.099	.000*
สมุนไพร	3	41.438	13.813	227.854	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	94.608	31.536	520.220	.000*
Error	16	.970	.061		
Total	24	36157.506			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า L* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	12.098	12.098	621.493	.000*
สมุนไพร	3	35.263	11.754	603.819	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	16.489	5.496	282.340	.000*
Error	16	.311	.019		
Total	24	45533.859			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า L* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	2.877	2.877	65.975	.000*
สมุนไพร	3	13.340	4.447	101.962	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	18.124	6.041	138.520	.000*
Error	16	.698	.044		
Total	24	41078.223			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า a* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	5.970	5.970	347.432	.000*
สมุนไพร	3	11.978	3.993	232.349	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	13.180	4.393	255.675	.000*
Error	16	.275	.017		
Total	24	5278.008			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า a* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	4.620	4.620	190.288	.000*
สมุนไพร	3	17.797	5.932	244.345	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	1.406	.469	19.297	.000*
Error	16	.388	.024		
Total	24	2536.086			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า a* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	5.358	5.358	416.032	.000*
สมุนไพร	3	16.407	5.469	424.650	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	2.217	.739	57.385	.000*
Error	16	.206	.013		
Total	24	2757.843			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า b* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	68.411	68.411	1291.489	.000*
สมุนไพร	3	142.880	47.627	899.110	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	35.765	11.922	225.062	.000*
Error	16	.848	.053		
Total	24	10374.124			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า b* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	13.128	13.128	492.285	.000*
สมุนไพร	3	165.344	55.115	2066.801	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	9.261	3.087	115.763	.000*
Error	16	.427	.027		
Total	24	2595.966			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า b* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	1.270	1.270	171.761	.000*
สมุนไพร	3	302.930	100.977	13660.869	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	10.562	3.521	476.283	.000*
Error	16	.118	.007		
Total	24	3942.888			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็ง (Hardness) ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	1.114	1.114	23.517	.000*
สมุนไพร	3	.074	.025	.521	.674
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	.107	.036	.756	.535
Error	16	.758	.047		
Total	24	22338.424			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็ง (Hardness) ของข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.^{ns}
สารเคลือบ	1	.022	.022	.340	.568
สมุนไพร	3	.524	.175	2.748	.077
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	.608	.203	3.191	.052
Error	16	1.017	.064		
Total	24	39262.941			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านสีของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	.337	.337	.428	.514
สมุนไพร	3	22.246	7.415	9.406	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	2.912	.971	1.231	.299
Block	29	56.021	1.932	2.662	.000*
Error	29	182.900	.788		
Total	232	11211.000			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านสีของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	.004	.004	.006	.938
สมุนไพร	3	7.879	2.626	3.820	.011*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	1.413	.471	.685	.562
Block	29	24.921	.859	1.254	.184
Error	232	159.500	.687		
Total	240	12027.000			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	.504	.504	.563	.454
สมุนไพร	3	56.079	18.693	20.873	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	7.946	2.649	2.958	.033*
Block	29	49.921	1.721	1.626	.028*
Error	232	207.767	.896		
Total	240	9069.000			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	35.167	11.722	11.007	.000*
สมุนไพร	3	6.667	6.667	6.260	.013*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	13.433	4.478	4.205	.006*
Block	29	22.333	.770	.578	.960
Error	232	247.067	1.065		
Total	240	11784.000			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านความนุ่มของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.^{ns}
สารเคลือบ	1	2.400	2.400	2.655	.105
สมุนไพร	3	1.433	.478	.529	.663
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	2.833	.944	1.045	.374
Block	29	70.650	2.436	3.510	.000*
Error	232	209.733	.904		
Total	240	9742.000			

* หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านความนุ่มของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	2.817	2.817	4.793	.030*
สมุนไพร	3	.833	.278	.473	.702
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	3.017	1.006	1.711	.165
Block	29	17.750	.612	1.026	.435
Error	232	136.333	.588		
Total	240	9518.000			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ผ่านการล้างและหุงสุก

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	.067	.067	.046	.831
สมุนไพร	3	65.233	21.744	14.881	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	17.700	5.900	4.038	.008*
Block	29	36.750	1.267	.691	.882
Error	232	182.933	.789		
Total	240	9794.000			

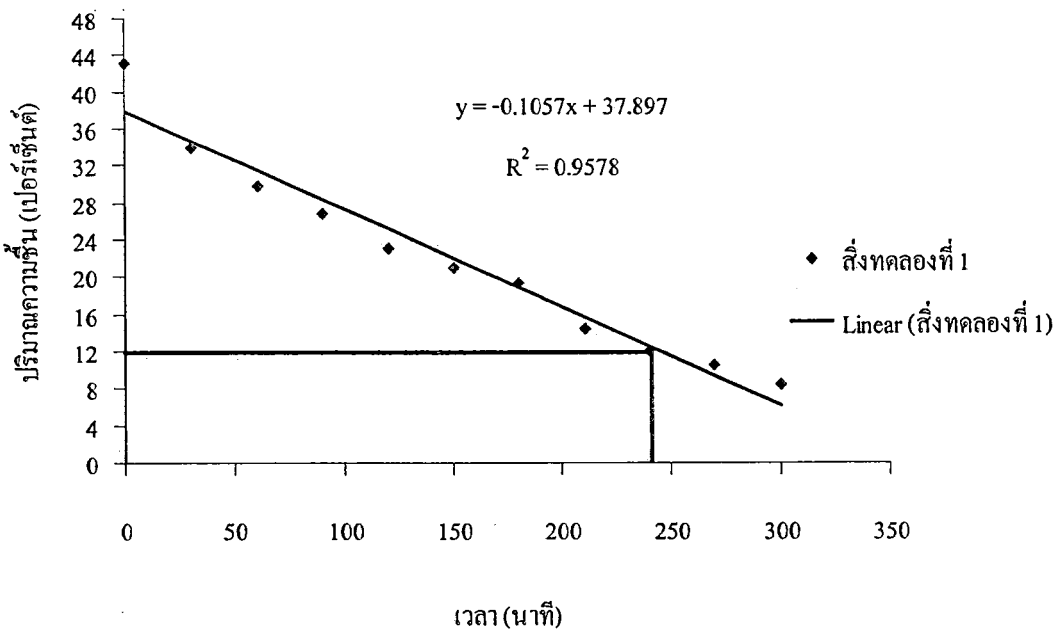
* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่ไม่ผ่านการล้างและหุงสุก

