บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก

1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ GABAของข้าวกล้องงอก

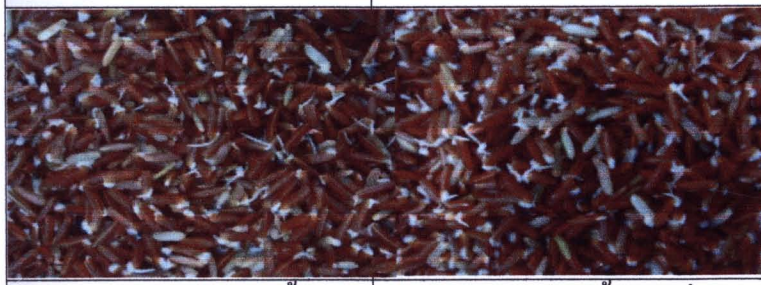
การทดลองนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอก โดยขั้นตอนแรกทำการศึกษาระยะเวลาการแช่ข้าว 3 ระดับ ได้แก่ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่ 3 ระดับ ได้แก่ 5, 35 และอุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) และมีตัวอย่างควบคุม คือ ข้าวกล้องหอมมะลิแดงจากจังหวัดสระแก้ว ที่ไม่ได้แช่น้ำ ข้าวกล้องงอกที่ได้แต่ละสภาวะ 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

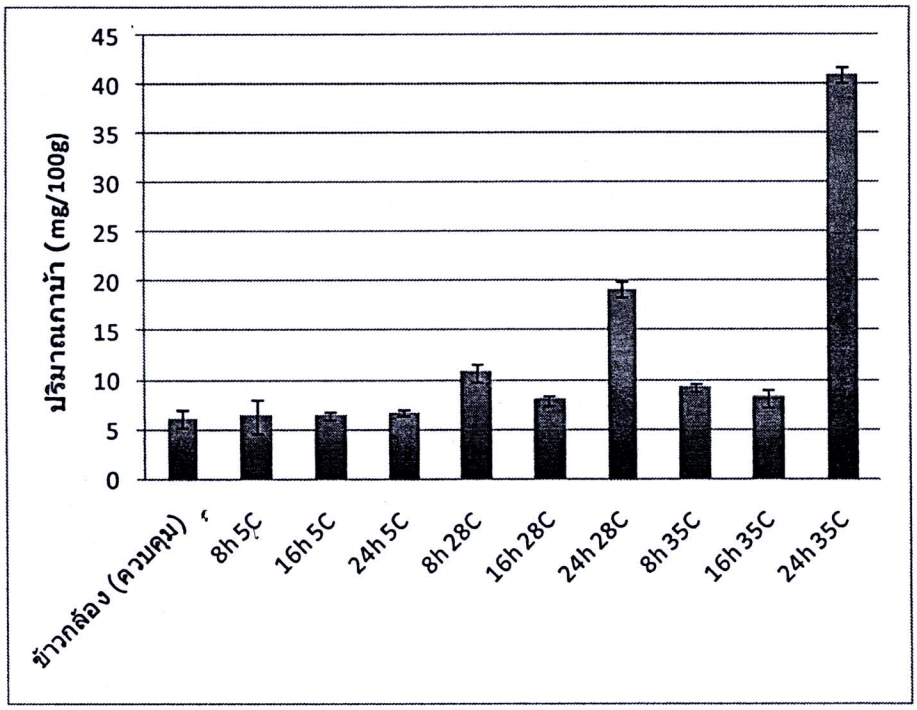
ข้าวกล้องงอกแช่น้ำ 16 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 °c

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 คำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าปริมาณสารสกัดหยาบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสรระ 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 เคมเฟอรอล-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 มิลลิกรัมสมมูลของสารมาตรฐานแคททิดินในสารสกัดหนัก 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 (มิลลิกรัมเคทเทคินต่อกรัมสารสกัด)
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 ชนิดมีคุณสมบัติในการต้านอนูมูลอิสระ 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 สารสกัดจากใบมะรุมมีคุณสมบัติในการต้านอนูมูลอิสระได้ดีที่สุด และมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ไม่แตกต่างจากสารสกัดใบบัวบก ($p>0.05$) โดย Pari *et al.* (2007) รายงานว่า สารสกัดจากใบมะรุมด้วยน้ำมีประสิทธิภาพดีในการต้านอนุมูลอิสระ