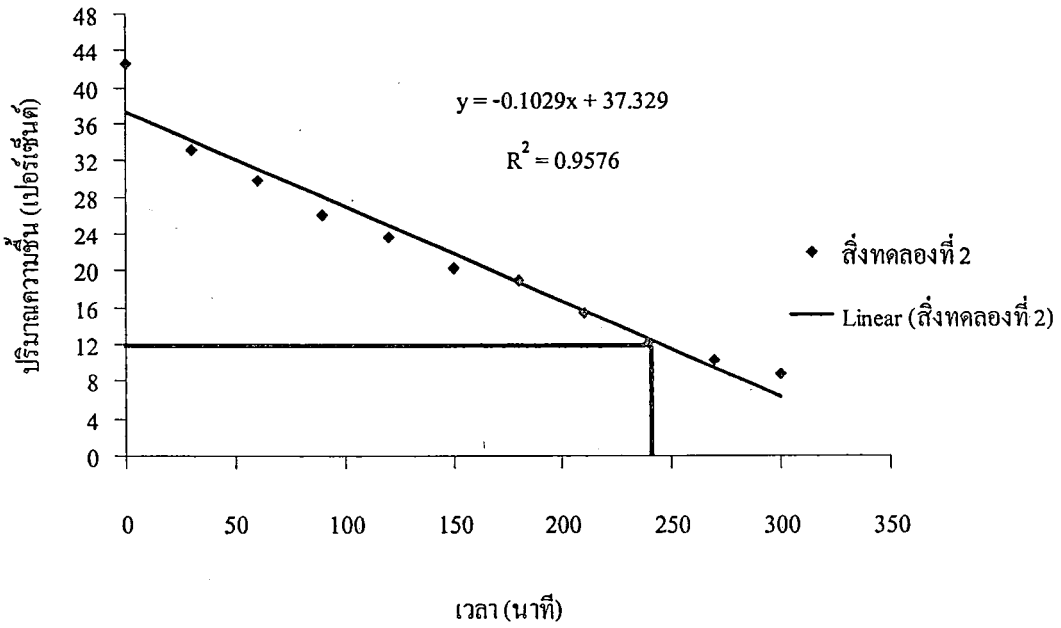
Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
สารเคลือบ	1	.199	.199	.101	.751
สมุนไพร	3	110.112	36.704	18.574	.000*
สารเคลือบ*สมุนไพร	3	34.764	11.588	5.864	.001*
Block	29	63.713	2.197	.851	.688
Error	232	448.567	1.976		
Total	240	10515.000			

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

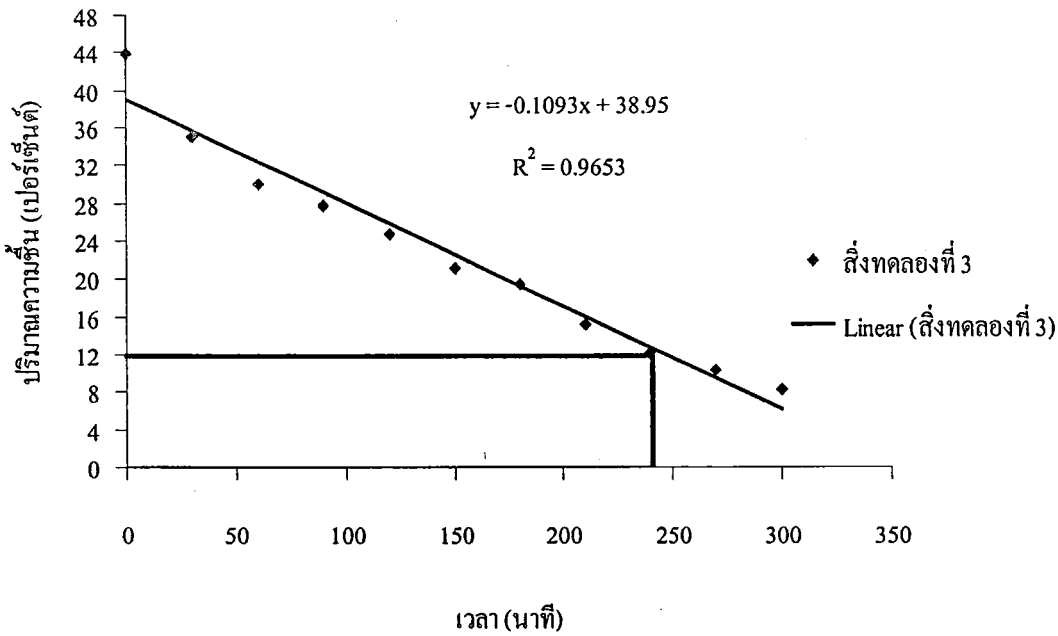
ภาคผนวก ฉ
กราฟการทำแห้ง



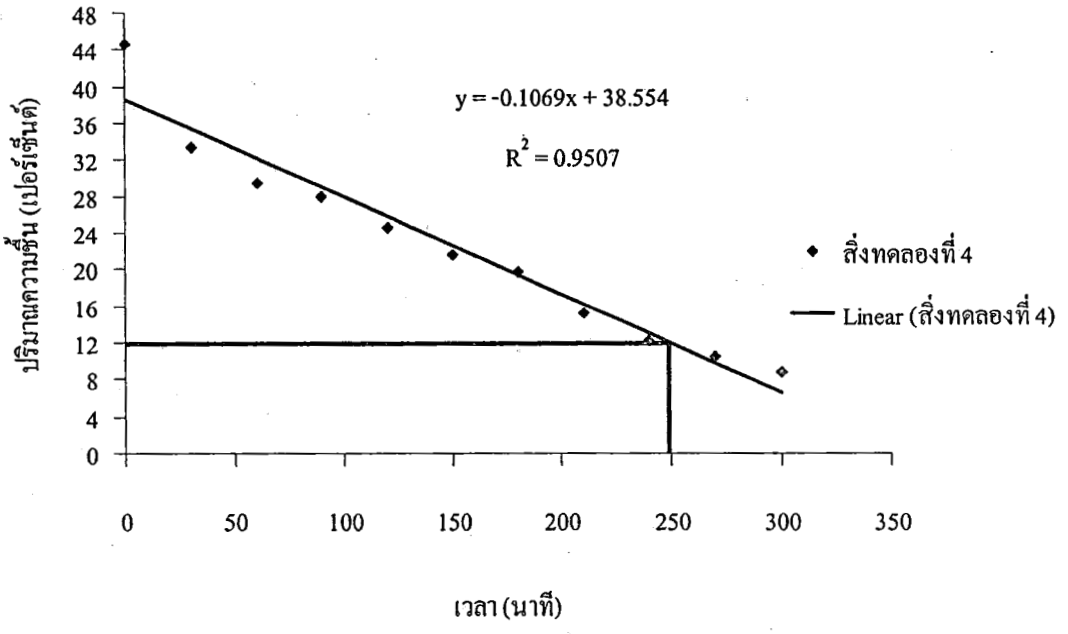
ภาพที่ ฉ-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง



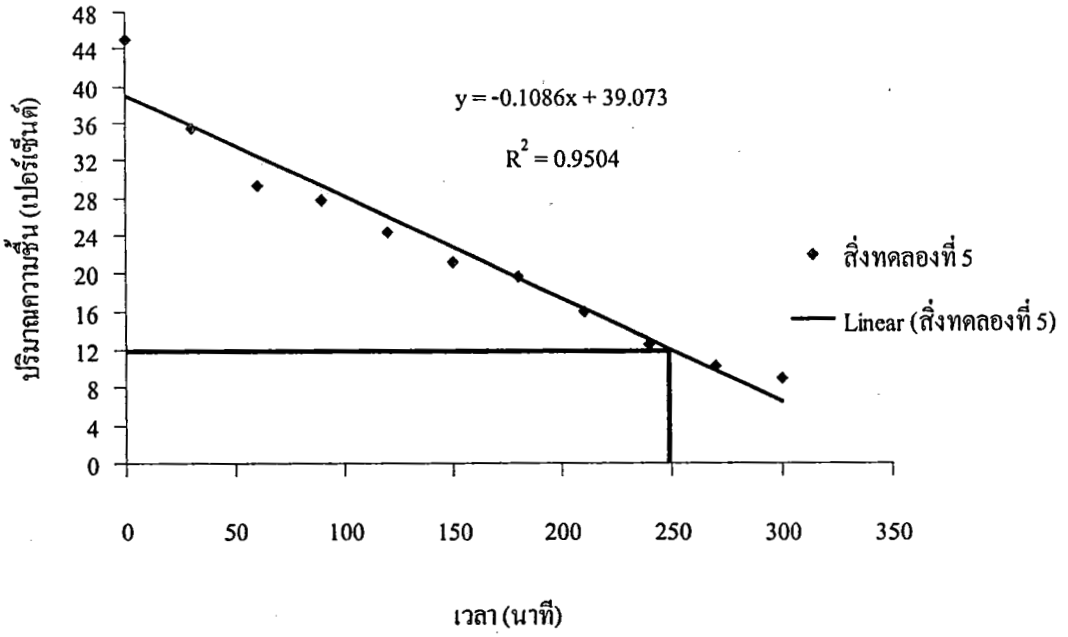
ภาพที่ ฉ-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง



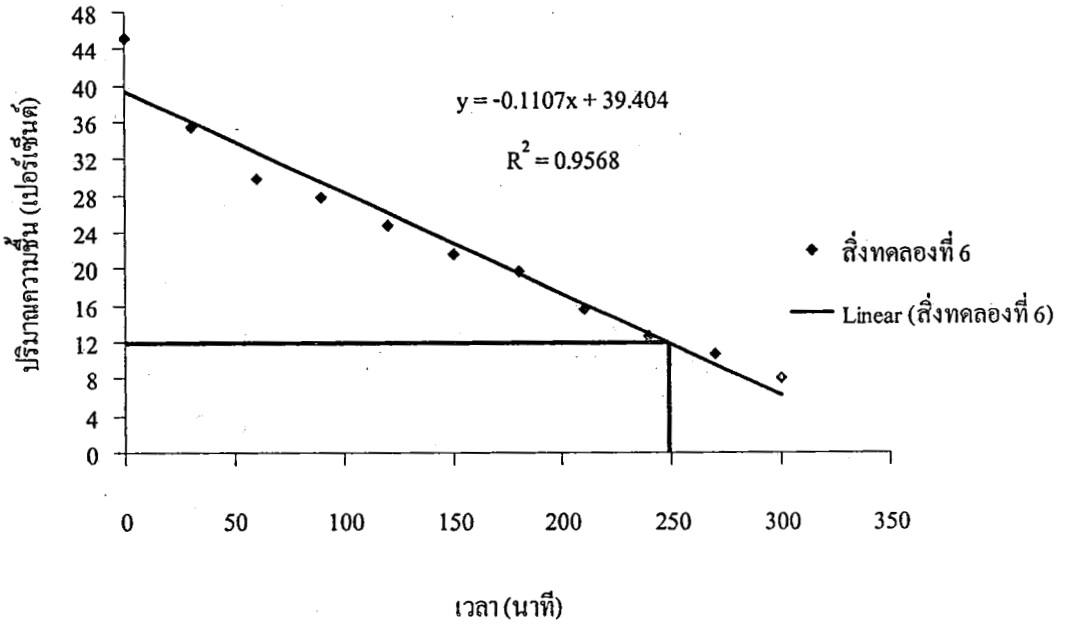
ภาพที่ ฉ-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง



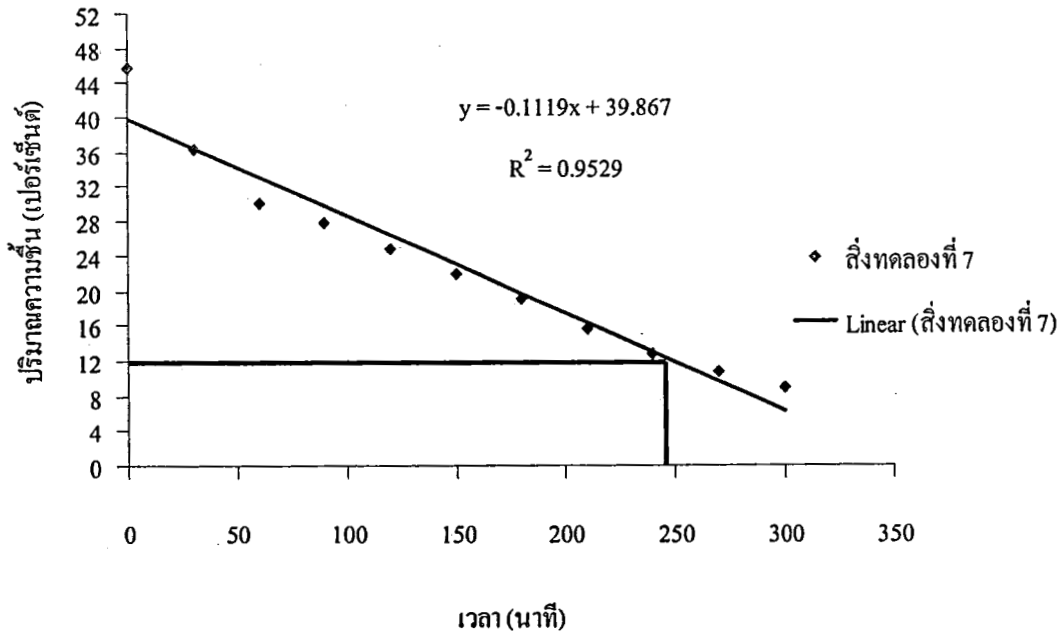
ภาพที่ ฉ-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง



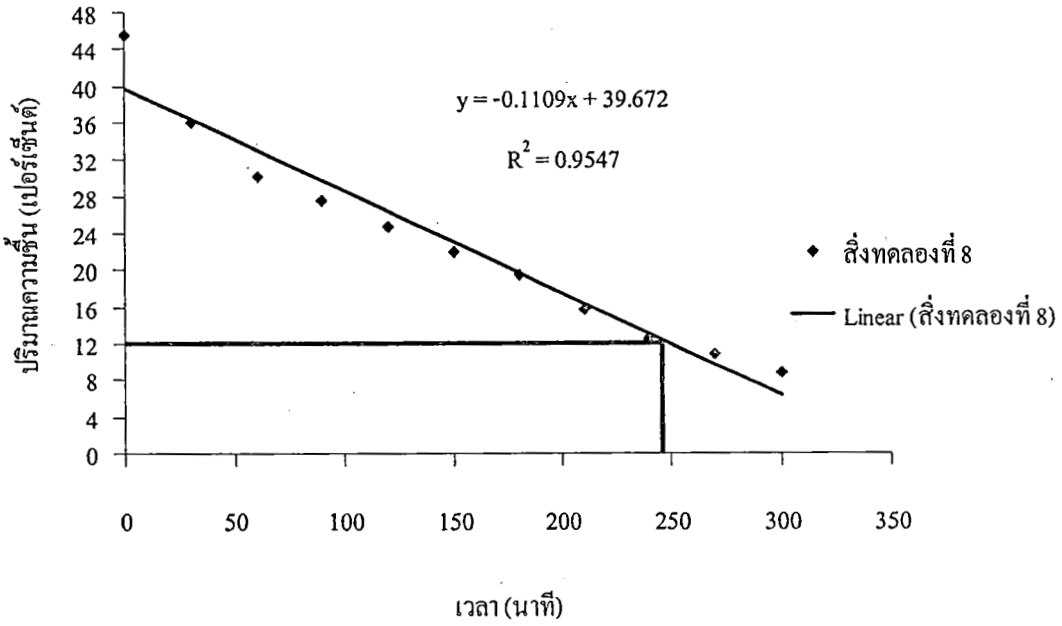
ภาพที่ ฉ-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง



ภาพที่ ฉ-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง



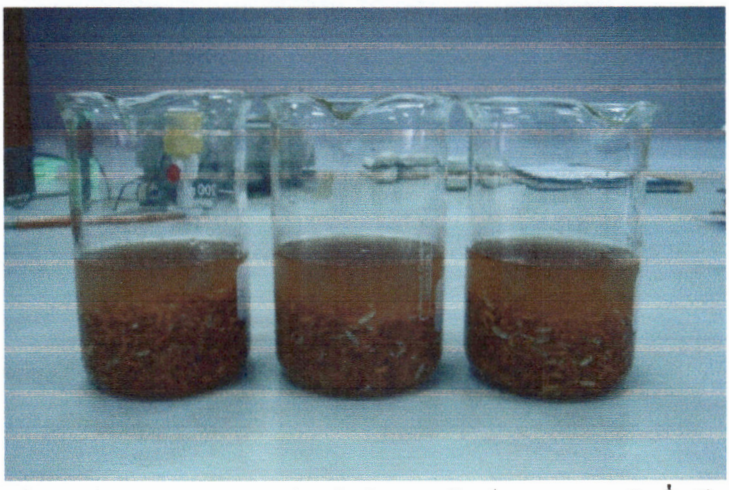
ภาพที่ ฉ-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง



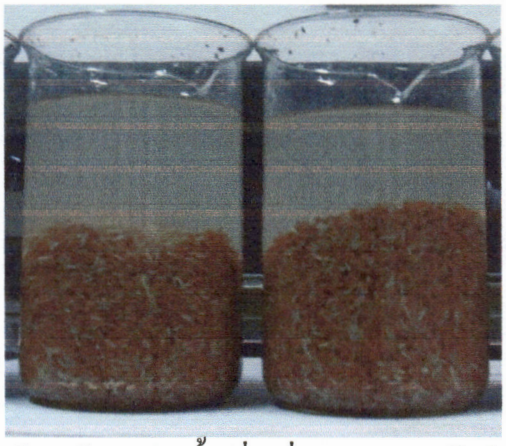
ภาพที่ ฉ-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง

ภาคผนวก ช

ภาพประกอบสำหรับงานวิจัย



ก) ข้าวกล้องแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์นาน 30 นาที เพื่อล้างทำความสะอาด



ข) ข้าวกล้องแช่ในน้ำกลั่นเพื่อทำการเพาะข้าวให้งอก

ค) นำเข้าตู้บ่ม(incubator)ที่อุณหภูมิ 35±1 °C

ภาพที่ ช-1 ขั้นตอนการเตรียมข้าวกล้องงอกโดยการแช่ข้าว ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (ก) ตามด้วยการแช่ในน้ำกลั่นเพื่อให้งอก(ข) และการบ่มข้าวในตู้อบเพื่อให้ข้าวงอก (ค)

(ก)

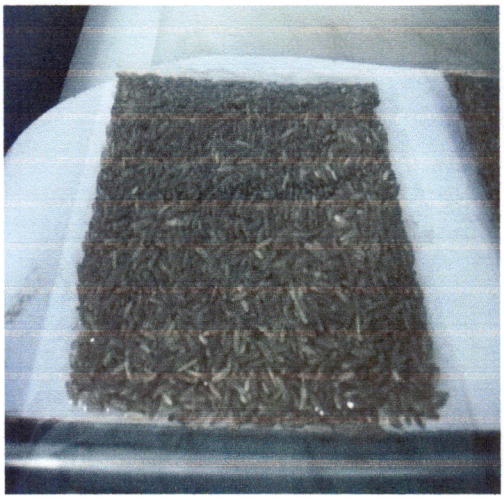
(ข)

ภาพที่ ช-2 การเพาะข้าวกล้องงอกภายใต้แก๊สไนโตรเจนในที่มืดโดยใช้เครื่องบรรจุแก๊สไนโตรเจน (ก) และบรรจุในถุงฟอยล์ (ข)

ภาพที่ ช-3 ข้าวกล้องในระยะต่างๆ ข้าวกล้องหลังการแช่น้ำ (ก) ข้าวกล้องหลังการทำให้งอก (ข)

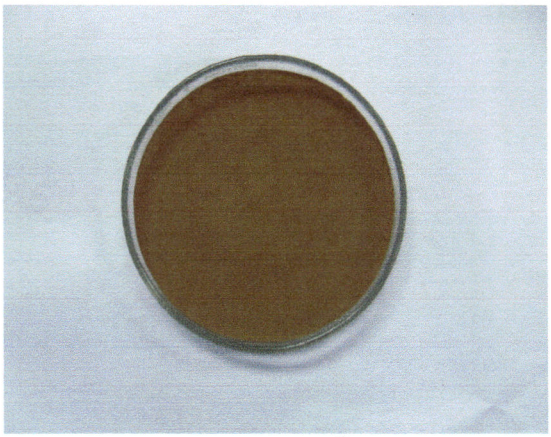
(ก) การเคลือบข้าวกล้องงอกด้วยสารสกัดสมุนไพร (ข) ข้าวกล้องงอกใส่ถาดอบแห้ง

ภาพที่ ช-4 สารเคลือบร่วมกับสารสมุนไพร(ก) และเกลี่ยข้าวใส่ถาดในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C



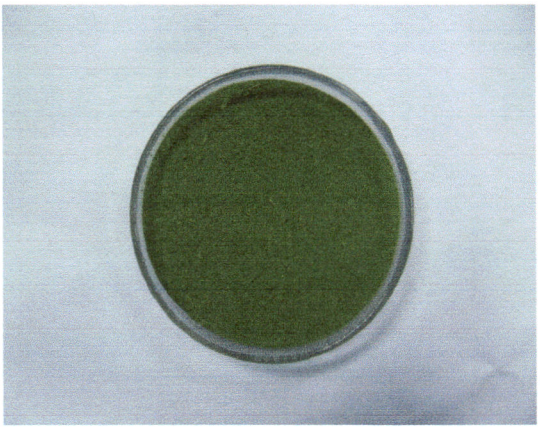
(ก) ข้าวกล้องงอก บรรจุลงในถุงสุญญากาศ (ข) การบรรจุข้าวด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ

ภาพที่ ช-5 ข้าวกล้องบรรจุลงในถุงสุญญากาศ(ก) และการบรรจุข้าวด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ(ข)

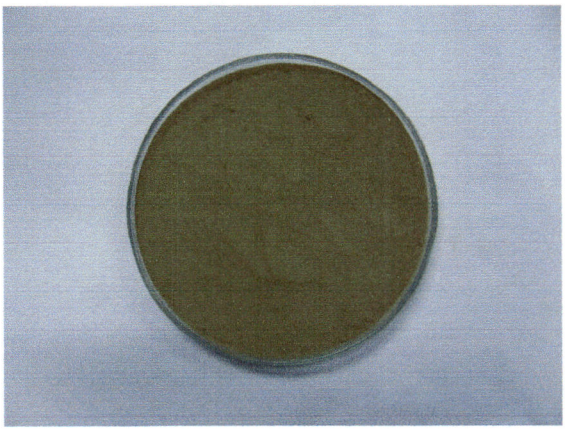


ก) ผงเหง้าขมิ้นแห้ง

ข) ดอกคำฝอยแห้ง

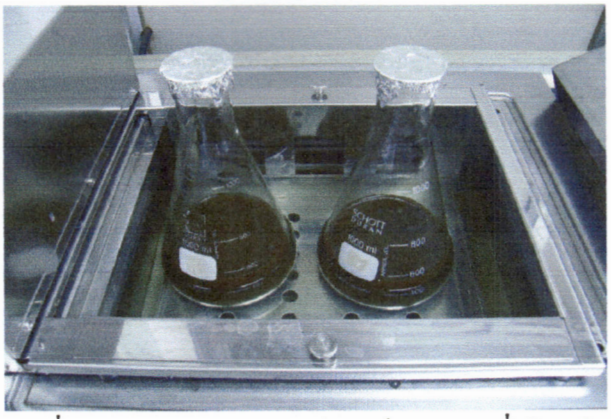


ค) ผงใบบัวบกแห้ง

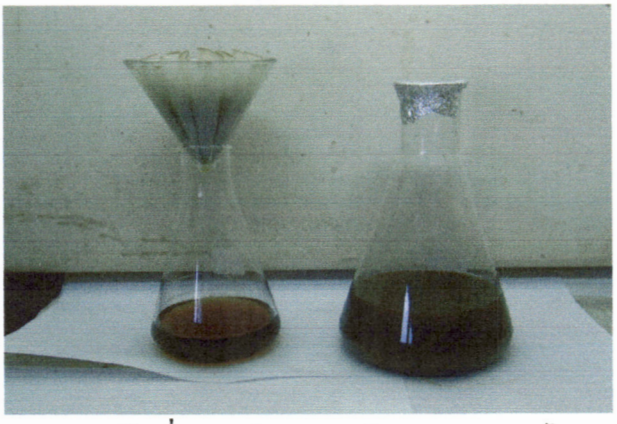


ง) ผงใบมะรุมแห้ง

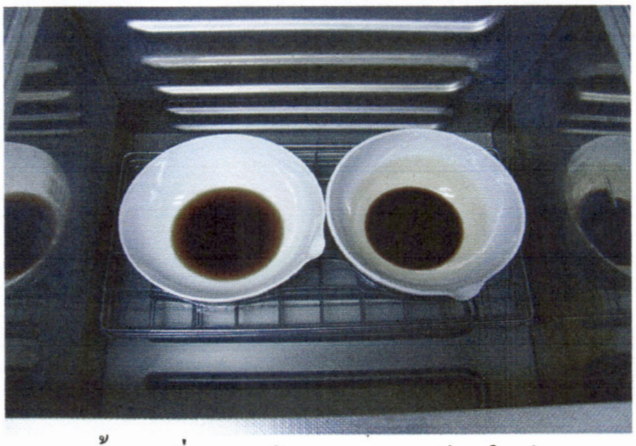
ภาพที่ ช-6 วัตถุดิบสมุนไพรที่นำมาใช้ในการสกัด ผงเหง้าขมิ้นแห้ง (ก) ดอกคำฝอยแห้ง (ข) ผงใบบัวบกแห้ง (ค) และ ผงใบมะรุมแห้ง (ง)



ก) ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

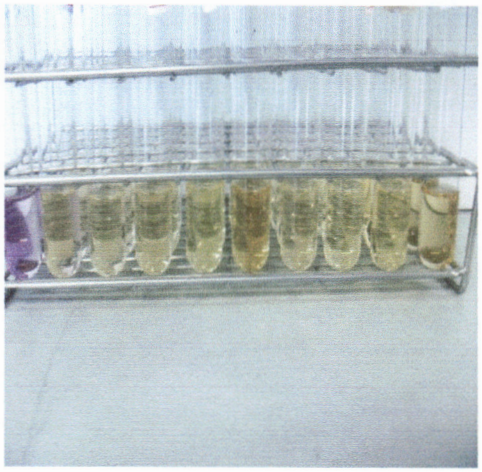


ข) กรองสารสกัดเพื่อแยกส่วนสารสกัดและกากสมุนไพรออกจากกัน

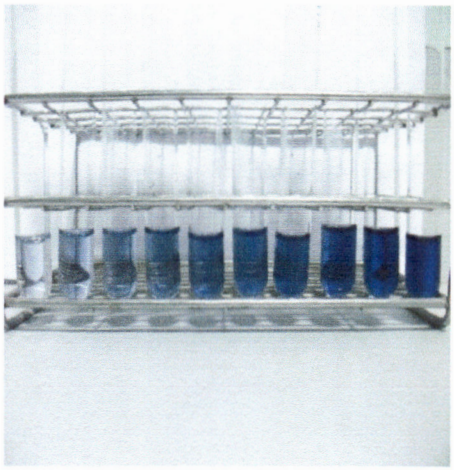


ค) ระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

ภาพที่ ช-7 ขั้นตอนการสกัดสารสมุนไพร ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (ก) กรองสารสกัดเพื่อแยกส่วนสารสกัดและกากสมุนไพรออกจากกัน(ข) ระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภมิ (ค)



(ก) การวัดสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH



(ข) การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด

ภาพที่ ช-8 การวัดสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีDPPH (ก) และการวัดปริมาณสารประกอบฟีอนอลิคทั้งหมด (ข)

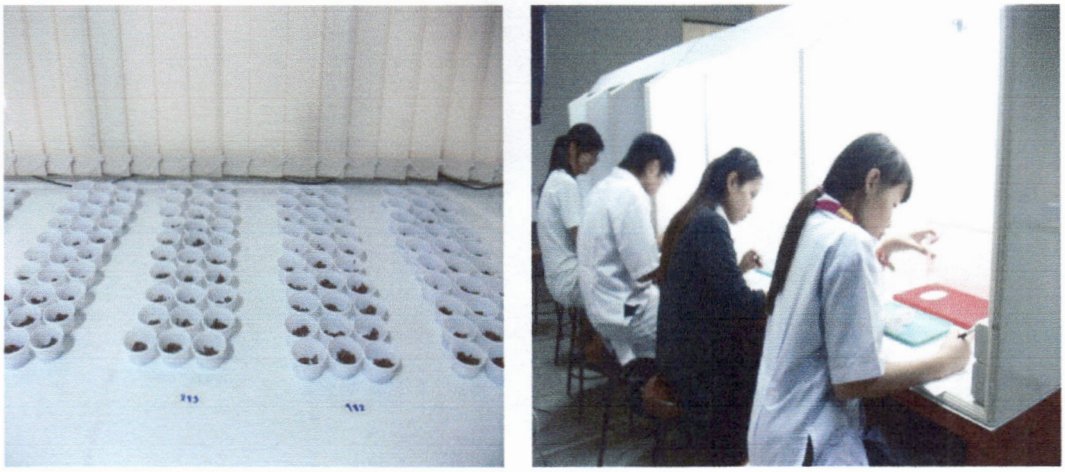
ภาพที่ ช- 9 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectophotometer)

ภาพที่ ช-10 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

ภาพที่ ช-11 เครื่องวัดค่า Water activity (aw)