DPPH โดยสารสำคัญในใบมะรุมที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี ได้แก่ สารในกลุ่มกรดฟีนอลิค ซึ่งได้แก่สารแคฟฟีอิค (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

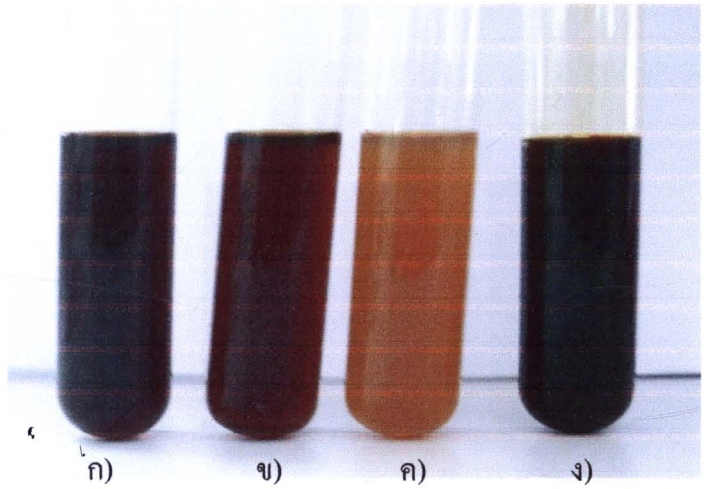
ตารางที่ 4-7 ปริมาณฟีนอลิคหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดสมุนไพรชนิดต่างๆ

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}

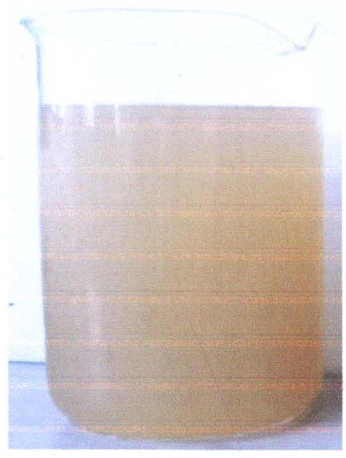
$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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)

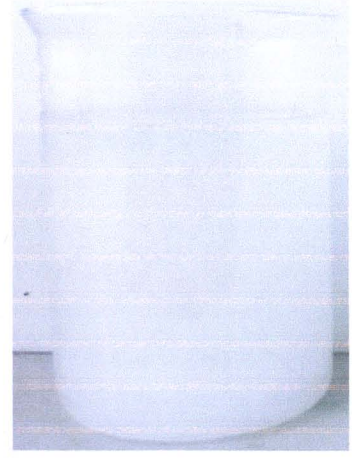
จากการเตรียมสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด พบข้อสังเกตว่าสามารถเตรียมสารละลายได้ง่าย โดยเพคตินสามารถละลายน้ำได้ง่าย และทำให้ได้สารละลายมีสีออกเหลือง ส่วนแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลสามารถละลายน้ำได้ง่ายเช่นกัน และได้เป็นสารละลายสีขาว แสดงดังภาพที่ 4-3 เมื่อเตรียมสารเคลือบสมุนไพรโดยนำสารสกัดสมุนไพรมาผสมกับสารเคลือบแล้วมีลักษณะแสดงดังภาพที่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