ภาพที่ ช-12 เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ (vaccum packing machine)

ภาพที่ ช-13 เครื่องวัดสี (HunterLap miniscan)



ภาพที่ ช- 14 การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ภาพที่ ช- 15 การออกพื้นที่เพื่อจัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน

ภาพที่ ช- 16 ผู้สนใจเข้าร่วมการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ภาพที่ ช- 17 วิทยากรบรรยายและสาธิตการสกัดสารสมุนไพร

ภาพที่ ช- 18 ผู้ร่วมการอบรมร่วมทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหุงสุก

ภาพที่ ช- 19 ผู้ร่วมการอบรมร่วมทดสอบชิมและประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ภาพที่ ช- 20 ผู้ร่วมการอบรมได้รับแจกเอกสารและมีส่วนร่วมพิจารณาสารสมุนไพรที่ใช้

ภาพที่ ช- 21 วิทยากรอธิบายวิธีการเพาะข้าวกล้องงอก

ภาคผนวก ซ

แบบทดสอบผู้บริโภค เอกสารเกี่ยวกับการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน

ซ-1 แบบทดสอบผู้บริโภค

กรุณาขีดเครื่องหมาย √ ลงหน้าข้อความที่ท่านต้องการ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) น้อยกว่า 15 ปี ( ) 15-23 ปี

( ) 24-32 ปี ( ) 33-41 ปี

( ) 42-50 ปี ( ) 51-60 ปี

3. ระดับการศึกษา

( ) ต่ำกว่ามัธยมศึกษา

( ) มัธยมศึกษาหรือ ปวช.

( ) อนุปริญญาหรือ ปวส.

( ) ปริญญาตรี

( ) สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

( ) นิสิต/นักศึกษา

( ) ข้าราชการ/รัฐวิสหกิจ/พนักงานของรัฐ

( ) พนักงานบริษัทเอกชน

( ) ธุรกิจส่วนตัว

( ) อื่นๆ (โปรดระบุ.....)

5. รายได้ต่อเดือน

( ) ต่ำกว่า 5,000 บาท ( ) 5,001-10,000 บาท

( ) 10,001-15,000 บาท ( ) 15,001-20,000 บาท

( ) มากกว่า 20,000 บาท

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์

6. ท่านรู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหรือไม่

( ) รู้จัก

( ) ไม่รู้จัก

( ) ไม่แน่ใจ

7. ท่านเคยบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหรือไม่

( ) เคย

( ) ไม่เคย (ข้ามไปตอบข้อ 9)

8. ท่านบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบ่อยเพียงใด

( ) น้อยกว่า 1 ครั้ง/สัปดาห์

( ) 1-3 ครั้ง/สัปดาห์

( ) 4-6 ครั้ง/สัปดาห์

( ) ทุกวัน

9. ท่านสนใจรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพรหรือไม่

( ) สนใจ

( ) ไม่สนใจ

( ) เฉยๆ

10. ถ้ามีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพรวางจำหน่าย ท่านจะซื้อหรือไม่

( ) ซื้อ

( ) ไม่ซื้อ

( ) ไม่แน่ใจ

11. เหตุผลสำคัญที่ท่านใช้ในการตัดสินใจซื้อข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

( ) คุณค่าทางอาหาร ( ) ราคา

( ) รสชาติ ( ) ความแปลกใหม่

( ) ลักษณะปรากฏ ( ) ภาชนะบรรจุ

( ) อื่นๆ (โปรดระบุ.....)

<u>ตอนที่ 3</u> ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบผลิตภัณฑ์

12. กรุณาทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหุงสุกและให้คะแนนความชอบ

<u>คำอธิบายคะแนนความชอบ</u>

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	7 = ชอบปานกลาง
2 = ไม่ชอบมาก	5 = เฉย ๆ	8 = ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง	6 = ชอบเล็กน้อย	9 = ชอบมากที่สุด

กรุณาให้คะแนนความชอบลงในช่องว่างให้ตรงกับความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ ดังนี้

ลักษณะปรากฏ .....

สี .....

กลิ่น (จากการดม) .....

กลิ่นรส(จากการกิน) .....

รสชาติ .....

ความนุ่ม .....

ความชอบโดยรวม .....

ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมที่ท่านมีต่อผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

13.หากมีผลิตภัณฑ์นี้ออกวางจำหน่าย ท่านคิดว่าจะซื้อมาบริโภคหรือไม่

( ) ซื้อ เพราะ.....

( ) ไม่แน่ใจ เพราะ.....

( ) ไม่ซื้อ เพราะ.....

ขอขอบคุณ

ซ-2 เอกสารประกอบการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่แจกผู้เข้าร่วมการอบรม

กระบวนการสกัดสารสกัดจากสมุนไพร

ดร.อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ
หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีพืชสมุนไพรและความหลากหลายทางชีวภาพ
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุดิบ และอุปกรณ์

วัตถุดิบ

1. ดอกคำฝอยบดเป็นผง
2. เหง้าขมิ้นแห้งบดเป็นผง
3. ใบบัวบกแห้งบดเป็นผง
4. ใบมะรุมแห้งบดเป็นผง

อุปกรณ์

1. ภาชนะสำหรับใช้สกัดที่มีฝาปิด (ขวดโหลแก้ว หรือหม้อสแตนเลส)
2. เครื่องชั่ง
3. กระบอกตวง
4. ผ้าขาวบางเนื้อละเอียด
5. กระชอนสแตนเลส
6. เตาแก๊ส
7. หม้อตุ๋น หรือ กะละมังสแตนเลสขนาดแตกต่างกัน 2 ใบ

การสกัดสารจากสมุนไพร

กระบวนการสกัดสารจากสมุนไพรด้วยน้ำ

นำผงสมุนไพรแห้งไปใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด (โหลแก้ว/ถังสแตนเลส)

⇩

เติมน้ำให้ท่วมผงสมุนไพร (อัตราส่วน ตัวทำละลาย 1 ส่วนต่อพืช 10 ส่วน)

⇩

ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

⇩

กรองแยกน้ำที่มีสารสกัดจากกากสมุนไพรโดยใช้ผ้าขาวบาง

⇩

นำกากสมุนไพรไปสกัดซ้ำด้วยวิธีการเดิม อีก 2 ครั้ง

⇩

นำน้ำสกัดที่มีสารสกัดสมุนไพรที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 ครั้งมาเทรวมกัน

⇩

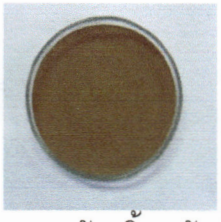
ระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
เพื่อให้เหลือแต่สารสกัดจากสมุนไพร

⇩

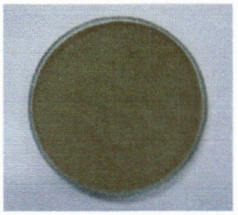
สารสกัดสมุนไพรที่ผ่านการระเหยน้ำออกจะมีลักษณะข้น เหนียว มีสีตามชนิดสมุนไพรที่เรา
นำมาสกัด

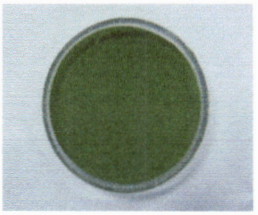
⇩

บรรจุสารสกัดลงในขวดหรือภาชนะที่สะอาด และทึบแสง เก็บรักษาในตู้เย็น

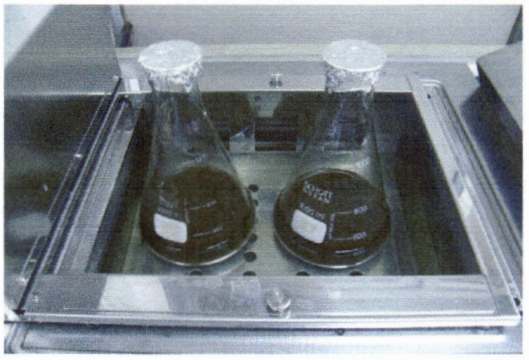

ผงเหง้าขมิ้นแห้ง

ดอกคำฝอยแห้ง


ผงใบมะรุมแห้ง

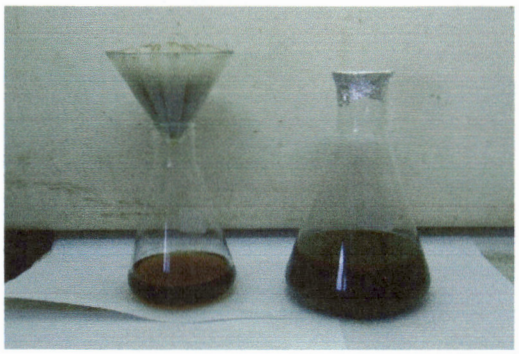

ผงใบบัวบกแห้ง

⇩



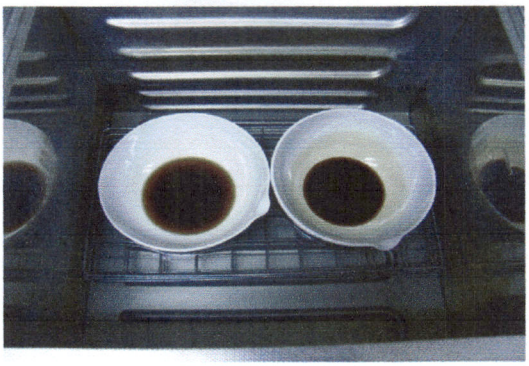
ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

⇩



กรองสารสกัดเพื่อแยกส่วนสารสกัดและกากสมุนไพรออกจากกัน

⇩



ระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

สารสกัดสมุนไพร

กระบวนการเตรียมข้าวกล้องงอก

ดร.ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

วัตถุดิบ/สารเคมี

1. ข้าวกล้อง
2. สารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรด์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
5. น้ำ

อุปกรณ์

1. ภาชนะสำหรับแช่ข้าว
2. หม้อต้ม
3. กระบอกตวง
4. ผ้าขาวบางเนื้อละเอียด
5. ถุงอะลูมิเนียมฟอยด์
6. เครื่องบรรจุก๊าซไนโตรเจน
7. ตู้บ่ม (incubator)
8. เครื่องวัดค่า pH หรือ กระดาษลิสมัต

กระบวนการเตรียมข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้อง

⇩

แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1%

⇩

คนผสมให้เข้ากันเพื่อทำความสะอาด

⇩

ล้างด้วยน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้ว

⇩

นำข้าวกล้องที่ผ่านการล้างมาแช่ในน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้วที่ปรับค่า pH ให้ได้ 6.0 ± 0.2

⇩

ปรับ pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

⇩

นำไปวางในตู้บ่ม (incubator) ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

⇩

เปลี่ยนน้ำที่ใช้แช่ทุก 4 ชั่วโมง

⇩

เทน้ำทิ้ง

⇩

ล้างข้าวกล้องด้วยน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้ว

⇩

ทำให้สะเด็ดน้ำ

⇩

วางข้าวกล้องบนกระดาษกรอง หรือผ้าขาวบาง ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

⇩

บรรจุข้าวในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วอัดก๊าซไนโตรเจน /ปิดผนึกถุง

⇩

นำไปวางที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ภาพประกอบ

ข้าวกล้องแช่ในน้ำกลั่นเพื่อทำการเพาะข้าวให้งอก นำเข้าตู้บ่ม(**incubator**) เพื่อให้เกิดการงอก

เครื่องบรรจุก๊าซไนโตรเจน

ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

กระบวนการเคลือบข้าวกล้องงอกด้วยสารสมุนไพรโดยวิธีการแช่

ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

วัตถุดิบ และอุปกรณ์

วัตถุดิบ

1. ข้าวกล้องงอก
2. สารสกัดสมุนไพร
3. เพคติน
4. น้ำ

อุปกรณ์

1. ภาชนะสำหรับแช่
2. เครื่องชั่ง
3. เตาไฟฟ้าหรือเตาแก๊ส
4. ผ้าขาวบางเนื้อละเอียด
5. เครื่องอบแห้ง

การเตรียมสารเคลือบจากสารละลายเพคติน

ให้ความร้อนน้ำจนมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

⇩

ค่อยๆผสมเพคตินในน้ำ (อัตราส่วนเพคติน 5 กรัม ต่อ น้ำ 95 กรัม)

⇩

กวนผสมสารละลายเพคตินจนเข้ากัน

⇩

ค่อยๆ เติมสารสกัดสมุนไพรลงในสารละลายเพคติน

⇩

กวนผสมสารละลายอย่างต่อเนื่องจนสารละลายเข้ากัน

การเคลือบข้าวกล้องงอกด้วยสารสมุนไพร

นำเมล็ดข้าวกล้องงอกแช่ในสารเคลือบ
(อัตราส่วนข้าวกล้องงอก 120 กรัม ต่อ สารเคลือบ 200 มิลลิลิตร)

⇩

แช่เมล็ดข้าวกล้องงอกในสารเคลือบเป็นเวลา 30 นาที

⇩

กรองเอาเมล็ดข้าวกล้องงอกออกด้วยตะแกรง

⇩

ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ

⇩

นำเมล็ดข้าวมาเกลี่ยบนถาดสำหรับอบแห้ง

⇩

ทำแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนาน
(ความชื้นลดลงเหลือ 12-13 %)

ภาพประกอบ

การเคลือบข้าวกล้องงอกด้วยการแช่

การอบแห้งข้าวกล้องในตู้อบแห้ง

ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรในถุงสุญญากาศ

เครื่องบรรจุข้าวแบบสุญญากาศ

ซ-3 แผ่นพับสำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่แจกผู้เข้าร่วมการอบรม

สมุนไพรไทยบางชนิด

some potential Thai herbs

สมุนไพร หมายถึงยาที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ ซึ่งยังมิได้ผสมหรือแปรสภาพ เช่น พืชก็ยังคงเป็นส่วนต่างๆ ของพืชนั้นๆ เช่น ราก ลำต้น ดอก ใบ ผล เป็นต้น เป็นการนำเอาส่วนต่างๆ ของพืชนั้นมาใช้ประโยชน์ ทั้งทางด้านคุณค่าทางอาหาร และคุณค่าทางยา ควบคู่กันไปสมุนไพรจึงเป็นพืชที่มีสรรพคุณในการรักษาโรค หรืออาการเจ็บป่วยต่าง ๆ จึงมีคุณลักษณะที่มีความเฉพาะ ทั้งกลิ่น คุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี รวมทั้งสรรพคุณและประโยชน์ต่างๆทางยามากมาย ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของสมุนไพรไทย สำหรับสมุนไพรที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเคลือบข้าวกล้องงอกในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ใบบัวบก ใบมะรุม ขมิ้นชัน และดอกคำฝอย ซึ่งเป็นสมุนไพรที่หาได้ภายในประเทศไทย