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

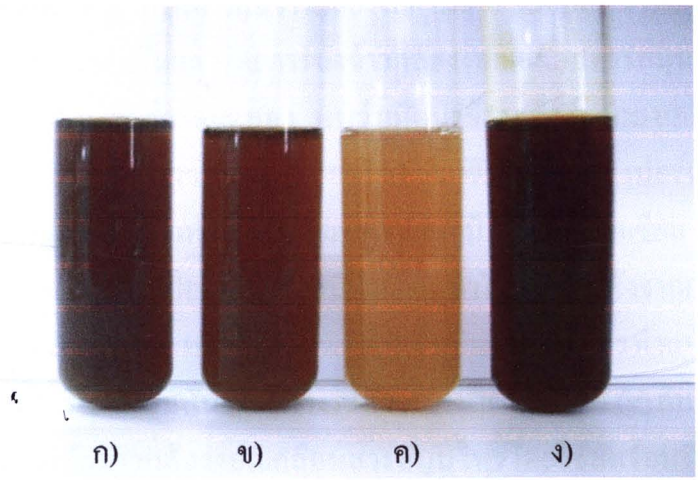


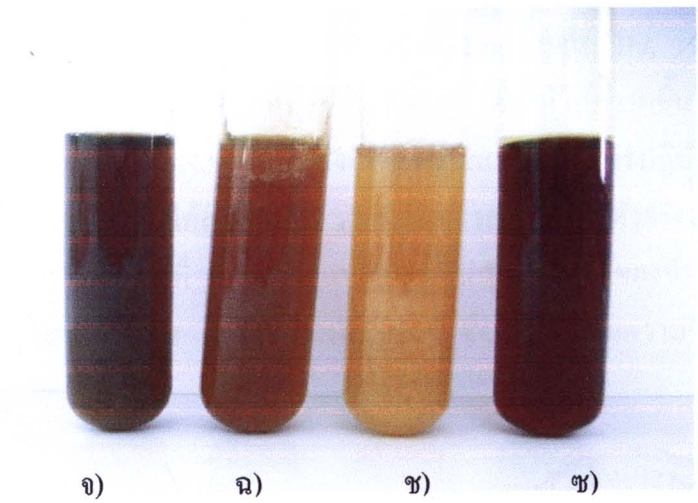
ก) สารละลายเพคติน



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

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

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 ชนิดของสมุนไพรและชนิดสารเคลือบมีอิทธิพลร่วมกันต่อความชอบด้านกลิ่นรสและค่วามชอบโดยรวมของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้างและหุงสุกและหลังการหุงสุก 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 กองม่ะณี (2551) ที่รายงานผลของวิธีการลวกต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์ชีวภาพในผลหม่อนระหว่างการทำแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการลวกผลหม่อนส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคและแอนโธไซยานินลดลง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 ค่าสี L* a* b* ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพร

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าของผู้วิจัยพบว่า สีของข้าวกล้องงอกหลังการเคลือบด้วยสารเคลือบสมุนไพรชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบสมุนไพรชนิดต่างๆ มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดงใกล้เคียงกัน แต่ข้าวกล้องงอกที่ใช้สารเคลือบสมุนไพรดอกคำฝอยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลออกเหลืองมากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น เมื่อนำมาล้างและหุงสุก พบว่าสีของสารเคลือบที่ผิวของข้าวจางลง และเนื้อขาวที่หุงสุกมีลักษณะเป็นสีขาว เมื่อนำมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี L* a* b* ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านชนิดสารเคลือบและชนิดสมุนไพรของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรหลังการล้าง หลังการล้างและหุงสุก และหลังการหุ้งสุก 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 เมื่อนำมาผ่านกระบวนการล้างพร้อมกับการแช่ 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 สามารถเกิดเจลได้ดี เนื่องจากมีน้ำในปริมาณเพียงพอ 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 คะเนนความชอบด้านสี 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}

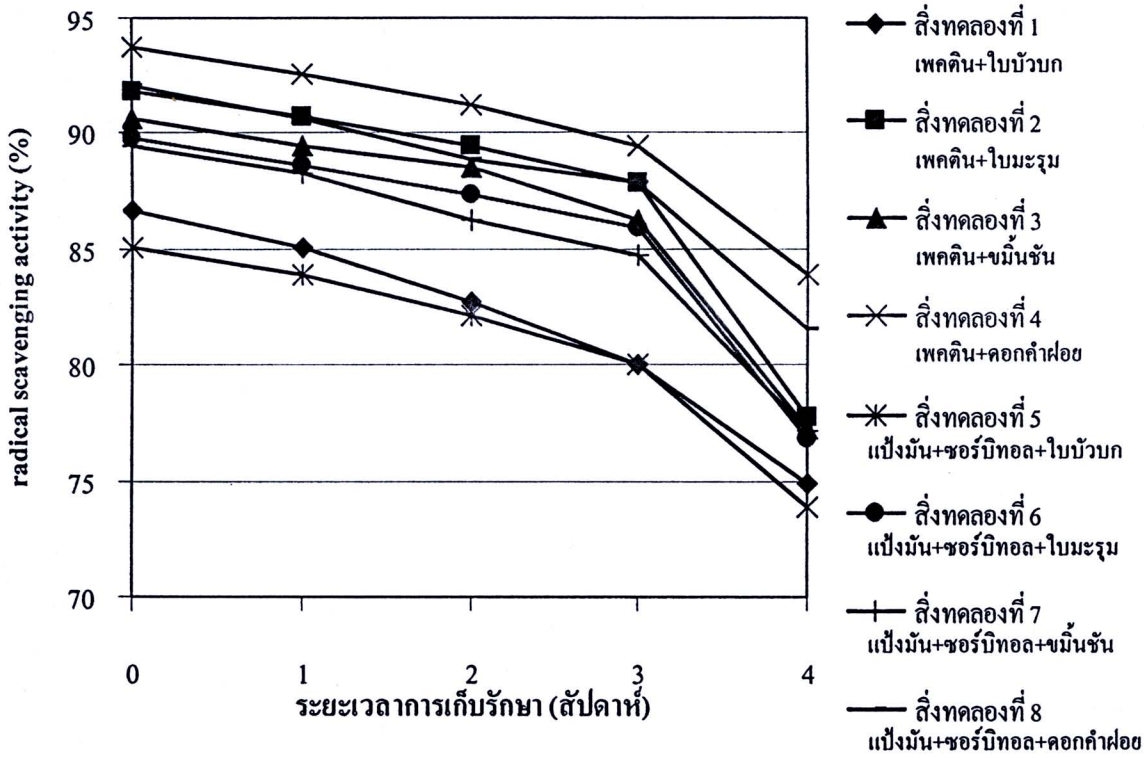
$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

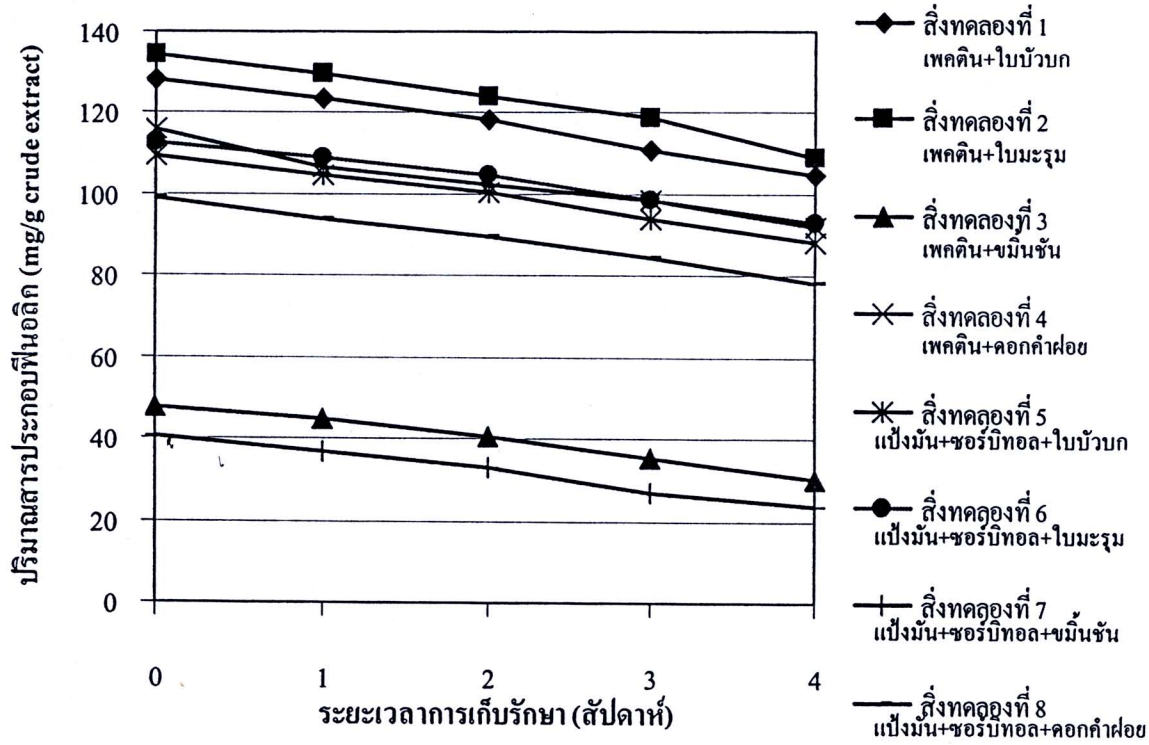
จากภาพที่ 4-5 พบว่าค่าสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้

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

การลดลงของสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างการเก็บรักษานี้ อาจเนื่องมาจากในข้าวก่ล้องยังคงมีรำข้าวที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ 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

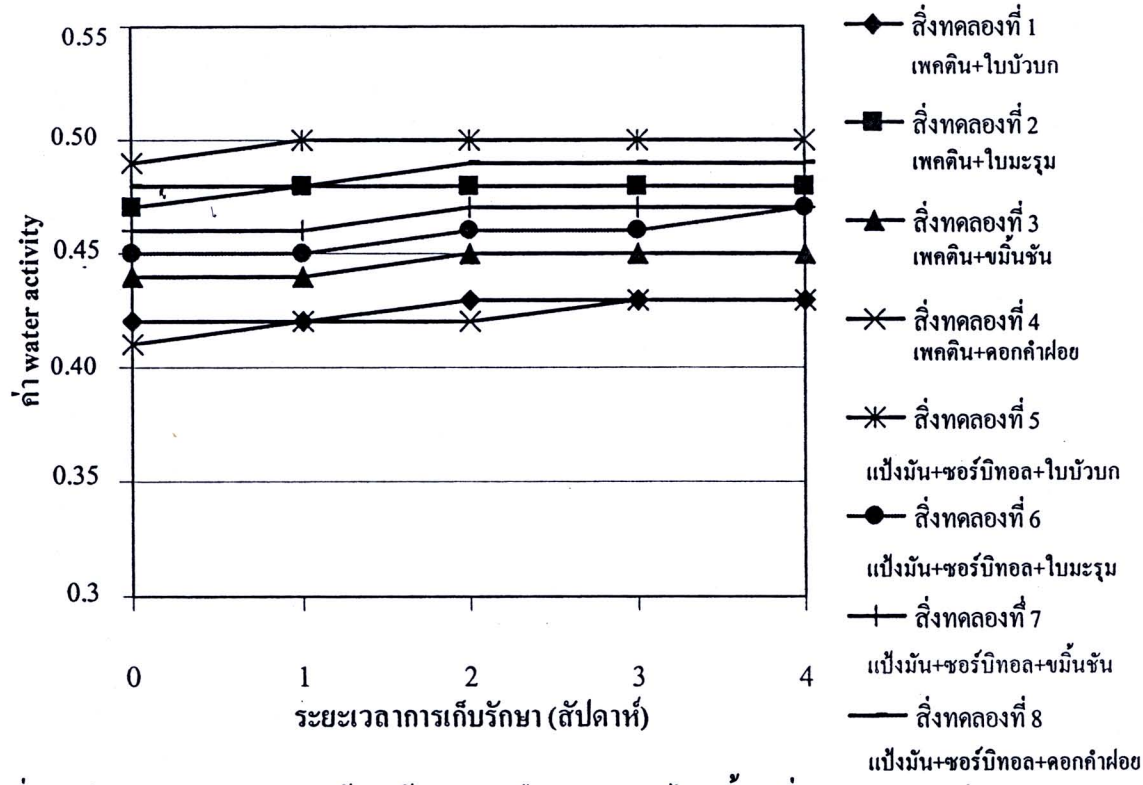


ภาพที่ 4-6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทั้ง 8 สิ่งทดลอง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

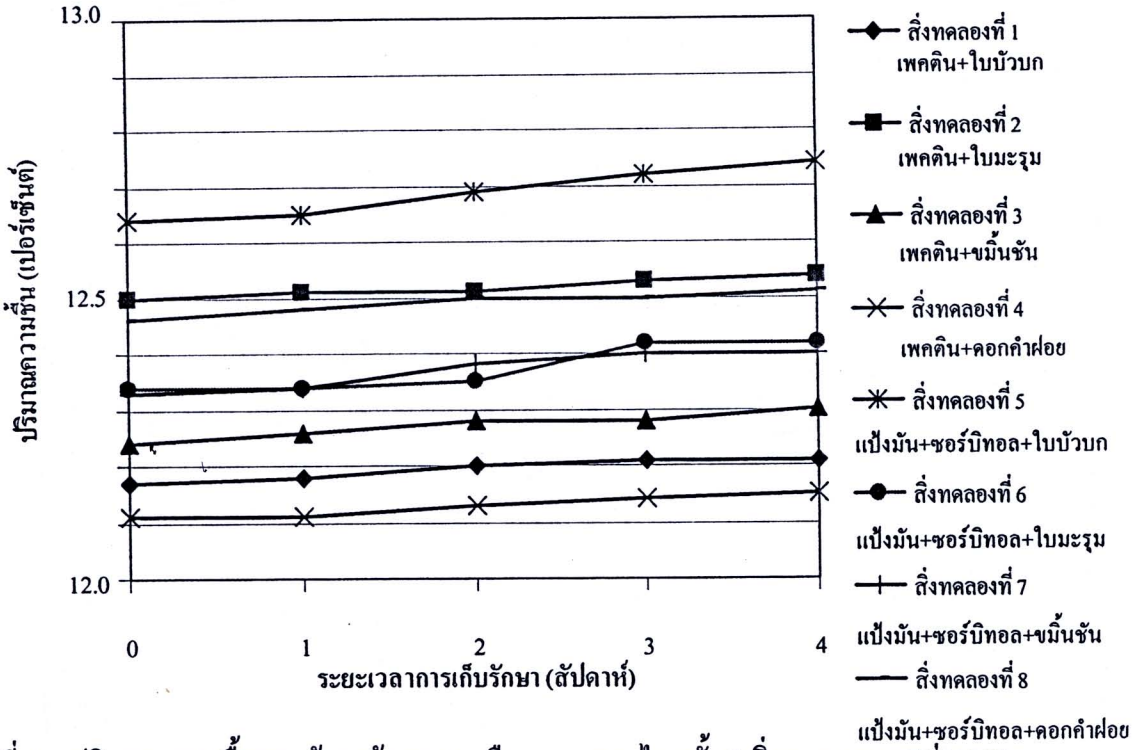
จากภาพที่ 4-6 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สมุนไพรใบมะรุมร่วมกับสารเคลือบเพคตินมีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่ยังคงอยู่สูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้สมุนไพรขมิ้นชันร่วมกับสารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังและซอร์บิทอลมีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคต่ำที่สุด 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

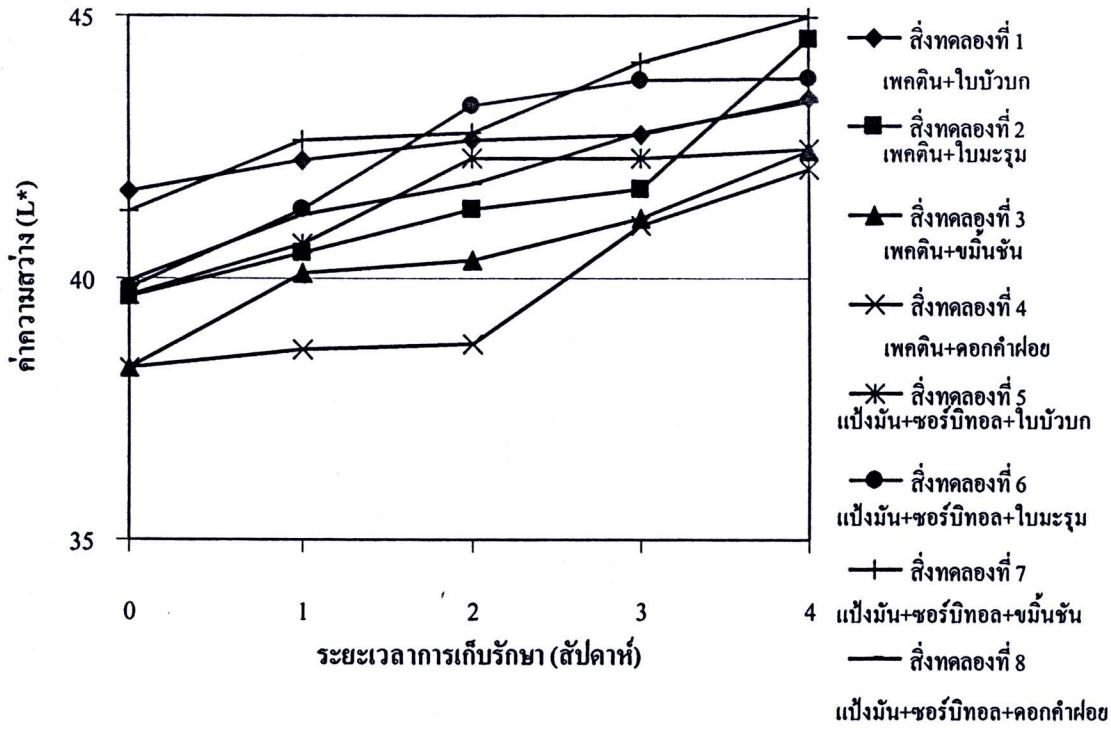
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดกลาง

สารเคลือบผสมของแป้งมันสำปะหลังกับซอร์บิทอลมีแนวโน้มปริมาณความชื้นสูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สมุนไพรดอกคำฝอยร่วมกับสารเคลือบเพคตินมีแนวโน้มปริมาณความชื้นต่ำที่สุด

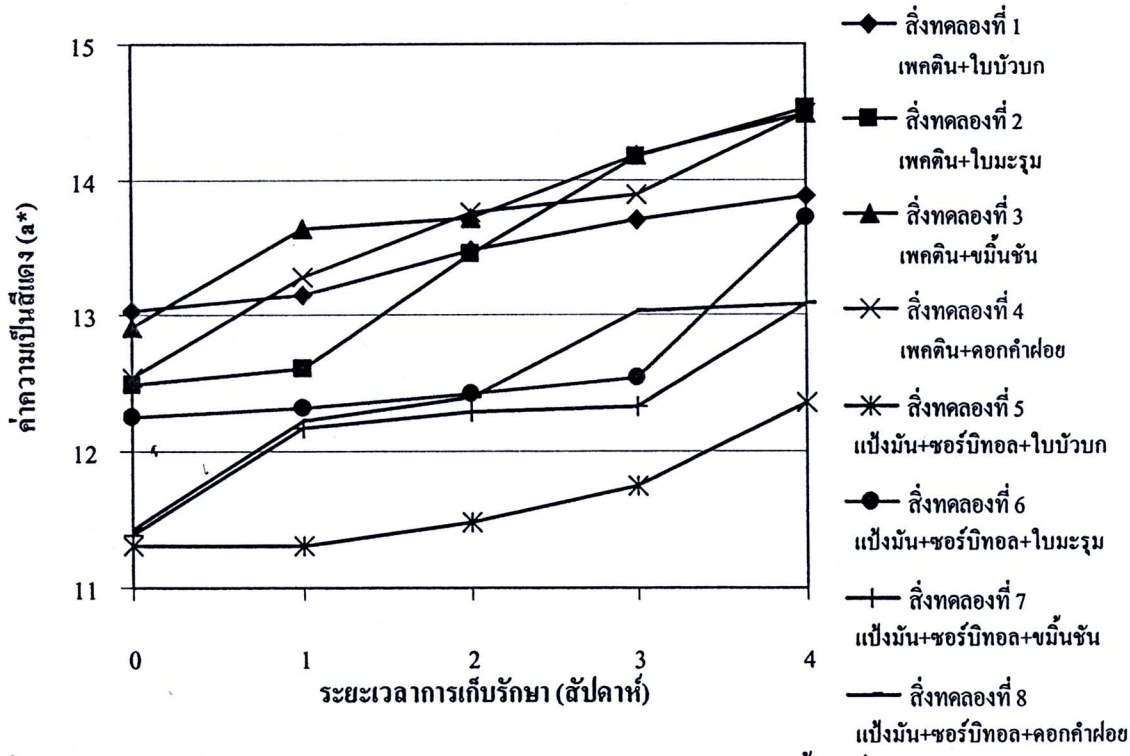
จากความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและค่า a_w พบว่า ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w มีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น ค่า a_w มักเพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และ ไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) อย่างไรก็ตามการที่ค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักอาจเป็นผลจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก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

3.4 ค่าสี L* a* และ b*

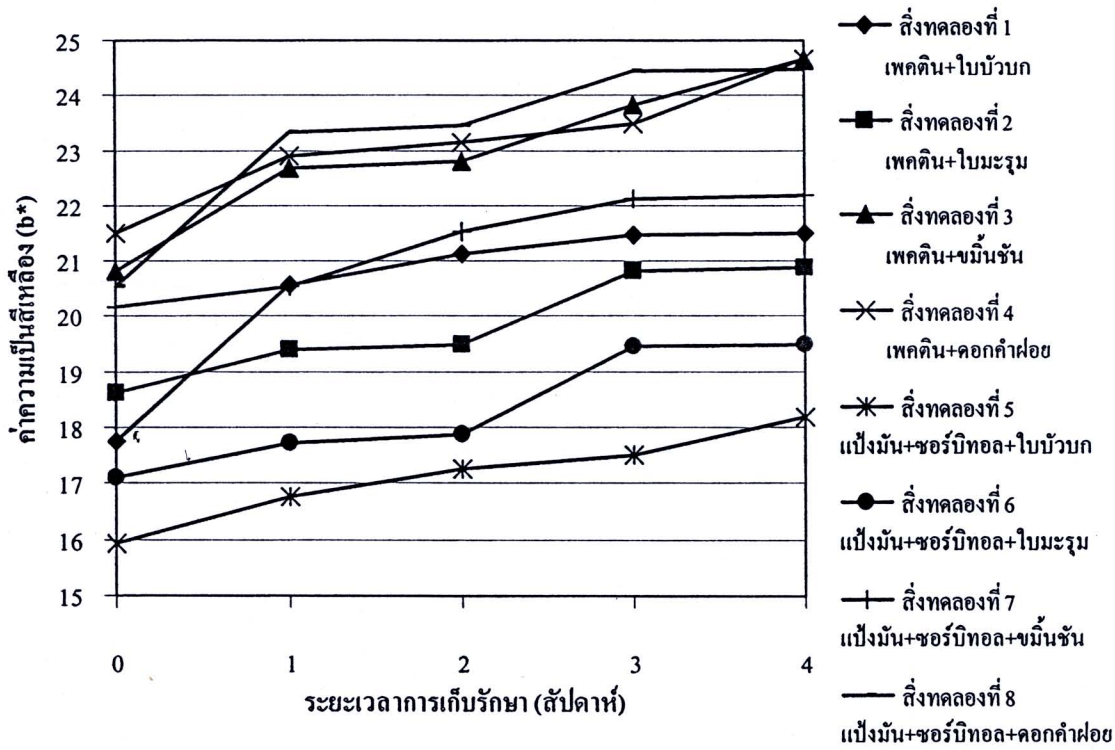
จากการวิเคราะห์ค่าสี ของข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรระหว่างการเก็บรักษา รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4-9 ถึง ภาพที่ 4-11 ตามลำดับ



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 ข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรที่บรรจุถุงถุงพลาสติก 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

จากกา่รทดสอบผู้บริโภคจำนวน 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 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อข้าวกล้องงอกเคลือบสารสมุนไพรคือดอกคำฝอยที่ผ่านการหุงสุกแล้ว ในทุกด้านคือ ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง ถึงชอบมาก หากมีผลิตภัณฑ์นี้ออกวางจำหน่าย ผู้บริโภคคิดว่าจะซื้อมาบริโภค ร้อยละ 61 ไม่แน่ใจร้อยละ 37 และไม่ซื้อร้อยละ 2

ตารางที่ 4-21 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

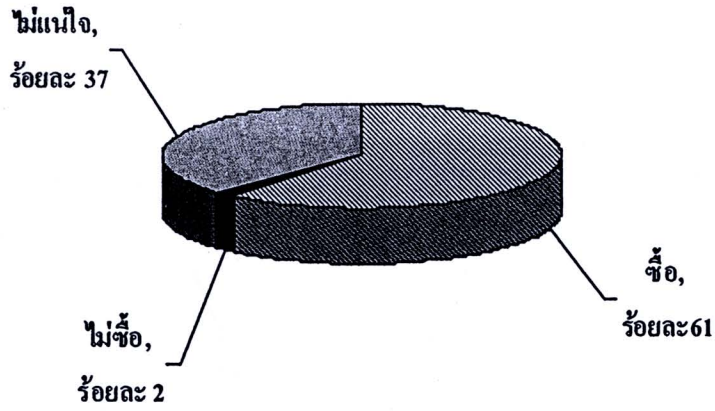
ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละ
เพศ	
ชาย	43
หญิง	57
อายุ	
น้อยกว่า 15 ปี	3
15-23 ปี	31
24-32 ปี	15
33-41 ปี	19
42-50 ปี	9
51-60 ปี	23
ระดับการศึกษา	
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	15
มัธยมศึกษาหรือ ปวช.	16
อนุปริญญาหรือ ปวส.	6
ปริญญาตรี	53
สูงกว่าปริญญาตรี	10
อาชีพ	
นิสิต/นักศึกษา	35
ข้าราชการ/รัฐวิสหกิจ/พนักงานของรัฐ	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 ผู้บริโภคจะซื้อหรือไม่	10
ซื้อ	
ไม่ซื้อ	45
ไม่แน่ใจ	17
เหตุผลสำคัญในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกที่มีส่วนผสมของสารสมุนไพร	38
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