ข้าวกล้องงอก คือ ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำแล้วทำให้เกิดการงอกในส่วนจมูกข้าว การงอกจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลงและน้ำตาลรีดิวซ์ นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปป-ไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่าง ๆ โดยเฉพาะ สารแกมมา - อะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid) หรือที่รู้จักกันดีในชื่อว่า สารกาบา (GABA)

.....คนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก และข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เพื่อเป็นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจฐานรากยกระดับและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นให้ดีขึ้นตามความต้องการของชุมชน โดยยึดปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง การพัฒนาที่สมดุลและยั่งยืน การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์การอาหารมาใช้ให้เกิดการพัฒนาอย่างเหมาะสม จึงคิดที่จะพัฒนาคุณภาพและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด ทั้งนี้ทำได้โดยไม่ใช้เทคโนโลยียุ่งยากซับซ้อนราคาแพง ใช้วัตถุดิบข้าวสารมาทำเป็นข้าวกล้องงอกและเคลือบด้วยสมุนไพรไทยในท้องถิ่น ผลงานวิจัยจากโครงงานวิจัยทำให้ได้ข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีคุณภาพตามมาตรฐานการผลิตอาหาร และสามารถเก็บรักษาได้นาน คณะผู้วิจัยมุ่งหวังว่าการนำผลจากงานวิจัยมาถ่ายทอดจะเป็นประโยชน์ต่อชุมชนบ้างไม่มากก็น้อย โดยอาจนำไปขยายผลสู่การจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ทำให้ชุมชนสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมาตรฐาน สร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ให้ชุมชน และสามารถสร้างเป็นอาชีพเสริมหรืออาชีพหลักให้กับชุมชนได้.....

การถ่ายทอดเทคโนโลยี
การผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด

วันเสาร์ที่ 30 เมษายน 2554

สนับสนุนโดย

ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและนวัตกรรม
เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก
(เครือข่ายภาคตะวันออก)

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๓

ขั้นตอน

การสกัดสารจากสมุนไพรด้วยน้ำ

นำผงสมุนไพรแห้งไปใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด

↓

เติมน้ำให้ท่วมผงสมุนไพร

(อัตราส่วน ตัวทำละลาย 1 ส่วนต่อพืช 10 ส่วน)

↓

สกัดสารที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง

↓

กรองแยกน้ำที่มีสารสกัดสมุนไพรโดยใช้ผ้าขาวบาง

↓

นำกากสมุนไพรไปสกัดซ้ำด้วยวิธีการเดิม อีก 2 ครั้ง

↓

นำน้ำสกัดที่มีสารสกัดสมุนไพรที่ได้จากการสกัด

ทั้ง 3 ครั้งมาเทรวมกัน

↓

ระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

↓

เพื่อให้เหลือแต่สารสกัดจากสมุนไพร

↓

สารสกัดสมุนไพรที่ผ่านการระเหยน้ำออกจะมีลักษณะ

ข้น เหนียว มีสีตามชนิดสมุนไพรที่นำมาสกัด

สมุนไพรไทยที่ใช้

ขั้นตอน

การเตรียมข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิแดง

↓

แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1%

↓

คนผสมให้เข้ากันเพื่อทำความสะอาด

↓

ล้างด้วยน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้ว

↓

นำข้าวกล้องที่ผ่านการล้างมาแช่ในน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้ว

(ปรับค่า pH ให้ได้ 6.0 ± 0.2)

↓

นำไปวางในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง

โดยเปลี่ยนน้ำที่ใช้แช่ทุก 4 ชั่วโมง

↓

ล้างข้าวกล้องด้วยน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้ว 2 ครั้ง

↓

ทำให้สะเด็ดน้ำ

↓

บรรจุข้าวในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์/อัดก๊าซไนโตรเจน

↓

ปิดผนึกถุงแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 ˚C) 12 ชั่วโมง

ขั้นตอน

การเตรียมสารเคลือบจากสารละลายเพคติน

น้ำ

↓

ให้ความร้อนจนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

↓

ผสมเพคตินในน้ำ

(อัตราส่วนเพคติน 5 กรัม ต่อ น้ำ 95 กรัม)

↓

กวนผสมสารละลายเพคตินจนเข้ากัน

↓

ค่อยๆ เติมสารสกัดสมุนไพรลงในสารละลายเพคติน

↓

กวนผสมสารละลายจนเข้ากัน

การเคลือบข้าวกล้องงอกด้วยสารสมุนไพร

นำเมล็ดข้าวกล้องงอกแช่ในสารเคลือบ

(อัตราส่วนข้าวกล้องงอก 120 กรัม ต่อ สารเคลือบ 200 มิลลิลิตร)

↓

แช่เมล็ดข้าวกล้องงอกในสารเคลือบเป็นเวลา 30 นาที

↓

กรองเอาเมล็ดข้าวกล้องงอกออกด้วยตะแกรง

↓

ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ

↓

นำเมล็ดข้าวมาเกลี่ยบนถาดทำแห้ง

↓

ทำแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง

(ความชื้นลดลงเหลือ 12-13 %)

ซ-4 แบบประเมินผลโครงการ

แบบประเมินผล"การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด"

1. ข้อมูลทั่วไป

1.1 เพศ

☐ 1) ชาย ☐ 2) หญิง

1.2 อายุ

☐ 1) ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 2) 21-30 ปี ☐ 3) 31-40 ปี

☐ 4) 41-50 ปี ☐ 5) มากว่า 50 ปี

1.3 ระดับการศึกษา

☐ 1) ต่ำกว่าประถมศึกษา ☐ 2) ประถมศึกษา ☐ 3) มัธยมศึกษา

☐ 4) ปริญญาตรี ☐ 5) สูงกว่าปริญญาตรี

1.4 อาชีพ

☐ 1) นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ☐ 2) ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ

☐ 3) พนักงานบริษัทเอกชน ☐ 4) ค้าขาย/ประกอบธุรกิจส่วนตัว

☐ 5) แม่บ้าน ☐ 6) อื่นๆ(โปรดระบุ).....

1.5 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

☐ 1) ต่ำกว่า 1,000 บาท ☐ 2) 1,001-2,000 บาท ☐ 3) 5,001-10,000 บาท

☐ 4)10,001-15,000 ☐ 5) มากกว่า 15,000

2. ความพึงพอใจในโครงการ (กรุณาทำเครื่องหมาย√ ในช่องว่างที่ตรงกับความเห็นของท่าน)

ข้อ	รายการประเมิน	พอใจ					ไม่พอใจ
		มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	
2.1	วันที่จัดการโครงการ						
2.2	ระยะเวลาในการจัดโครงการ						
2.3	การบรรยายของวิทยากร						
2.4	เนื้อหาในการบรรยาย						
2.5	เอกสาร/สื่อที่ใช้ประกอบการบรรยาย						
2.6	ความพร้อมของวัสดุ/อุปกรณ์ในการสาธิต						
2.7	ประโยชน์โดยรวมที่ได้รับจากการเข้าร่วมโครงการ						

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอื่นๆ (ถ้ามี) _____

_____

_____

- - - ขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ - - -