



รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย (research project)

ทุนงบประมาณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

โครงการวิจัยเรื่อง

การเพิ่มมูลค่าข้าวเหนียวโดยการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโปรตีนเพื่อสุขภาพ

(Value Addition of Sticky Rice by Production of Protein-Enrichment-Quick-Cooking-Sticky Rice
for Health)

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวพนิดา รัตนปิติกรณ์

หน่วยงาน

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



การเพิ่มมูลค่าข้าวเหนียวโดยการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโปรตีนเพื่อสุขภาพ

(Value Addition of Sticky Rice by Production of Protein-Enrichment-Quick-Cooking-Sticky Rice
for Health)

หัวหน้าโครงการวิจัย
หน่วยงาน

นางสาวพนิดา รัตนปิติกรณ์
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ผลของวิธีการแช่ที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะ โดยการทดลองผันแปรวิธีในการแช่เพื่อเสริมนมโคและนมแพะในข้าวเหนียวเป็น 3 วิธี คือ แช่ข้าวเหนียวที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้วในน้ำนม แช่ข้าวเหนียวในน้ำนมพร้อมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังคลื่นปานกลางเป็นเวลา 5 นาทีและแช่ข้าวเหนียวในน้ำนมพร้อมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วโดยหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง ทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการแปรรูป ส่วนที่ 2 สมบัติทางเคมีกายภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัสและสมบัติในการเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวโดยการทดลองผันแปรปริมาณนมผงต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 12.5:100, 25.0:100 และ 37.5:100 โดยน้ำหนัก ร่วมกับการผันแปรความเข้มข้นชาเขียวเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.44, 0.88 และ 1.32 และส่วนที่ 3 สมบัติทางเคมีกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ต ทดลองผันแปรพันธุ์ข้าวเหนียว 2 สายพันธุ์ คือ กข6 และสันป่าตอง ผันแปรปริมาณข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตที่อัตราส่วนดังนี้ 2:0, 2:0.5, 2:1 และ 2:1.5 โดยน้ำหนัก ผันแปรชนิดของโยเกิร์ต 2 ชนิด คือ โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง

ผลการทดลองเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะ พบว่า วิธีการแช่เพื่อเสริมนมสดในข้าวเหนียวทั้งสามวิธีมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ หลังการอบแห้งเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเพื่อสุขภาพ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าสีขาว-ดำ (ค่าสี L) สูงที่สุด ตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคภายหลังการอบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.6-6.5 และมีค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.15-0.3 ตัวอย่างที่มีการเสริมนมโคจะมีลักษณะสีเข้มกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มี การเสริมนมโคและสีออกโทนเหลืองอ่อนมากกว่า ตัวอย่างที่เสริมนมโคจะมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เสริมนมโคอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.2-10.9 ปริมาณไขมันร้อยละ 4.0-6.9 และปริมาณเถ้าร้อยละ 0.8-1.3 และตัวอย่างที่เสริมนมแพะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

ผลการทดลองเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีกายภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัสและสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากนมโคกลั่นรสชาเขียว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5

ข้าวโม่ ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 แห่น้ำในน้ำนึ่งชาเขียวที่อัตราส่วนปริมาณนมผง ต่อ น้ำ 37.5:100 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นชาเขียวร้อยละ 1.32 มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่าความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH เท่ากับร้อยละ 92.51 ± 1.28 และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 10.23 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีสมบัติทางเคมีกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัส เป็นที่ยอมรับสูงสุด

ผลการทดลองเกี่ยวกับสมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวสุกเร็วกลี้นรสโยเกิร์ต พบว่า สภาพที่เหมาะสมในการแปรรูปคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5.5-6 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับอัตราส่วนข้าวเหนียวต่อ โยเกิร์ตสดที่อัตราส่วน 2:0.5 มากที่สุด และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างที่ใช้โยเกิร์ตสดและ โยเกิร์ตผงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียว ที่ผ่านการคืนรูประหว่างสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง ข้าวเหนียวที่ เสริมโยเกิร์ตผงมีลักษณะค่อนข้างนุ่ม มีความยืดหยุ่น การเกาะตัวน้อย และมีเวลาในการเคี้ยวข้าวจน ละเอียดสั้น ส่วนข้าวเหนียวที่เสริมโยเกิร์ตสดมีค่าความเกาะติดกันสูงกว่าข้าวเหนียว ที่ไม่ผ่านการแช่ โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง ($p \leq 0.05$) ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของผลิตภัณฑ์ ภายหลังการคืน รูป พบว่า มีปริมาณโปรตีน แตกต่างไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($P > 0.05$) โดยข้าวเหนียว พันธุ์ กข6 เสริมโยเกิร์ตสดและเสริมโยเกิร์ตผง มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.10 ± 1.68 และ 5.85 ± 0.96 ตามลำดับ และตัวอย่างควบคุมมีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 5.78 ± 1.09

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว ชาเขียว สมบัติในการเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน นมโค นมแพะ โยเกิร์ต การทำแห้งแบบลมร้อน

Abstract

This experiment comprised of 3 parts. The first part aimed to determine the physical and chemical properties of protein-enrichment-quick-cooking-sticky rice by varying soaking methods (soaking gelatinized sticky in fluid milk, soaking non-gelatinized sticky rice in fluid milk and heat with microwave at medium power for 5 minutes and soaking non-gelatinized sticky rice in fluid milk and heat with hot steam for 30 minutes) in order to enrich cow milk and goat milk into sticky rice. The samples were dried with hot air oven and the optimum time was investigation. The properties of protein-enrichment-quick-cooking-sticky rice were examined before and after process. The second part was study of the physical and chemical properties sensory characteristics and antioxidant property of milk-enrichment-quick-cooking-sticky rice flavoured green tea. The experiments was varied the ratio by weight of milk powder per water of 12.5:100, 25.0:100 and 37.5:100 and varied the concentration of green tea of 0.44, 0.88 and 1.32 %, respectively. And the third part of study focuses on the physical and chemical properties and sensory characteristics of quick-cooking-sticky rice flavoured yoghurt. The experiments were varied 2 varieties of sticky rice namely Sanpatong and RD 6, varied 4 ratio by weight of sticky rice per yoghurt (2:0, 2:0.5, 2:1 and 2:1.5) and varied 2 types of yoghurt (fresh yoghurt and dried yoghurt).

Soaking methods had a significantly different effect on the color value of dried protein-enrichment-quick-cooking-sticky rice ($p \leq 0.05$). Soaking non-gelatinized sticky rice in fluid milk and heat with microwave at medium power for 5 minutes showed the highest whiteness value (L value) of sample. Dried samples contained moisture content in the range of 3.6-6.5 % and contained the water activity of 0.15-0.3. The sample of cow milk-enrichment-quick-cooking-sticky rice had a higher chroma value and more yellowish color than the control sample. Cow milk-enrichment-quick-cooking-sticky rice composed of higher protein, fat and ash contents than the control ($p \leq 0.05$). The sample contained protein content of 9.2-10.9%, fat content of 4.0-6.9% and ash content of 0.8-1.3. Whereas the sample of goat milk-enrichment-quick-cooking-sticky rice had non-significantly different of protein content when compared with the control sample.

The optimum drying condition for milk-enrichment-quick-cooking-sticky rice was drying at temperature of 100 degree Celsius for 3.5 hours. The sample from RD 6 variety, soaking in green tea and cow milk at the ratio of powder milk per water per green tea concentration of 37.5:100:1.32 showed the highest antioxidant property and acceptability test ($p \leq 0.05$). The inhibition of DPPH and the total phenolic content of the sample was $92.51 \pm 1.28\%$ and 10.23 ± 0.09 milligram per gram of sample, respectively.

The optimum drying condition for quick-cooking-sticky rice flavoured yoghurt was drying at temperature of 100 degree Celsius for 5.5-6 hours. The sensory acceptant score showed that the weight ratio of sticky rice per fresh yoghurt of 2:0.5 got the highest score. Whereas the acceptant score of the sample which used fresh yoghurt was non-significantly different when compared with the sample which used dried yoghurt ($P > 0.05$). Texture characteristics of reformed samples among treatment were significantly different ($p \leq 0.05$). The sample which used fresh yoghurt had higher cohesiveness, hardness, gumminess, chewiness and springiness but lower adhesiveness than the sample which used dried yoghurt. The approximate analysis of reformed quick-cooking-sticky rice flavoured yoghurt showed non-significantly different of protein and ash content when compared with control ($P > 0.05$). Protein contents of the sample which used fresh and dried yoghurt were 6.10 ± 1.68 and $5.85 \pm 0.96 \%$, respectively. Whereas the control composed the protein content of $5.78 \pm 1.09 \%$.

Keywords : quick-cooking-sticky rice, green tea, antioxidant properties, cow milk, goat milk, yoghurt, hot air drying

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัย เรื่อง การเพิ่มมูลค่าข้าวเหนียว โดยการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโปรตีนเพื่อสุขภาพ (Value Addition of Sticky Rice by Production of Protein-Enrichment-Quick-Cooking-Sticky Rice for Health) ขอขอบคุณ ผู้ช่วยวิจัยนางสาวสุปรียา ชาญชัยสมจิตรและนักศึกษาผู้ช่วยวิจัยในระดับปริญญาตรี สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คือ นางสาวฉัตรทิพย์ ดีบศรีบุตร นางสาวปิยวรรณ รอดคารา นางสาวกัลยา บัวหอม นายภัทร พิมสารและนางสาวสิรินภา สีดาที่มีความความสนใจเข้ามามีส่วนร่วมในการวิจัย พร้อมทั้งใช้ความวิริยะ อุตสาหะ ในการช่วยทำงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยและขอขอบคุณศูนย์บริหารงานวิจัย สำนักงานอธิการบดี และคณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ที่สนับสนุนให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หัวหน้าโครงการวิจัย

กันยายน 2553

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์	4
บทที่ 3 การทดลอง	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	111
บรรณานุกรม	115
ภาคผนวก	118

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 และสันป่าตอง 1
ตารางที่ 2.2	ประโยชน์ของสารอาหารที่มีในข้าว
ตารางที่ 2.3	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวขาวในส่วนที่รับประทานได้ต่อ 100 กรัม
ตารางที่ 2.4	ขนาดของไมเซลล์และร้อยละที่พบในน้ำมัน
ตารางที่ 2.5	การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของนมแพะและนมโค
ตารางที่ 2.6	การเปรียบเทียบองค์ประกอบกรดอะมิโน (กรัมต่อ 100 กรัมของกรดอะมิโน) ของนมแพะและนมโค
ตารางที่ 2.7	การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของนมและโยเกิร์ต
ตารางที่ 2.8	รูปแบบของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวหุงสุกเร็ว
ตารางที่ 2.9	อุณหภูมิการเกิดเจลาคีในสัของแป้งชนิดต่างๆ
ตารางที่ 2.10	การจัดแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลสและลักษณะของข้าวสุก
ตารางที่ 2.11	ความหมายของคุณลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ในเชิงคุณภาพทางกายภาพจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้านเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) และในเชิงคุณภาพทางประสาทสัมผัส
ตารางที่ 2.12	คำจำกัดความของเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวหุงสุกจากการทดสอบชิม
ตารางที่ 4.1	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพด้านความชื้นของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนและหลังการคั้นรูป
ตารางที่ 4.2	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนการคั้นรูป
ตารางที่ 4.3	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพค่าสี (L, a, b, Hue, Chroma) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป
ตารางที่ 4.4	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป

	หน้า
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการอบแห้งหรือก่อนการคั่วรูป	78
ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	81
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั่วรูป	82
ตารางที่ 4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	87
ตารางที่ 4.9 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	88
ตารางที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของชาเขียว และพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว) ต่อสมบัติประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	89
ตารางที่ 4.11 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมผงกับพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสชาเขียวของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	89
ตารางที่ 4.12 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของชาเขียว (ร้อยละ) กับพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	90
ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	90

	หน้า
ตารางที่ 4.14	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียวและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมนมโคกลิ่นรสชาเขียว
ตารางที่ 4.15	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางกายภาพด้าน ค่าสีหลัก (chroma) และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) เสริมนมโคกลิ่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป
ตารางที่ 4.16	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางกายภาพด้านค่าสี หลัก (chroma) และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว สุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมนมโคกลิ่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป
ตารางที่ 4.17	สมบัติด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) กลิ่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคืนตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน
ตารางที่ 4.18	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัส ด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของ ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) กลิ่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้ง และคืนตัวด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน
ตารางที่ 4.19	สมบัติด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) กลิ่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคืนตัวด้วยการนึ่ง ไอน้ำร้อน
ตารางที่ 4.20	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสโยเกิร์ต (พันธุ์สันป่าตอง) ที่ผ่าน การอบแห้งและคืนตัวด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน
ตารางที่ 4.21	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านการ เกาะตัว เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว กลิ่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคืนตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	25
รูปที่ 2.2	วงจรการเกิดอนุมูลอิสระ	30
รูปที่ 2.3	วงจรการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ	31
รูปที่ 2.4	โครงสร้างโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ	32
รูปที่ 2.5	กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างเนื้อสัมผัส (texture profile analysis)	35
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนในการหาระยะเวลาการอบแห้งและอัตราส่วนน้ำมันชาเขียวที่เหมาะสม	43
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราส่วนผง ความเข้มข้นของชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์	45
รูปที่ 4.1	สมบัติของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (ก) ค่าสี และ (ข) ปริมาณความชื้นและส่วนประกอบทางเคมี	49
รูปที่ 4.2	ค่าสีของข้าวเหนียวเสริมนมโคที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	50
รูปที่ 4.3	ค่าสีของข้าวเหนียวเสริมนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	50
รูปที่ 4.4	ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวเสริมนมโคและนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	51
รูปที่ 4.5	ค่าสีของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยลมร้อน	52
รูปที่ 4.6	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยลมร้อน เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	53
รูปที่ 4.7	ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	54

		หน้า
รูปที่ 4.8	ค่ากิจกรรมของน้ำของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและการอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	54
รูปที่ 4.9	ค่าสีของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคภายหลังการคั้นรูป	55
รูปที่ 4.10	ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมแพะภายหลังการคั้นรูป	56
รูปที่ 4.11	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะที่ผ่านการคั้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	56
รูปที่ 4.12	ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคที่ผ่านการคั้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	57
รูปที่ 4.13	ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมแพะที่ผ่านการคั้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	58
รูปที่ 4.14	สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง (ก) ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 พันธุ์สันป่าตอง นมผงและชาเขียวผงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง (ข) ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 พันธุ์สันป่าตอง (ค) ค่าสี (ง) สมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	59
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำแห้ง (อบด้วยลมร้อน) กับร้อยละปริมาณความชื้น	60
รูปที่ 4.16	ค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวที่ผ่านการแช่สารละลายนมชาเขียวที่อัตราส่วนนมต่อชาเขียวในระดับต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง	61
รูปที่ 4.17	ปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวที่ผ่านการแช่สารละลายนมชาเขียวที่อัตราส่วนนมต่อชาเขียวในระดับต่างๆ (ก) ก่อนการคั้นรูป (ข) ภายหลังการคั้นรูป	62
รูปที่ 4.18	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสชาเขียว (ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว) ภายหลังการอบแห้งหรือก่อนการคั้นรูป (ข) ผลของความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยเดียว) ภายหลังการคั้นรูป	63
รูปที่ 4.19	ผลของปริมาณนมโค และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของตัวอย่างข้าวเหนียว กข 6 ที่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสชาเขียวภายหลังการอบแห้ง	65

		หน้า
รูปที่ 4.20	ผลของปริมาณนมโค และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองที่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสาเขียวหลังการอบแห้ง	65
รูปที่ 4.21	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสาเขียวก่อนการคั้นรูป (ปัจจัยเดียว): ผลของปริมาณนมผง	66
รูปที่ 4.22	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสาเขียวก่อนการคั้นรูป (ปัจจัยเดียว) : ผลของความเข้มข้นของชาเขียว	67
รูปที่ 4.23	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสาเขียวก่อนการคั้นรูป (ปัจจัยเดียว) : ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว	67
รูปที่ 4.24	ผลของปริมาณนมโค และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของตัวอย่างข้าวเหนียว กข 6 ที่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสาเขียวหลังการคั้นรูป	68
รูปที่ 4.25	ผลของปริมาณนมโค และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองที่ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสาเขียวหลังการคั้นรูป	69
รูปที่ 4.26	ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสาเขียวหลังการคั้นรูป	70
รูปที่ 4.27	สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความเหนียวเป็นยาง การทนต่อการเคี้ยว) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข6) เสริมนมโคกลั่นรสาเขียวหลังการคั้นรูป	72
รูปที่ 4.28	สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความยืดหยุ่น ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความยืดหยุ่น) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข6) เสริมนมโคกลั่นรสาเขียวหลังการคั้นรูป	72

		หน้า
รูปที่ 4.29	สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความเหนียวเป็นยาง การทนต่อการเคี้ยว) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป	73
รูปที่ 4.30	สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความยืดหยุ่น ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความยืดหยุ่น) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป	73
รูปที่ 4.31	สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป (ปัจจัยเดียว) (ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ข) ผลของปริมาณนมโค (ค) ผลของความเข้มข้นชาเขียว	75
รูปที่ 4.32	ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโคและความเข้มข้นของชาเขียวต่อสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ก) การทนต่อการเคี้ยว (ข) ความยืดหยุ่นของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวภายหลังการคั้นรูป	76
รูปที่ 4.33	ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโคและพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป	76
รูปที่ 4.34	(ก) สมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและ (ข) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการอบแห้ง	78
รูปที่ 4.35	(ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ข) ปริมาณนมโค และ (ค) ความเข้มข้นชาเขียว (ปัจจัยเดียว) ต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการอบแห้ง	79
รูปที่ 4.36	ผลของปริมาณนมโคและความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยร่วม) ที่มีต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว	80
รูปที่ 4.37	ผลของพันธุ์ข้าวเหนียวและความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยร่วม) ที่มีต่อสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH inhibition) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการอบแห้ง	80

		หน้า
รูปที่ 4.38	สมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป	81
รูปที่ 4.39	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป	82
รูปที่ 4.40	ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ก) ปริมาณนมโค (ข) และความเข้มข้นชาเขียว (ค) (ปัจจัยเดียว) ต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป	83
รูปที่ 4.41	ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโค และความเข้มข้นของชาเขียวต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป (ก) ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (ข) ร้อยละของการยับยั้งสาร DPPH	84
รูปที่ 4.42	ผลของปัจจัยร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวเหนียว และความเข้มข้นของชาเขียวต่อสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH inhibition) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั้นรูป	84
รูปที่ 4.43	(ก) ปริมาณความชื้น ส่วนประกอบทางเคมี (dry basis) และ (ข) ค่าสีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และสันป่าตอง	93
รูปที่ 4.44	(ก) ส่วนประกอบทางเคมี (Dry basis) (ข) ค่าสีและ (ค) ปริมาณความชื้นของโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง	94
รูปที่ 4.45	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นที่ระยะเวลาต่างๆ ของการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์ กข 6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่มีการผันแปรปริมาณโยเกิร์ตในอัตราส่วนต่างๆ	95
รูปที่ 4.46	ปริมาณความชื้นก่อนการอบแห้งและหลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (กข 6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ต (อบเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 หลังผ่านการนึ่งหรือก่อนการอบแห้ง มีค่าร้อยละ 38.25 ± 0.57)	96
รูปที่ 4.47	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองต่อโยเกิร์ตในอัตราส่วนต่างๆ ที่เวลาการอบแห้งต่างๆกัน	97
รูปที่ 4.48	ปริมาณความชื้นก่อนการอบแห้งและหลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (สันป่าตอง) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ต (อบแห้งเป็นเวลา 5.5 ชั่วโมง)	97

		หน้า
รูปที่ 4.49	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตก่อนการอบแห้ง	98
รูปที่ 4.50	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังการอบแห้ง (อบแห้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง)	99
รูปที่ 4.51	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์ สันป่าตอง) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตก่อนการอบแห้ง	100
รูปที่ 4.52	ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์ สันป่าตอง) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังการอบแห้ง (อบแห้งเป็นเวลา 5.5 ชั่วโมง)	100
รูปที่ 4.53	ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังจากการคั่วด้วยไอน้ำร้อน	105
รูปที่ 4.54	สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์ กข 6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตผัสดัดแปลงชนิดของโยเกิร์ตและคั่วด้วยไอน้ำร้อน	106
รูปที่ 4.55	สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์ สันป่าตอง) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตผัสดัดแปลงชนิดของโยเกิร์ตและคั่วด้วยไอน้ำร้อน	106
รูปที่ 4.56	สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคั่วด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน: ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว)	107
รูปที่ 4.57	สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคั่วด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน: ผลของชนิดโยเกิร์ต (ปัจจัยเดียว)	108
รูปที่ 4.58	สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคั่วด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน: ผลของพันธุ์ข้าวเหนียวและชนิดของโยเกิร์ต (ปัจจัยรวม)	108
รูปที่ 4.59	ส่วนประกอบทางเคมี (dry basis) ของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังจากการคั่วด้วยไอน้ำร้อน	110

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ข้าวเหนียวเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีการบริโภคกันอย่างกว้างขวางทั้งในและนอกประเทศ ปัจจุบันการบริโภคข้าวเหนียวมีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศซึ่งมีปริมาณเป็นอันดับสองรองจากการบริโภคข้าว การพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากข้าวเหนียวจะเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยเพิ่มรายได้ของเกษตรกรที่ปลูกข้าวในพื้นที่ภาคเหนือรวมทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ข้าวเหนียวจัดเป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายเนื่องจากเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ในปริมาณที่สูงมากถึงร้อยละ 75-80 มีโปรตีนร้อยละ 6-7 อย่างไรก็ตามโปรตีนที่มีอยู่ในข้าวเป็นโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์ เพราะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ ไลซีน (lysine) นอกจากนี้ยังมีไขมัน วิตามินและเกลือแร่ในปริมาณเล็กน้อย (ประสูตร, 2527) ดังนั้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสู่ครัวเรือนโปรตีนเพื่อสุขภาพ จึงจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าทางโภชนาการจากการบริโภคข้าวเหนียว เพิ่มมูลค่าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์จากข้าวเหนียวได้

ข้าวเหนียว (glutinous rice หรือ waxy rice) เป็นข้าวที่ประกอบด้วยแอมิโลเพคติน (amylopectin) เป็นส่วนใหญ่และมีแอมิโลส (amylose) เพียงเล็กน้อย เมล็ดข้าวเหนียวจะมีสีขาวขุ่น เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งแล้วจะได้ข้าวที่มีลักษณะเหนียวนุ่มจับตัวติดกันแน่นและมีลักษณะใสซึ่งแตกต่างจากข้าวขาวปกติที่มีปริมาณแอมิโลสสูงกว่า อัตราส่วนของแอมิโลเพคตินต่อแอมิโลสในเมล็ดข้าวสารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีสมบัติในการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน คือ ข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำทำให้ได้ข้าวที่มีลักษณะนุ่มและร่วน ทึบแสงไม่เลื่อมมัน ส่วนข้าวเหนียวหรือข้าวที่มีแอมิโลสต่ำจะดูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวขาวปกติซึ่งเมื่อผ่านความร้อนจะได้ข้าวที่มีลักษณะเหนียวและนุ่มกว่า เนื่องจากข้าวเหนียวเป็นข้าวที่ต้องผ่านการแช่น้ำเป็นเวลาประมาณ 3-12 ชั่วโมง ก่อนที่จะทำให้สุกโดยทำให้เกิดการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์โดยใช้ไอน้ำร้อนในการนึ่ง นอกจากนี้อาจเกิดปัญหาในระหว่างการนึ่งข้าวเหนียว เช่น ข้าวสุกไม่สม่ำเสมอหรือข้าวแฉะ เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดข้อหนึ่งของการบริโภคข้าวเหนียว ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวหุงสุกเร็วขึ้นมาเพื่อให้สามารถลดระยะเวลาในการเตรียมและสะดวกในการรับประทาน โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วจะผลิตโดยกระบวนการให้ความร้อนที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดเจลาติไนซ์ทั้งหมดหรือบางส่วน จากนั้นทำให้เมล็ดข้าวเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและรอยร้าวด้วยกระบวนการ

แช่เยือกแข็ง เพื่อช่วยให้เมล็ดข้าวคุดน้ำได้เร็วและทำแห้งเพื่อคงสภาพของเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ไว้และเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน ผลผลิตพันธุ์ข้าวหุงสุกเร็วที่เตรียมโดยวิธีนี้สามารถลดระยะเวลาในการคืนรูปอย่างไรก็ตามงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์เกี่ยวกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วยังคงมีปริมาณน้อยมากหรือไม่มีเลยและบางส่วนอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัยร่วมกับภาคอุตสาหกรรมและอาจไม่มีการเผยแพร่งานวิจัย

เทคโนโลยีการทำแห้งแบบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารทั้งภายในและภายนอกประเทศ อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานถึงการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ในการแปรรูปข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโปรตีนเพื่อสุขภาพรวมถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและให้องค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการแปรรูปข้าวในประเทศไทย โดยงานวิจัยจะมุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโปรตีนเพื่อสุขภาพให้มีคุณลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับข้าวเหนียวที่หนึ่งด้วยวิธีปกติและมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามที่ข้าวเหนียวพึงจะมีทุกประการและมีข้อดีกว่าคือ มีวิธีการเตรียมที่สะดวกและรวดเร็วและคุณค่าทางโภชนาการจากการเสริมโปรตีนนม อาจเป็นทางเลือกหนึ่งของการดำเนินชีวิตที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วและเป็นการเพิ่มมูลค่าโดยการแปรรูปข้าวเหนียวให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความต้องการบริโภคทั้งภายในประเทศและการส่งออกให้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการแช่ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ต

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโปรตีนนมเพื่อสุขภาพจากข้าวเหนียว 2 สายพันธุ์ คือ กข 6 และสันป่าตอง โดยการทำแห้งแบบลมร้อนทดสอบสมบัติทางเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโปรตีนนมเพื่อสุขภาพจำนวน 4 สูตร คือ สูตรเสริมโปรตีนจากนมโค นมแพะ นมชาเขียวและโยเกิร์ต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) เป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าทางการเกษตรหลักของประเทศ โดยการแปรรูปเป็น

ผลิตภัณฑ์เพื่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

(2) เป็นการส่งเสริมเกษตรกรผู้ปลูกข้าวเหนียว

(3) เป็นการส่งเสริมผู้ประกอบการทั้งโรงสีข้าวและโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวให้มีทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าของสินค้าและเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคได้รับทางเลือกเพิ่มขึ้นในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 ข้าวเหนียว

ข้าวเหนียว (glutinous rice, sticky rice หรือ waxy rice) เป็นข้าวที่ประกอบด้วยแอมิโลเพกติน (amylopectin) เป็นส่วนใหญ่และมีแอมิโลส (amylose) เพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5-7 เมล็ดข้าวเหนียวจะมีสีขาวขุ่นเมล็ดเปราะหักง่าย เมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งแล้วจะได้ข้าวที่มีลักษณะเหนียวนุ่มจับตัวติดกันแน่นและมีลักษณะใสซึ่งแตกต่างจากข้าวขาวปกติที่มีปริมาณแอมิโลสสูงกว่า อัตราส่วนของแอมิโลเพกตินต่อแอมิโลสในเมล็ดข้าวสารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีสมบัติในการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน คือ ข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะคุดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำทำให้ได้ข้าวที่มีลักษณะนุ่มและร่วน ทึบแสง ไม่เลื่อมมัน ส่วนข้าวเหนียวหรือข้าวที่มีแอมิโลสต่ำจะคุดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวขาวปกติซึ่งเมื่อผ่านความร้อนจะได้ข้าวที่มีลักษณะเหนียวและนุ่มกว่า (อรอนงค์, 2547)

(1) ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 หรือ RD 6 ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ โดยใช้รังสีแกมมาปริมาณ 20 กิโลเรด ชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ โดยอาบบนเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากนั้นนำมาปลูกคัดเลือกที่สถานีทดลองข้าวบางเขนและสถานีทดลองข้าวพิมาย จากการคัดเลือกพบว่า ข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุด คือ พันธุ์ KDML 105'65-G₂U-68-254 ซึ่งนับว่าเป็นข้าวพันธุ์ดีพันธุ์แรกของประเทศไทยที่ค้นคว้าได้โดยใช้วิธีชักนำพันธุ์พืชให้เปลี่ยนกรรมพันธุ์โดยใช้รังสี ต่อมาคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตรมีมติให้เป็นพันธุ์รับรองเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2520 ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเหนียวสูงประมาณ 154 เซนติเมตร มีความไวต่อช่วงแสง ทรงกอกระจายเล็กน้อย ใบยาวสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง เมล็ดยาวเรียว เมล็ดข้าวเปลือกสีน้ำตาล อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 150 วัน เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง×ยาว×หนา เท่ากับ 2.2×7.2×1.7 มิลลิเมตร คุณภาพข้าวสุกเหนียวมีกลิ่นหอม ผลผลิตประมาณ 666 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตสูงและทนแล้งดี คุณภาพการหุงต้มดี มีกลิ่นหอม ลำต้นแข็งแรงปานกลาง ด้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล คุณภาพสีดี ไม่ด้านทานโรคของใบแห้งและโรคใบไหม้ ไม่ด้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว พันธุ์ที่แนะนำให้ปลูก คือ ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมการข้าว, 2549)

(2) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 เป็นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกแถบภาคเหนือ ได้จากการผสมพันธุ์ข้าวพันธุ์ BKNLR75001-B-CNT-B-RST-36-2 กับพันธุ์ กข2 ที่สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง เมื่อปี พ.ศ. 2527 ปลูกคัดเลือกจนได้พันธุ์ SPTLR84051-32-2-2-4 ลักษณะประจำพันธุ์คือ เป็นพันธุ์ข้าวเหนียว สูงประมาณ 119 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง มีอายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 130-135 วัน ลักษณะเป็นทรงกอตั้ง ใบสีเขียว กาบใบสีเขียว ใบตรงตั้งตรง รวงยาว ระแงะถี่ รวงแน่น คอรวงสั้น ฟางแข็ง ใบแก่ข้าว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 2.2 x 7.1 x 1.8 มิลลิเมตร คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม ผลผลิตประมาณ 630 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่นของข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง คือ ด้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้งและให้ผลผลิตสูง เป็นข้าวเหนียวที่สามารถปลูกได้ตลอดปี ข้อควรระวัง คือ ไม่ด้านทานโรคใบสีส้ม ไม่ด้านทานแมลงบั่ว พื้นที่แนะนำคือ พื้นที่นาชลประทานภาคเหนือตอนบน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ฤดูปลูกสามารถปลูกได้ตลอดปี แต่ควรหลีกเลี่ยงช่วงการปลูกที่ต้นข้าวจะออกดอกในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 33 องศาเซลเซียสและหลีกเลี่ยงการปลูกที่ต้องเก็บเกี่ยวในช่วงที่ฝนชุก

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 และสันป่าตอง 1

ลักษณะของข้าวเหนียว		
ชื่อพันธุ์(ไทย)	กข.6	สันป่าตอง 1
ชื่อพันธุ์(อังกฤษ)	RD.6	San-pah-tawng 1
อายุเก็บเกี่ยว (วัน)	-	130-135
คุณภาพข้าวสุก	นุ่มเหนียว หอม	เหนียวนุ่ม
ลักษณะพันธุ์	ไวต่อช่วงแสง	ไม่ไวต่อช่วงแสง
ลักษณะใบ	ยาว เขียวเข้ม	เขียว กาบใบสีเขียว ใบตรงตั้งตรง
ลักษณะรวง	ปานกลาง	ยาว
การปรับปรุงพันธุ์	ทนแล้ง ด้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล ไม่ด้านทางโรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว	ด้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง ไม่ด้านทานโรคใบสีส้ม ไม่ด้านทานแมลงบั่ว

ที่มา : วิชา (2544)

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain, rice seed) เป็นผลชนิด caryopsis เนื่องจากส่วนที่เป็นเมล็ดเดี่ยว (Single seed) ติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp)

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วน คือ

- ส่วนที่ห่อหุ้ม เรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas)
- ส่วนที่รับประทานได้ เรียกว่า ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) หรือเมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออกแล้ว ประกอบด้วย (1) เยื่อหุ้มผล ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ ชั้นถัดจากเปลือกนอก (epicarp) ชั้นกลางของเปลือก (mesocarp) และชั้นในของเปลือก (endocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous) ผนังเซลล์ ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (2) เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไป ประกอบด้วย เนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นท่อนของสารประเภทไขมัน (fatty material) (3) เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone) อยู่ต่อจากเยื่อหุ้มเมล็ดห่อหุ้มส่วนเนื้อในเมล็ด (starchy endosperm) และคัพภะ (embryo) ชั้นของเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดจะมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยน้ำมัน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (4) ส่วนที่เป็นแป้งในเนื้อในเมล็ด (starch endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสารอยู่ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วย แป้งเป็นส่วนใหญ่หรือมีโปรตีนอยู่บ้างเล็กน้อย แป้งในเมล็ดข้าว มี 2 ชนิด คือ แอมิโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของดี-กลูโคสที่ต่อกันเป็นกิ่งก้านและแอมิโลส (amylose) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของดี-กลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรง ส่วนประกอบของแป้งทั้ง 2 ชนิด มีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดข้าว ในข้าวเหนียวจะมีแอมิโลสอยู่ประมาณร้อยละ 0-2 ที่เหลือเป็นแอมิโลเพคติน ข้าวเจ้ามีแอมิโลสในปริมาณที่มากกว่า คือ ประมาณร้อยละ 7-33 ของน้ำหนักข้าวสาร คัพภะอยู่ติดกับเนื้อในเมล็ดเป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นต่อไป คัพภะประกอบด้วยต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) และเยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) คัพภะเป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง

2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการ

ข้าวจัดเป็นอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย เนื่องจากมีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูงมากถึงร้อยละ 75 – 80 (กรมการข้าว, 2549) จึงเป็นแหล่งให้พลังงานที่สำคัญสำหรับคนไทย เนื่องจากคนไทยนิยมบริโภคข้าวขัดขาว ทำให้ข้าวเจ้ามีสารอาหารพวกไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ น้อยมาก นอกจากจะรับประทานในลักษณะของข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือ

ตารางที่ 2.2 ประโยชน์ของสารอาหารที่มีในข้าว

สารอาหาร	ประโยชน์
1. คาร์โบไฮเดรต	ข้าวมีคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 75 – 80 อยู่ในรูปแป้ง (Starch) ที่เหลืออีกเล็กน้อยเป็นซูโครส (Sucrose) และ เด็กซ์ตริน (Dextrin) คาร์โบไฮเดรตจากข้าวนี้ร่างกายสามารถย่อย และนำไปใช้เป็นพลังงานได้เกือบทั้งหมด
2. โปรตีน	ข้าวมีโปรตีนประมาณร้อยละ 7 ซึ่งนับว่าน้อยแต่เนื่องจากคนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก คือ บริโภคประมาณวันละ 400 กรัม (ข้าวสาร) ทำให้ได้โปรตีนถึง 28 กรัม โปรตีนในข้าวเป็นโปรตีนไม่สมบูรณ์ เพราะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ ไลซีน (lysine) ดังนั้นจึงมีคำแนะนำให้บริโภคข้าวร่วมกับอาหารประเภทถั่วเมล็ดแห้ง ซึ่งทำให้ได้โปรตีนที่สมบูรณ์ ที่สามารถนำไปใช้ในการเสริมสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ไขมัน	ไขมันที่ได้จากข้าวเป็นไขมันที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวชนิดกรดลิโนเลอิกและกรดโอเลอิก (linoleic acid และ oleic acid) สูง ซึ่งช่วยในการควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด และช่วยในการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ เด็กแรกเกิด และเด็กเล็ก ไขมันในเมล็ดข้าวเมื่อผ่านกรรมวิธีขัดสีจะหลุดไปอยู่ในส่วนของรำเกือบหมด มีเหลือติดเมล็ด เพียงร้อยละ 1-3 เท่านั้น
4. วิตามินและเกลือแร่	วิตามิน และเกลือแร่ที่อยู่ในข้าวจะอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดและที่เมล็ดข้าว หรือคัพภะ วิตามินที่พบมาก คือ บี 1 บี 2 และไนอะซิน ซึ่งช่วยในการควบคุมการทำงานของระบบประสาท ส่วนเกลือแร่ที่พบในข้าวคือ เหล็ก ซึ่งช่วยในการสร้างเม็ดเลือดแดง และฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างกระดูกและฟัน วิตามินและเกลือแร่ในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่จะหลุดออกไปพร้อมรำในระหว่างการขัดสีจนเป็นเมล็ดขาว ดังนั้นเพื่อให้ได้วิตามินและเกลือแร่จากข้าว จึงควรเลือกบริโภคข้าวหนึ่งก่อนสี หรือข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงเล็กน้อย เช่น ข้าวซ้อมมือ หรือข้าวกล้อง

ที่มา : อ้างถึงในกรมการข้าว (2549)

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวขาวในส่วนที่รับประทานได้ต่อ 100 กรัม

สารอาหาร	ข้าวเหนียวขาว
แคลอรี	355
ความชื้น (ร้อยละ)	11.3
โปรตีน (กรัม)	7.0
ไขมัน (กรัม)	0.3
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	81.1
เนื้อเยื่อ (กรัม)	0
เถา (กรัม)	-
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	12
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	46
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.3
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	0
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.06
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.03
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	-

ที่มา: อ้างถึงในกรมการข้าว (2549)

2.3 นมและผลิตภัณฑ์นมบางชนิด

2.3.1 นมโค

2.3.1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของนม (Walstra *et al.*, 2006)

(1) โปรตีนนม (milk proteins)

ส่วนใหญ่แล้วโปรตีนนมประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 150 หน่วย สมบัติของโปรตีนนมขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนที่ประกอบอยู่ในโมเลกุล (molecular configuration) รวมทั้งประจุที่ผิวของโมเลกุลอาจพบโปรตีนนมในสภาพของม้วนขด (helical coils) ม้วนแบบอิสระ (random coils) หรือเป็นแผ่นพับ (pleated sheets) หรืออาจจะเป็น โครงสร้างหลายๆ แบบอยู่รวมกัน โปรตีนนมแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เคซีน (casein) และ โปรตีนเวย์ (whey protein)

(1.1) เคซีน เป็นโปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้นในต่อมน้ำนมและเป็นโปรตีนที่มีประมาณร้อยละ 85 ของโปรตีนนมทั้งหมด เคซีนอยู่ในสภาพของไมเซลล์ (micelles) แต่ละไมเซลล์ประกอบด้วยเคซีนชนิด แอลฟา-เอส (α -s) เบต้า (β) แคลป้า (K) และแกมมา (γ) ในจำนวนที่แตกต่างกันไป ซึ่งทำให้ขนาดของไมเซลล์มีตั้งแต่ 10-3,280 ล้าน ในทางเคมีแล้วระบบเคซีน (casein system) เป็นไกลโค-ฟอสโฟ-โปรตีน (glycol-phospho-protein) เนื่องจากประกอบด้วยส่วนของคาร์โบไฮเดรต หรือกลุ่มไกลโคไลด์ (glycol group) และฟอสฟอรัสซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีน ไมเซลล์ของเคซีนจะปรากฏอยู่ในสภาพที่สมดุลกับเคซีนส่วนที่ละลายได้ (soluble casein)

เคซีนไมเซลล์ในน้ำนมมีสมบัติเป็นคอลลอยด์ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมและยังอยู่ในสภาพของเกลือแคลเซียมจึงเรียกว่า แคลเซียมเคซิเนต (calcium caseinate) แต่ละไมเซลล์ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งหมดของเคซีน คือ α -s, β , K และ γ โดยจะอยู่ร่วมกันกับแคลเซียมฟอสเฟต ดังนั้นเคซีนจึงไม่ได้อยู่ในสภาพของสารละลายในน้ำนม แต่เป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ตลอดเวลา อัตราส่วนของเคซีนแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นไมเซลล์จะแตกต่างกันออกไป พบว่า มากกว่าร้อยละ 50 ของไมเซลล์ประกอบด้วยเคซีนชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วน 3 α -s : 1 β : 1K : 0 γ แคลป้า-เคซีนมีบทบาทที่สำคัญในการสแตบิไลซ์เคซีน ส่วนคาร์โบไฮเดรตเกาะกับส่วนของโปรตีนที่ตำแหน่งของทรีโอนีนและเซอรีน ไมเซลล์ของเคซีนมีขนาดแตกต่างกันและปริมาณที่พบในระบบน้ำนมแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขนาดของไมเซลล์และร้อยละที่พบในน้ำนม

ขนาด(ไมโครเมตร)	ร้อยละที่พบ
21-40	17.9
41-80	44.0
81-120	28.0
161-200	2.7
201-240	0.9

ที่มา : Walstra *et al.* (2006)

เส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของไมเซลล์ประมาณ 85.3 มิลลิไมครอน จากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยละเอียดพบว่า เคซีนที่อยู่ในไมเซลล์จะอยู่บริเวณด้านนอกสุด โดยมี α -s และ β -เคซีน

อยู่ด้านในของไมเซลล์ ลักษณะโครงสร้างของไมเซลล์ซึ่งโมเลกุลของ β -เคซีนมีโครงสร้างแบบเส้นด้าย (threadlike structure) โดยแต่ละโมเลกุลจะเกาะกันด้วยพันธะ end-to-end apolar bond โครงสร้างแบบเส้นด้ายยังคงอย่างอิสระ บริเวณของไลโอโฟบิก (lyophobic) α -s เคซีนจะเกาะกับ β -เคซีนด้วย apolar bond หรือ lyophobic bond สุดท้าย K-เคซีนจะเกาะกับ α -s เคซีน โดยส่วน α -s และ β -เคซีน เพื่อให้ไมเซลล์มีโครงสร้างที่แข็งแรง

แคลเซียมไอออนมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างของไมเซลล์ตลอดจนสมบัติของเคซีน เช่น ความหนาแน่นเคซีนไมเซลล์เท่ากับ 1.43 แต่เคซีนที่ละลายได้ (soluble casein) มีความหนาแน่นเพียง 1.37 การรวมกันของเคซีน-แคลเซียม ฟอสเฟต (casein-calcium phosphate combination) ที่พบในน้ำนมนี้เรียกว่า เป็นสารเชิงซ้อนของแคลเซียมเคซีเนต (calcium caseinate complex) หรือสารเชิงซ้อนของแคลเซียมเคซีเนต-แคลเซียมฟอสเฟต (calcium caseinate – calcium phosphate complex)

(1.2) โปรตีนเวย์ เป็นโปรตีนชนิดที่มีความทนต่อกรด แต่ไม่ทนต่อความร้อน การพาสเจอร์ไรส์นมจะทำโปรตีนเกิดการเสียสภาพไปบางส่วน โปรตีนในเวย์ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟอร์ ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดเดือดจะเกิดสารไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้นมมีกลิ่นรสนมต้ม (boiled-milk flavor หรือ cooked flavor) นำนมที่ต้องการนำมาผลิตเป็นนมเปรี้ยวหรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์จำเป็นต้องผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 82-88 องศาเซลเซียส ดังนั้นจะเกิดกลิ่นรสนมต้ม หมู่ซัลเฟอร์ที่ไวต่อความร้อนมีสมบัติเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่รุนแรงมาก (strong antioxidant) ดังนั้นผลิตภัณฑ์นมที่มีสารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเกิดเนื่องจากความร้อนนั้น มักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โปรตีนเวย์ประกอบด้วยเบตา-แลคโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) ร้อยละ 50 และแอลฟา-แลคโตโกลบูลิน (α -lactalbumin) ร้อยละ 12 รวมทั้งโปรตีนอื่นในปริมาณเล็กน้อย ตลอดจนสารคัดหลั่งจากเซลล์ (cell-leakage products) อิมมูโนโกลบูลิน (immune-globulin, Ig) และเอนไซม์ เป็นต้น โปรตีนเวย์ที่พบมีดังนี้

- เบตา-แลคโตโกลบูลิน เป็นโปรตีนเวย์ที่อยู่ในสภาพของไดเมอร์ (dimer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36,000 แต่ละเส้นเปปไทด์จะมีกรดอะมิโน 130 หน่วย แต่ละไดเมอร์จะมีลักษณะเป็นทรงกลมสองอันติดกัน ไดเมอร์ไม่ละลายในน้ำกลั่นแต่ละลายในสารละลายเกลือเจือจางสามารถตกตะกอนโปรตีนชนิดนี้ได้ด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตและแอมโมเนียมซัลเฟต นอกจากนี้พบว่า โปรตีนชนิดนี้มีลักษณะเป็นคอลลอยด์และเสียสภาพด้วยความร้อนได้ง่ายมีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์นมประเภทเหลว (fluid dairy foods)

- แอลฟา-แลคทอลบูมิน เป็นโปรตีนที่มีซัลเฟอร์ประกอบอยู่มากกว่าในเคซีนถึง 2.5 เท่า สามารถตกตะกอนได้ด้วยความร้อนในสถานะที่เป็นกรดซึ่งมีค่าพีเอช 4.5 ไม่พบโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบอยู่เหมือนในเคซีน
- อิมมูโนโกลบูลินพบประมาณร้อยละ 10 ของโปรตีนเวย์ แบ่งออกเป็น IgM, IgA, IgG₁ และ IgG₂ เป็นโปรตีนที่พบในโคลอสตัม (colostrum) ในปริมาณค่อนข้างสูง อิมมูโนโกลบูลินมีสมบัติเป็นแอนติบอดี (antibody) พบมากในส่วนของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันเป็นโปรตีนที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ
- ซีรัมอัลบูมิน (serum albumin) มีลักษณะคล้ายอัลบูมินของซีรัมในเลือด (blood serum) ประกอบด้วยซัลเฟอร์อยู่มากจะเกิดการเสียสภาพไปบางส่วนเมื่อน้ำนมผ่านการพาสเจอร์ไรส์

2.3.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของนม

นมเป็นอาหารธรรมชาติที่สมบูรณ์ นมประกอบด้วยอาหาร 5 หมู่ คือ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และวิตามิน

(1) โปรตีน เป็นสารอาหารที่ช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอและเสริมสร้างร่างกาย โปรตีนนมมีกรดอะมิโนครบถ้วนทั้ง 9 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย (essential amino acids) ได้แก่ วาลีน (valine) ลิวซีน (leucine) ไอโซลิวซีน (isoleucine) ฟีนีลอลานีน (phenylalanine) เมไทโอนีน (methionine) ทริพโตเฟน (tryptophan) ฮิสติดีน (histidine) ไลซีน (lysine) และทรีโอนีน (threonine) นั้นมีครบถ้วนในโปรตีนนมเท่านั้น นอกจากนี้ โปรตีนนมยังอุดมไปด้วยกำมะถันซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการ ดังนั้นจึงเรียกโปรตีนนมว่า โปรตีนที่สมบูรณ์ (complete protein)

(2) ไขมันนมหรือมันเนย (butter fat) เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง โดยไขมันนม 1 กรัม ให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี ไขมันนมประกอบด้วยกรดไขมันประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวชนิดธรรมดา และชนิดที่จำเป็นต่อความเจริญเติบโตของร่างกายอีก 2 ชนิดคือ กรดไลโนลีนิก และกรดอาราชิไดค

(3) คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในน้ำนม คือ น้ำตาลแลคโตส เป็นสารอาหารประเภทที่ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม

(4) เกลือแร่ น้ำนมอุดมไปด้วยเกลือแร่หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญที่สุดในการสร้างโครงกระดูกและฟัน ดังนั้นคนในวัยเจริญเติบโต คนสูงอายุ หญิงมีครรภ์และหญิงมีบุตรในช่วงให้นมจึงควรดื่มนมเป็นประจำ

(5) **วิตามิน** เป็นสารอาหารที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม วิตามินที่พบในไขมันนมคือ วิตามินเอ ดี อี เค และแคลโรทีน และวิตามินที่ละลายในน้ำได้แก่ ไทอามิน (บี 1) ไรโบฟลาวิน (บี 2) ไนอาซิน ไพริดอกซิน (บี 6) กรดแพนโทเทนิค ไบโอดิน กรดโฟลิก โคลีน บี 12 อินอซซิทอล และวิตามินซี

2.3.2 นมแพะ

นมแพะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีขนาดเม็ดไขมันที่เล็กทำให้ร่างกายย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย ร่างกายจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ (Haenlein, 2001) นมแพะจะไม่ก่อให้เกิดไขมันสะสมในร่างกายและนมแพะยังมีกรดไขมันชนิดพิเศษชื่อ คาโปรอิก (Caproic) คาพริลิก (Caprylic) และคาพริก (Capric) ที่วงการแพทย์กำลังให้ความสนใจ เนื่องจากเป็นกรดไขมันที่ช่วยรักษาอาการของโรคที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมอาหาร เช่น โรคภาวะดูดซึมสารอาหารบกพร่องหรือลำไส้เล็กทำงานผิดปกติ การดื่มนมแพะจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้ป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบการดูดซึมอาหารรวมทั้งผู้ที่มีปัญหาการดื่มนมชนิดอื่นๆ และเหมาะกับผู้ป่วยโรคกระเพาะอาหาร เพราะช่วยลดอาการอักเสบอันเกิดจากแผลในกระเพาะอาหารได้ เนื่องจากนมแพะมีค่าพีเอช 6.4-6.7 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพกระเพาะอาหารให้มีความเป็นกลาง นอกจากนี้โปรตีนในนมแพะยังอยู่ในรูปแบบที่ย่อยได้ง่ายเมื่อเทียบกับนมโค (Haenlein, 2004) ทำให้นมแพะมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่านมโคเนื่องจากมีแร่ธาตุพวกแคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) ฟอสฟอรัส (P) คลอรีน (Cl) และแมงกานีส (Mn) มากกว่าและร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารจากนมแพะได้มากกว่าในนมโค (Alferez *et al.*, 2006)

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของนมแพะและนมโค

ส่วนประกอบทางเคมี	นมแพะ	นมโค	R.S.D.
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	13.57	11.36	0.57
โปรตีน	3.48	2.82	0.17
ไขมัน	5.23	3.42	0.64
แล็ก	0.75	0.65	0.06
แลคโตส	4.11	4.47	0.47

หมายเหตุ R.S.D. = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เหลือ (residual standard deviation) จำนวนนมตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดละ 30 ตัวอย่าง

ที่มา : Ceballos *et al.* (2009)

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบองค์ประกอบกรดอะมิโน (กรัมต่อ 100 กรัมของกรดอะมิโน) ของนมแพะและนมโค

องค์ประกอบกรดอะมิโน	นมแพะ	นมโค	R.S.D.
<u>กรดอะมิโนชนิดที่จำเป็น</u>			
ทรีโอนีน (Thr)	3.98	4.11	0.32
ไฮโซลูซีน (Ileu)	4.61	4.54	0.33
ลูซีน (Leu)	9.80	9.44	0.20
ไลซีน (Lys)	9.85	8.96	0.65
เมไทโอนีน (Met)	2.24	2.48	0.13
ซิสทีน (Cys)	0.88	0.82	0.07
เฟนิลอะลานีน (Phe)	5.04	4.73	0.13
ทริปโตเฟน (Tyr)	4.67	5.67	0.77
วาลีน (Val)	6.04	5.24	0.55
<u>กรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็น</u>			
อาร์จินีน (Arg)	3.90	4.06	0.14
ฮิสติดีน (His)	3.53	3.30	0.47
อะลานีน (Ala)	3.39	3.41	0.03
แอสปาราจีน (Asp)	7.19	7.60	0.19
กลูตามีน (Glu)	19.96	19.66	1.04
ไกลซีน (Gly)	1.60	1.75	0.11
โพรลีน (Pro)	8.93	8.99	1.11
เซรีน (Ser)	4.39	5.24	0.38

หมายเหตุ R.S.D. = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เหลือ (residual standard deviation) จำนวนนมตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดละ 30 ตัวอย่าง

ที่มา : Ceballos *et al.* (2009)

2.3.3 ผลิตภัณฑ์นมผง

นมผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำนมสดมากระเหยน้ำออกด้วยกรรมวิธีต่างๆกัน จนได้เป็นนมผง นมผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการเก็บและขนส่ง เนื่องจากอยู่ในลักษณะที่แห้ง นมผงมี 4 ประเภท ได้แก่

(1) นมผงพร้อมมันเนย (dry whole milk) ตามมาตรฐานของประเทศไทยแล้วผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีไขมันขึ้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ความเป็นกรดไม่เกินร้อยละ 0.17 ค่าดัชนีการละลาย (solubility index) เป็น 1 ปริมาณผงที่ไหม้ (scorched particle) ไม่เกินร้อยละ 22.5 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (total bacteria count) ไม่เกิน 1×10^5 ต่อกรัมของตัวอย่าง

(2) นมผงพร้อมมันเนย (dry partly skimmilk) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันเนยระหว่างร้อยละ 1.5 – 26 ค่าดัชนีการละลายเท่ากับ 1 ปริมาณผงที่ไหม้ไม่เกินร้อยละ 22.5

(3) นมผงขาดมันเนย (dry skimmilk หรือ non-fat dry milk) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ไขมันไม่เกินร้อยละ 1.5

(4) นมผงแปลงไขมัน (dry filled milk)

2.3.4 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 289) พ.ศ.2548 เรื่องนมเปรี้ยว กล่าวว่า โยเกิร์ต (yoghurt) หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรียสเตรปโทคอกคัส เทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophilus*) และแล็กโทบาซิลลัส เดลบริคคิไอ ซับสปีชีส์ บัลแกริกัส (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) หรือแล็กโทบาซิลลัส ซับสปีชีส์ อื่น

(1) ประเภทของโยเกิร์ต แบ่งตามมาตรฐานกฎหมาย (legal standards) ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ เช่น ปริมาณไขมัน ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (solid not fat หรือ SNF) หรือปริมาณของแข็งทั้งหมดตามมาตรฐานของ FAO/WHO กำหนดให้แบ่งชนิดของโยเกิร์ตตามปริมาณไขมันดังนี้ (1) ชนิดไขมันเต็มมีปริมาณไขมันสูงกว่าร้อยละ 3 (2) ชนิดไขมันปานกลางมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 0.5-3 (3) ชนิดไขมันต่ำมีปริมาณไขมันต่ำกว่าร้อยละ 0.5

(2) ประโยชน์และคุณค่าทางอาหารของโยเกิร์ต

โยเกิร์ตผลิตจากนํ้านมดังนั้นจะมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับนํ้านม โปรตีนที่ได้จากโยเกิร์ต คือ เคซีน (casein) ซึ่งเป็นโปรตีนคุณภาพสูงและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีส่วนสำคัญต่อระบบต่างๆ ในร่างกาย และอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินเอ

วิตามินบีและแร่ธาตุที่สำคัญๆ เช่น แคลเซียม เหล็กและฟอสฟอรัส จากข้อมูลเผยแพร่ในเว็บไซต์ของกองโภชนาการโยเกิร์ตสหรัฐอเมริกา (1 ถ้วยขนาด 150 กรัม) ให้พลังงาน 161 กิโลกรัม โปรตีน 5.7 กรัม ไขมัน 6.0 กรัม คาร์โบไฮเดรต 21.0 กรัม แคลเซียม 194 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 170 มิลลิกรัม ไอโอดีน 24 ไมโครกรัม วิตามินเอ 127 อาร์อี วิตามินบีหนึ่ง 0.09 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.5 มิลลิกรัมและวิตามินอี 0.2 มิลลิกรัม

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของนมและโยเกิร์ต

องค์ประกอบ (หน่วยต่อ 100 กรัม)	นม		โยเกิร์ตชนิดไขมันต่ำ
	ชนิดเต็มมันเนย	ชนิดพร่องมันเนย	
พลังงาน (แคลอรี)	67.5	36	64
โปรตีน (กรัม)	3.5	3.3	4.5
ไขมัน (กรัม)	4.25	0.13	1.6
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	4.75	5.1	6.5
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	119	121	150
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	94	95	118
โซเดียม (มิลลิกรัม)	50	52	51
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	152	145	192

ที่มา : Deeth and Tamine (1981)

2.4 ชาเขียว

ชา เป็นส่วนประกอบของต้นไม้ชนิดหนึ่ง คือ ต้นชา พันธุ์ชาที่นิยมปลูกเพื่อนำใบอ่อนมาทำใบชา มี 2 สายพันธุ์ คือ (1) ชาจีน (*Camellia sinensis*) นิยมปลูกกันในประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลี เวียดนาม และไทย และ (2) ชาอัสสัม (*Camellia assamica*) นิยมปลูกในประเทศอินเดีย ศรีลังกา เนปาล ภูฏาน พม่า และไทย ชาที่ใช้ในการบริโภค ส่วนมากจะเป็นต้นชาที่มีการเพาะปลูกบนพื้นที่

สูง มีอากาศเย็น มีความชื้นและอุณหภูมิพอเหมาะ ส่วนที่นำมาบริโภคซึ่งถือกันว่าเป็นใบชาที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะเก็บเฉพาะส่วนยอดอ่อนของต้น คือ เฉพาะหน่ออ่อนและใบอ่อน 2 ใบแรกเท่านั้น ถ้าเป็นใบแก่กว่านั้นถือว่าเป็นใบชาที่มีคุณภาพด้อยลงไป ชาเขียวมาจากต้นชา (*Camellia sinensis*) ส่วนใบบริเวณยอด แหล่งผลิตชาเขียวอยู่จังหวัดทางภาคเหนือของไทย โดยเฉพาะจังหวัดเชียงราย กระบวนการผลิตชาเขียวหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจะนำไปอบไอน้ำทันทีเพื่อทำลายเอนไซม์พอลิฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) และเพื่อป้องกันการเกิดกระบวนการหมัก ก่อนนำไปตากแดดให้แห้ง ทำให้ใบชายังคงสีเขียวอยู่ ใบชาเขียวมีสารพอลิฟีนอล (polyphenols) ที่มีสมบัติเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีสารแคทีชิน (catechins) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เนื่องจากชาเขียวไม่ผ่านกระบวนการหมัก จึงยังคงรักษาสารเหล่านี้ไว้ได้ในปริมาณสูง มีรายงานว่า ใบชาเขียวมีปริมาณแคทีชินประมาณร้อยละ 15-30 ของน้ำหนักใบชา (Hara, 2001) ชาเขียวที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณกรดอะมิโนสูงแต่มีแทนนินต่ำ ชาเขียวมีรสชาติดูเฉพาะตัว มีรสฝาดน้อย มีกลิ่นหอมเฉพาะ สามารถนำมาปรุงแต่งสีและกลิ่นรสสำหรับผลิตภัณฑ์หลายๆ ชนิดได้ มีกลิ่นหอมและรสชาติดี

(1) ส่วนประกอบในชาเขียว

ชาเขียวนับเป็นเครื่องดื่มที่ผู้คนนิยมกันอย่างแพร่หลาย ชาเขียวเป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและสารพอลิฟีนอล (polyphenols) (Mukhtar and Ahmad, 2000) จะเป็นส่วนประกอบสำคัญถึงร้อยละ 36 ของใบชาแห้ง ส่วนประกอบอื่นๆ ของใบชาเขียวสดประกอบไปด้วยเมทิลแซนทีน (methylxanthines: including caffeine) กรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน (รวมทั้งวิตามินบี) และแร่ธาตุ สารที่สำคัญในกลุ่มของพอลิฟีนอลในชา คือ แคทีชิน (catechins) ซึ่งเป็นสารชั้นย่อยของฟลาโวนอยด์และเป็นสารตัวสำคัญเกี่ยวกับการต้านอนุมูลอิสระของร่างกาย

(2) ประโยชน์ของชาเขียว

มีงานวิจัยสนับสนุนว่า ส่วนประกอบในชาจะช่วยลดความดันโลหิต ไขมันในเส้นเลือด ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและช่วยทำลายแบคทีเรียในช่องปากที่เป็นต้นเหตุของฟันผุ ยิ่งไปกว่านั้นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความเข้มข้นสูงในชาจะช่วยยับยั้งการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจและมะเร็ง จากข้อมูลในปัจจุบันแนะนำว่า การบริโภคอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยลดการเกิดโรคหัวใจ เนื่องจากอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจะไปยับยั้งกระบวนการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (fat oxidation) (Erba *et al.*, 2005) ช่วยลดการเกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว (atherosclerosis) และลด

การเกิดโรคหัวใจ (Stangl *et al.*, 2006) ชาเขียวจะมีส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติในปริมาณสูง ในชาเขียวจะมีสารแคทีชินสูง ซึ่งช่วยในการเพิ่มการเผาผลาญพลังงานและไขมันซึ่งมีผลต่อการลดน้ำหนัก การวิจัยในคนพบว่า การดื่มชาเขียวช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญของร่างกายและเพิ่มการใช้พลังงานมากขึ้น แม้ว่าโดยทั่วไปแล้วใบชาจะประกอบด้วยคาเฟอีนร้อยละ 2.5 – 4.5 และประมาณร้อยละ 80 ของคาเฟอีนเป็นสารที่ละลายน้ำได้ จะถูกสกัดออกมาจากการชงชาในแต่ละครั้ง

2.5 ผลกระทบข้าวหุงสุกเร็ว

หลักการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วที่มีการเผยแพร่ ส่วนใหญ่จะเป็นการแปรรูปข้าวสารปกติหรือข้าวกล้อง ส่วนการแปรรูปข้าวเหนียวสุกเร็วนั้นยังไม่มีเอกสารเผยแพร่ ดังนั้นการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องจึงศึกษาจากหลักการในการเตรียมข้าวหุงสุกเร็ว ปกติการเตรียมข้าวหุงสุกจะใช้เวลาประมาณ 20 – 30 นาที จึงจะทำให้ข้าวสารหรือข้าวกล้องสุกมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคต้องการ ถ้าเป็นข้าวสารหนึ่งก็ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นกว่าปกติ อาจถึง 1 ชั่วโมง ดังนั้นนักวิจัยจึงพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปเป็นข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้เวลาเพื่อคั้นรูปเร็วขึ้นภายใน 5-15 นาที และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้บริษัทต่างๆ ผลิตเพื่อการค้าหลายรูปแบบที่ทำให้ได้ข้าวหุงสุกเร็วในเวลาและวิธีที่ต่างกันออกไป

ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถลดระยะเวลาในการเตรียมเพื่อบริโภคโดยพัฒนาเทคนิคทางกระบวนการผลิตที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดเจลลัดในชั้นบางส่วนแล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการเพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดโครงสร้างเป็นรูพรุนและรอยร้าว เพื่อให้เมล็ดข้าวดูดน้ำได้เร็วและคงสภาพของเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ไว้ ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจะมีวิธีการผลิตหลายแบบแต่มีหลักการสำคัญอยู่ที่ต้องมีการเพิ่มความชื้นของข้าว จากนั้นจะให้ความร้อนเพื่อให้เกิดเจลลัดในชั้นบางส่วนหรือทำให้ข้าวสุกก่อนนำไปทำแห้งโดยใช้ความร้อนและความเย็น (อรอนงค์, 2547)

2.5.1 ตัวอย่างกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็ว

วิธีที่ 1 นำข้าวสารมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องจนข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 แล้วต้มข้าว 8-10 นาที ทำให้ข้าวมีความชื้นเป็นร้อยละ 65-70 ทำให้เย็น จากนั้นเกลี่ยข้าวหุงสุกบนตะแกรงเพื่อผึ่งให้แห้งในตู้ที่มีลมร้อนอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เพื่อให้ข้าวหุงสุกแห้งมีความชื้นลดลงเป็นร้อยละ 8-14 โดยในการทำแห้งมีจุดสำคัญที่อุณหภูมิความร้อนต้องสูงพอที่จะทำให้ความชื้นระเหยจากผิวเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วกว่าการที่ความชื้นจะเคลื่อนจากภายในเมล็ดออกสู่บรรยากาศภายนอกเพื่อให้เนื้อเมล็ดข้าวหุงสุกมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจะได้คั้นรูปได้เร็วขึ้น

วิธีที่ 2 วิธีการให้ความร้อนโดยใช้พลังงานไมโครเวฟแทนการใช้ความร้อนปกติในกรรมวิธีการแปรรูปข้าวหุงสุกเร็ว โดยนำข้าวสารแช่น้ำจนมีความชื้นร้อยละ 25-30 ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟหรือความร้อนปกติหรือไอน้ำแล้วทำให้ข้าวมีความชื้นสูงขึ้นโดยแช่ในน้ำร้อน 66 องศาเซลเซียส หุงต้มด้วยพลังงานไมโครเวฟจนข้าวมีความชื้นร้อยละ 50 นำข้าวมาทำแห้งด้วยลมร้อนจนมีความชื้นร้อยละ 50 นำข้าวมาทำแห้งด้วยลมร้อนจนมีความชื้นร้อยละ 15 หรือน้อยกว่าแล้วใช้พลังงานไมโครเวฟให้ความร้อนต่อเพื่อให้เมล็ดข้าวร้าวและพองขึ้นอีกจะทำให้สามารถคืนรูปได้ภายในเวลา 5 นาที จากหลักการข้างต้นที่มีจุดประสงค์เพื่อทำให้ข้าวเกิดรูพรุนเพื่อให้ น้ำดูดซึมเข้าไปทำให้ข้าวคืนรูปได้ในลักษณะที่ผู้บริโภคยอมรับ

ตารางที่ 2.8 รูปแบบของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวหุงสุกเร็ว

รูปแบบ	วิธีการเตรียมก่อนบริโภค	บริษัทผู้ผลิต
ทิ้งให้คืนรูป	เติมน้ำร้อนหรือน้ำเดือดลงในถ้วยบรรจุข้าวหุงสุกเร็ว ทิ้งให้คืนรูป 1-5 นาที	Nissin's cup Rice
	ต้มน้ำเดือด ใส่ข้าวหุงสุกเร็วคนให้เข้ากัน ปิดฝา ยกจากเตา ทิ้งให้คืนรูป 5-7 นาที	Kraft – General
อุ่นให้คืนรูป	ต้มข้าวหุงสุกเร็วกับน้ำเดือด ลดความร้อนของเตาอุ่นโดยปิดหรือเปิดฝามือข้าว 5-10 นาที	Foods' minute Rice
ตุ๋นและอุ่นให้คืนรูป	ตุ๋นข้าวหุงสุกเร็วด้วยไฟอ่อน โดยใส่เนยสด มาร์การีน หรือน้ำมัน จนเคลือบข้าวหมด แล้วเติมน้ำ ต้มให้เดือด ปิดฝาและอุ่นอีก 10 นาที	Lipton's Rice & sauce and Uncle Ben's Product
ต้มในถุง	ต้มข้าวหุงสุกเร็ว(ที่บรรจุอยู่ในถุงที่มีรูพรุน) ในน้ำเป็นเวลา 10 นาที	Uncle Ben's Suzi Wan Product Rivina's Success Product
คืนรูปด้วยเตาไมโครเวฟ	ใส่ข้าวหุงสุกเร็วในถ้วยที่มีน้ำในปริมาณเหมาะสม ให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟ เป็นเวลา 5 – 10 นาที	Foods' Microwave Product MJB's and Kraft - General

ที่มา: Luh (1991) อ้างถึงใน อรอนงค์ (2547)

2.5.2 กรรมวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว (อรอนงค์, 2547)

ในช่วงเวลา 40 ปีที่ผ่านมา มีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการแปรรูปข้าวสารเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว และจดสิทธิบัตรไว้มากกว่า 10 วิธีการ ประกอบด้วย การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ออกแบบและดัดแปลงให้เหมาะสมต่อกรรมวิธีการแปรรูปในระดับการค้าอยู่หลายกรรมวิธีดังนี้

(1) **กรรมวิธีการแช่น้ำ-ต้ม-ไอน้ำ-ทำแห้ง** กรรมวิธีนี้ผลิตครั้งแรกโดยบริษัทเจเนอ-รอลฟู้ดส์ จำกัด มีขั้นตอนคือ นำข้าวสารมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง จนข้าวสารมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 แล้วต้มข้าว 8-10 นาที ทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 65- 70 เทน้ำทิ้ง ทำให้เย็นและล้างด้วยน้ำเย็น 1 – 2 นาที เกลี่ยข้าวหุงสุกบนตะแกรง เพื่อผึ่งให้แห้งในตูมที่มีลมร้อนอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป่าผ่านข้าวหุงสุกด้วยความเร็ว 200 ฟุตต่อนาที เพื่อให้ข้าวสุกมีความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 8 – 14 สภาวะในการทำแห้งนั้นมีจุดวิกฤตอยู่ที่อุณหภูมิลมร้อนที่ต้องสูงเพียงพอที่จะทำให้ความชื้นระเหยจากผิวเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วกว่าการที่ความชื้นที่เคลื่อนจากภายในเมล็ดข้าวหุงสุกออกสู่บรรยากาศภายนอก เพื่อให้เนื้อเมล็ดข้าวหุงสุกมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจะได้คืนรูปเร็ว หรืออาจจะให้ความร้อนเป็นระยะ 2 ครั้งหรือมากกว่า โดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็นระยะ จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกขยายปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และคืนรูปเป็นข้าวหุงสุกปกติได้ภายใน 10 – 13 นาที ต่อมา มีการพัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนการแปรรูปตลอดจนการใช้ข้าวชนิดอื่น นอกจากข้าวสาร เช่น ข้าวกล้อง ข้าวเหนียว และข้าวผสมธัญชาติและถั่วอื่นๆ โดยปรับปรุงวิธีการแช่น้ำ การต้ม การผ่านไอน้ำ และการทำให้แห้ง จนสามารถคืนรูปได้ภายในเวลา 5 นาที

(2) **กรรมวิธีการทำให้เมล็ดข้าวพองตัวและเกิดเจลลาตินในซ์** กรรมวิธีนี้ได้รับการจดสิทธิบัตรแล้ว การผลิตโดยนำข้าวสารมีความชื้นอยู่ร้อยละ 30 นำไปนึ่งไอน้ำภายใต้ความดันที่ประมาณ 10 -15 psi เป็นเวลา 5-20 นาที แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 8-14 เมล็ดข้าวจะหดตัวและมีลักษณะใส หรือใช้วิธีการทำแห้งเมล็ดข้าวด้วยความร้อนสูงก็จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุก มีรูพรุน ต่อมานำข้าวหุงสุกที่แห้งไปทำให้พองด้วยไอน้ำและลมร้อนที่ 200-260 องศาเซลเซียส อัตราความเร็วจากไอน้ำจะต้องเหมาะสมที่ทำให้เมล็ดข้าวหุงสุก พองขึ้น เมื่อคืนรูปข้าวหุงสุกนี้จะใช้เวลาเพียง 2-3 นาที นอกจากนี้บริษัทเจเนอโรลฟู้ดส์ จำกัด ใช้วิธีการเตรียมข้าวหุงสุกในหม้อนึ่งควบคุมความดันอย่างต่อเนื่อง จนมีความชื้นจากร้อยละ 30 เป็น 70 และข้าวสุกทั้งเมล็ด จากนั้นทำให้แห้งในเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนทั่วไป ซึ่งใช้เวลาเตรียมสั้นกว่าวิธีอื่น

(3) **กรรมวิธีการกดหรือบดข้าวหุงสุก** โดยใช้ข้าวเหนียว หรือข้าวที่ทำให้สุกแล้วระดับหนึ่ง

นำมาแช่น้ำ นึ่งไอน้ำ หรือทั้งแช่น้ำและนึ่งไอน้ำพร้อมกัน เพื่อให้ข้าวมีความชื้นร้อยละ 40 และข้าวสุก นํามากหรือบดให้แบนลงร้อยละ 30 -80 ของความหนาเดิม และทำให้แห้งให้เหลือความชื้นร้อยละ 10 – 14 ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ข้าวมีรูปนูนมาก

(4) **กรรมวิธีใช้ความร้อนแห้ง** ในการลดความชื้นของข้าวสาร และข้าวกล้องจากเดิมลง ร้อยละ 3 -4 ด้วยลมร้อนที่ 57 – 82 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 30 -60 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที เป็นเวลา 10 – 30 นาที ทำให้ข้าวหุงสุกได้ภายใน 10 นาที เนื่องจากความร้อนทำให้ผิวข้าวเป็นรอยจึงหุงต้มได้เร็วขึ้น ต่อมาผู้เสนอกรรมวิธีใช้ความร้อนแห้งกับข้าวกล้องที่อุณหภูมิสูงที่ 230 – 315 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวหุงสุกเร็วขึ้น โดยผ่านลมร้อนประมาณ 272 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วประมาณ 2,500 ฟุตต่อนาที ไปยังข้าวกล้องเป็นเวลา 17.5 วินาที เพื่อทำให้ผิวของข้าวกล้องร้าวและทำให้เย็นลงทันทีด้วยลมเย็น ทำให้เมล็ดข้าวเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่นและมีการพองตัวของเมล็ดเล็กน้อย ผิวข้าวเกิดรอยร้าวจึงหุงสุกเร็วขึ้นโดยใช้เวลาเพียง 15 นาที

(5) **กรรมวิธีการพองตัวจากเครื่องอัดแบบปืน (gun - puffing)** โดยนำข้าวสารมาปรับความชื้นให้เป็นร้อยละ 18-26 โดยความชื้นที่เหมาะสมอยู่ที่ร้อยละ 20 -22 ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 33 องศาเซลเซียส ใส่ข้าวสารในหม้อไอน้ำหรือเครื่องอัดพองแบบปืน ปิดฝาให้สนิทแน่น ลดความดันลงเป็น 1.5 นิ้วของปรอท เพื่อดึงอากาศและแก๊สที่ไม่ควบแน่นออกจากเมล็ดข้าวและไม่พองจนเสียโครงร่างอีกต่อไปจึงถึงขั้นทำให้พองด้วยการลดความดันอย่างรวดเร็ว ถึง 0.1 นิ้วปรอท เมื่อใส่ข้าวสู่เครื่องอัดที่คงสภาพสุญญากาศไว้ทั้งก่อนและหลังการพองตัว ทำให้ข้าวพองตัวอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นจึงนำข้าวที่พองไปทำให้แห้งจนมีความชื้นร้อยละ 15 ข้าวหุงสุกเร็วนี้จะคืนรูปได้โดยเติมนําร้อนเดือดภายใน 5 นาที วิธีการนี้ทำให้ข้าวพองขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

(6) **กรรมวิธีการทำแห้งเยือกแข็ง** กรรมวิธีการนี้จะเสียค่าใช้จ่ายแพงกว่าวิธีการทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อน และการพอง โดยนำข้าวมาหุงสุก จากนั้นแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบแผ่นสัมผัสในตู้ที่ควบคุมสภาพสุญญากาศ หรือสัมผัสโดยตรงกับตัวกลางให้ความเย็น เช่น ในโตรเจนเหลว นำข้าวหุงสุกแช่เยือกแข็งไปใส่ในตู้ทำแห้งแบบเยือกแข็ง ด้วยระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ทำให้ข้าวหุงสุกเยือกแข็งแห้งเร็วกว่าวิธีปกติของการทำแห้งเยือกแข็ง จนข้าวมีความชื้นร้อยละ 10-20 จึงนำมาทำแห้งต่อด้วยลมร้อนที่ 150-315 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ข้าวเป็นรูปนูนมากขึ้น ทำให้ข้าวคืนรูปได้เร็วขึ้น

(7) **กรรมวิธีการใช้สารเคมี** นอกจากการใช้ความร้อนในการทำให้ข้าวสุกแล้ว ยังมีวิธีการใช้สารเคมีเพื่อช่วยให้ข้าวสุกเร็วขึ้น หรือทำให้มีเนื้อสัมผัสและรสชาติดีขึ้น เช่น การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ การใช้เอนไซม์เฮมิเซลลูเลส การใช้สารประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นต้น กรรมวิธี

การแปรรูปข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้สารเคมี เริ่มจากนำข้าวมาแช่สารละลายฟอสเฟตหรือโพลิฟอสเฟต ที่พีเอช 7.6-8.2 อุณหภูมิ 20 – 30 องศาเซลเซียส แล้วนำขึ้นจากสารละลายฟอสเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05-0.5 โพลิแซ็คคาไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3-10 และสารช่วยลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.5 จนข้าวสุกร้อยละ 70 มีความชื้นร้อยละ 50-70 จึงต่อจนข้าวสุกจนสมบูรณ์ จากนั้นทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างกรรมวิธีการแปรรูป คือ นำข้าวสารมาแช่ในสารละลาย ไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่พีเอช 7.6 เทสารละลายออกไป คั้นข้าวในสารละลาย DSP ร้อยละ 0.3 น้ำตาลกลูโคสร้อยละ 0.5 และกลีเซอรอล โมโนสเตียเรตร้อยละ 0.25 เป็นเวลา 15 นาที แล้วนึ่งด้วยไอน้ำที่ 100 -120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทำให้แห้งจะได้ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปภายใน 5 นาที

(8) กรรมวิธีการใช้พลังงานไมโครเวฟ โดยนำข้าวสารแช่น้ำจนมีความชื้นร้อยละ 25-30 ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟหรือความร้อนปกติหรือไอน้ำ จากนั้นเพิ่มความชื้นในข้าวโดยแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส หุงต้มด้วยพลังงานไมโครเวฟจนข้าวมีความชื้นร้อยละ 50 นำข้าวมาทำให้แห้งด้วยลมร้อนจนข้าวมีความชื้นเหลือร้อยละ 15 หรือน้อยกว่า แล้วใช้พลังงานไมโครเวฟให้ความร้อนต่อเพื่อให้เมล็ดข้าวร้าว และพองขึ้นอีก จะทำให้สามารถคืนรูปได้ภายในเวลา 5 นาที และข้าวเมล็ดยาวใช้ 7.5 นาที แล้วทำให้เย็นด้วยน้ำเย็น นำเข้าเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดและหมุนเหวี่ยงด้วยแรง 10 x g และอุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส จนความชื้นสุดท้ายเป็นร้อยละ 6-10 ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้สามารถคืนรูปโดยคั้นกับน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อข้าว เท่ากับ 2.5 ต่อ 1 คนข้าวให้ทั่ว ปิดฝาหม้อ ยกจากเตา ทิ้งให้อุ่น 5-7 นาที จะได้ข้าวที่มีเนื้อสัมผัสดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

(9) กรรมวิธีการแปรรูปแบบผสม โดยนำข้าวสาร (ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 15.75) ล้างด้วยน้ำสะอาดและนึ่งด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยควบคุมให้เมล็ดข้าวมีความชื้นประมาณร้อยละ 50-75 และมีระดับการเกิดเจลาคีโนซ์น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 หลังจากนั้นนำข้าวไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิเพื่อให้น้ำแข็งเกิดการละลายตัว 1 ชั่วโมง และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพื่อลดปริมาณความชื้นลงเป็นเวลา 32 นาที จากนั้นทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายลงมาที่ร้อยละ 7-10 และมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.4-0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การคืนรูปโดยใช้วิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที ใช้อัตราส่วนข้าวหุงสุกเร็วต่อ

น้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1.5 โดยน้ำหนัก หรือการเติมน้ำต้มเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที ใช้อัตราส่วนข้าวหุงสุกเร็วต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 500 โดยน้ำหนัก (วุฒิชัยและสุภาภรณ์, 2548)

2.6 กลไกการเกิดเจลลาตินในเซชัน

ปฏิกิริยาเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแป้งที่สำคัญ ได้แก่

(1) การเกิดเจลลาตินในเซชัน (gelatinization) โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ที่ชอบน้ำอยู่ ดังนั้นจึงสามารถรับน้ำเข้าไว้ในโมเลกุลได้ตามสัดส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ภายใต้สภาวะปกติของแป้งจะมีปริมาณความชื้นร้อยละ 12-14 แต่เมื่อเติมน้ำลงไปจะซึมผ่านเข้าไปในเม็ดแป้งโดยไม่รบกวนอนุภาคของเม็ดแป้งและปริมาณที่เม็ดแป้งรับได้สูงสุด คือ ปริมาณร้อยละ 30 การพองตัวของเม็ดแป้งนี้จะไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล จากนั้นเม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏให้เห็น อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส เรียกว่า อุณหภูมิช่วงการเกิดเจลลาตินในเซชัน ที่สภาวะนี้เม็ดแป้งยังคงมีสภาพอยู่ได้โดยไม่เกิดการแตกออก แต่ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส หรือมีการกวนอย่างรุนแรงจนเม็ดแป้งแตกออก โมเลกุลของแป้งจะรวมเข้ากับตัวกลางที่ล้อมรอบอยู่ทำให้เกิดลักษณะเหลวคล้ายแป้งเปียก (starch paste)

ตารางที่ 2.9 อุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	อุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในเซชัน (องศาเซลเซียส)
ข้าวสาลี	26	43-65
ข้าวบาร์เลย์	22	56-62
ข้าวโพด	28	62-70
ข้าวโอ๊ต	27	56-62
ข้าวเจ้า	18	61-78
ข้าวเหนียว	1	55-65
ข้าวฟ่าง	25	69-75
มันฝรั่ง	23	58-66

ที่มา: ดัดแปลงจาก Swinkels (1985)

(2) การเกิดเจล เมื่อตั้งส่วนผสมของแป้งซึ่งเป็นของเหลวข้นไว้ โดยปราศจากการรบกวน จะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของแป้งและเกิดโครงร่างแหสามมิติขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โมเลกุลของแอมิโลสซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจนกับ โมเลกุลของน้ำ ไกลโคเจนซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตและโครงสร้างมีสาขามากจะไม่เกิดเจล ส่วน โครงสร้างของแอมิโลเพกตินจะเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลได้ยาก ยกเว้นเมื่อแป้งมีความชื้นเกิน ร้อยละ 30 จึงทำให้โมเลกุลซึ่งมีสาขาของแอมิโลเพกตินนั้นรวมยึดเข้าด้วยกันได้ แต่แป้งโดยทั่วไป มีแอมิโลสเป็นส่วนประกอบอยู่ก็จะสามารถเกิดเจลได้ดีแม้จะมีแอมิโลสที่ความเข้มข้นต่ำ

(3) การเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) สามารถเกิดได้ทั้งในเจลและสารแขวนลอยซึ่งมี ความชื้นหนืดสูง เมื่อถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็วจะเกิดเป็นการรวมกลุ่มของโมเลกุลแป้งที่แน่นมาก ขึ้น เกิดเป็นผลึกเล็กๆและตกตะกอนทำให้สมบัติของเจลเปลี่ยนแปลงไป โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มี ผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน คือ อุณหภูมิกับขนาดและรูปร่างโมเลกุลของแป้ง ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ เกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วมากที่สุดจะอยู่ในช่วง 0 องศาเซลเซียส

2.7 คุณภาพการหุงต้มของข้าว

คุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าว (cooking and eating quality) เป็นคุณภาพที่ ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ตามความชอบส่วนบุคคล เช่น บางคนชอบข้าวแข็ง ร่วนขึ้น หม้อ บางคนชอบข้าวนุ่มเหนียว คุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าวนี้อาจสามารถคาดคะเน ได้โดยพิจารณาจากสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าว (grain chemical properties) ปัจจัยที่ทำให้ข้าวพันธุ์ ต่าง ๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

(1) ปริมาณแอมิโลสปรากฏ (apparent amylose content) ถึงแม้ว่าแป้งข้าวเหนียวจะมี ปริมาณแอมิโลเพกตินมากกว่าแอมิโลส แต่โดยทั่วไปนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยใช้ปริมาณ แอมิโลสเป็นหลัก แสดงค่าเป็นร้อยละของแอมิโลส ดังนั้นส่วนที่เหลือจะเป็นร้อยละของ แอมิโลเพกติน อัตราส่วนของแอมิโลเพกตินและแอมิโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณภาพ แตกต่างกัน เช่น แป้งข้าวเหนียวมีแอมิโลเพกตินเป็นหลัก หรือมีแอมิโลสในปริมาณน้อย ใน แป้งข้าวเจ้าจะมีแอมิโลสอยู่ประมาณร้อยละ 10-34 ปริมาณแอมิโลสในเมล็ดข้าวเป็นปัจจัยหลักที่ ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะนุ่มเหนียวลดลง หรือร่วนมากขึ้น เนื่องจากการเกิดการคืนตัว (retrogradation) ของแอมิโลสที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้ว

ตารางที่ 2.10 การจัดแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณแอมิโลสและลักษณะของข้าวสุก

ประเภทข้าว	ปริมาณแอมิโลส	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวแอมิโลสต่ำ	10-19	เหนียวนุ่ม
ข้าวแอมิโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วน ไม่แข็ง
ข้าวแอมิโลสสูง	25-34	ร่วนแข็ง

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจะมีผลต่อคุณภาพของข้าวที่หุงได้ ถ้าใส่น้ำน้อยเกินไปข้าวที่ได้จะมีลักษณะแข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวที่มีแอมิโลสสูงต้องการน้ำมาก และเมื่อข้าวสุกแล้วจะได้ข้าวสวย ร่วนฟู ไม่เหนียวติดกันจึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากกว่า หรือข้าวขึ้นหม้อดีกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ ส่วนข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสดำนั้นข้าวสวยที่หุงได้มีลักษณะเหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนไม่ขึ้นหม้อ

(2) ความคงตัวของแป้งสุก ถึงแม้ว่าแอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของข้าวสุก แต่ในระหว่างข้าวที่มีแอมิโลสเท่ากันอาจมีความแข็งของเมล็ดข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของแป้งสุกมีการคั่นตัวไม่เท่ากันทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนต่างกัน

(3) ระยะเวลาในการหุงต้ม การต้มเมล็ดข้าวให้สุกอาจใช้เวลา 14-24 นาที เมล็ดข้าวสุกต้องไม่มีไตของแป้งดิบภายในเมล็ดระยะเวลานี้อยู่กับอุณหภูมิของแป้งสุก

(4) วิธีการหุงต้ม วิธีหุงต้มยังมีส่วนทำให้คุณภาพข้าวสุกต่างกันอีกด้วย เช่น การหุงต้มข้าวที่มีแอมิโลสสูงมาก ใส่น้ำน้อยจะแข็งกระด้างมาก แต่ใส่น้ำมากจะช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้นและทำให้การขยายปริมาตรมากขึ้นด้วย การหุงข้างโดยรินน้ำทิ้ง (เช็ดน้ำ) เป็นการทำให้เมล็ดข้าวมีโอกาสดูดน้ำได้มากและทำให้ข้าวแข็งกระด้าง ลดน้อยลง เพราะระหว่างการหุงข้าวหรือทิ้งข้าวให้ระอุบนเตาไฟเต็มที่เพื่อไล่ความชื้นที่มีมากเกินไป ข้าวยังคงได้รับความร้อนสูง มีผลทำให้เมล็ดสุกได้ หากการรินน้ำกระทำเมื่อข้าวค่อนข้างสุกก็อาจทำให้ข้าวแฉะได้ โดยเฉพาะข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ (ข้าวหอมมะลิหรือข้าวพันธุ์ดอกมะลิ105) จะมีโอกาสแฉะได้ง่าย ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสต่ำจึงควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ในทำนองเดียวกันข้าวเหนียวซึ่งมีแอมิโลสน้อยมากหรือไม่มีเลย ก็ควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำเช่นกัน ข้าวพันธุ์ดีที่รัฐบาลส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในปัจจุบัน จะมีคุณภาพแตกต่างกันอย่างไรก็ยังคงอยู่ในข้าวเจ้า 3 กลุ่ม ตามปริมาณแอมิโลส หรือเรียกทั่วไปว่า ข้าวสุกนุ่มเหนียว ข้าวสุกอ่อน ข้าวสุกร่วนแข็ง (ขึ้นหม้อ)

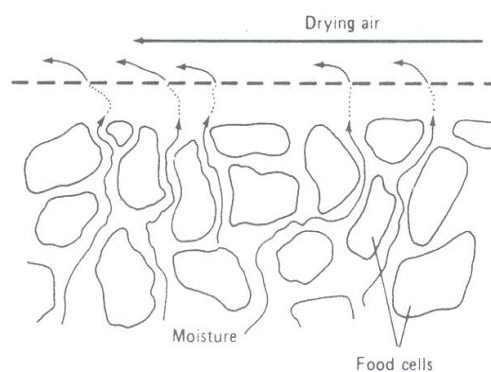
(5) การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก ในระหว่างหุงต้ม เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าวบางพันธุ์ ที่จะช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากเมล็ดข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายเมล็ดข้าวสุกจะช่วยข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น และยังช่วยให้ข้าวนุ่มขึ้นมากเพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้นไม่อัดกันแน่น ด้วยเหตุนี้ข้าวพันธุ์บาสมาติ 370 (Basmati 370) ซึ่งเป็นข้าวที่มีเอมิโลสปานกลางมีการยืดตัวดีมากซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดตะวันออกกลาง

(6) กลิ่นหอม ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด มีรายงานการวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่ได้จากการหุงข้าวโคชิฮิการิ (koshihikari) ของญี่ปุ่น พบว่า มีสารให้กลิ่นอยู่กว่าร้อยชนิด ซึ่งแต่ละสารจะมีกลิ่นแตกต่างกัน จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาปลูกต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในช่วงเดือนมิถุนายนถึงมกราคมที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี พบว่า ข้าวสวยยังคงมีกลิ่นหอม แม้ว่าข้าวที่ปลูกล่าในระหว่างเดือนธันวาคมและเก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคมและเมษายนในปีถัดมา เมล็ดข้าวจะมีโปรตีนสูงกว่าข้าวที่ปลูกในช่วงอื่น และข้าวสวยที่ได้จะมีคะแนนกลิ่นหอม ความเหนียว ความเลื่อมมันและความนุ่มลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกก่อนหน้านี้

2.8 กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

2.8.1 กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (วิไล, 2545)

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านพิมพ์อากาศ และถูกตัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : วิไล (2545)

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอลึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสุงและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อาหารแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่ไอน้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกต่อไปนี้ (1) การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี (2) การแพร่ของของเหลวเนื่องจากความต่างของความเข้มข้นของตัวละลानในอาหารส่วนต่างๆ (3) การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร (4) ความต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

อาหารแบ่งออกเป็นอาหารที่ไวต่อความชื้น (hygroscopic) และอาหารที่ไม่ไวต่อความชื้น (non-hygroscopic) อาหารประเภทที่ไวต่อความชื้นเป็นอาหารที่มีค่าความดันไอย่อยแตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ส่วนอาหารที่ไม่ไวต่อความชื้นมีค่าความดันไอกึ่งที่แม้ว่าจะมีความชื้นแตกต่างกัน เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้นๆ ตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก หลังจากนั้นจะเป็นช่วงการทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกทางผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ เรียกช่วงเวลานี้ว่าช่วงอัตราเร็วคงที่ (constant rate period) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต (critical moisture constant) แต่ในทางปฏิบัติ ผิวหน้าของอาหารจะค่อยๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันและอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อยๆ ลดลง ในช่วงของอัตราเร็วคงที่ จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้งและอัตราการทำให้แห้ง ลักษณะที่สำคัญของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ ได้แก่ ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ฟิล์มอากาศที่อยู่รอบๆ อาหารจะกีดขวางการถ่ายเทความร้อนและไอน้ำระหว่างการทำให้แห้ง ความเร็วของอากาศหรือลมจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไปไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหารและยังคงอยู่รอบๆ อาหาร ทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอและอัตราการทำให้แห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำหรือความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้อัตราเร็วในการระเหยและการทำให้แห้งลดลง

เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำกว่าความชื้นวิกฤตอัตราการทำให้แห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ที่ความชื้นสมดุลหรือที่เรียกว่าเป็นช่วงอัตราลดลง อาหารที่ไม่ไวต่อความชื้นจะมีช่วงอัตราลดลงเพียงช่วงเดียว ในขณะที่อาหารที่ไวต่อความชื้น มีสองช่วงโดยในช่วงแรกกระบวนการระเหยจะเข้ามาในอาหารโดยน้ำจะแพร่ผ่านจากอาหารแข็งเข้าไปยังอากาศแห้งและหยุดลงเมื่อระนาบของอาหาร

ระเหยเคลื่อนที่เข้ามาถึงจุดศูนย์กลางของอาหารและความดันย่อยของน้ำลดต่ำกว่าความดันไออิ่มตัว ช่วงที่ 2 จะเกิดขึ้นเมื่อความดันย่อยของน้ำลดต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวและเกิดการทำให้แห้งโดยการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร ในช่วงอัตราลดลง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าจึงแห้ง ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำให้แห้งในอาหารบางชนิด เช่น การทำให้แห้งเมล็ดธัญพืช ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าความชื้นวิกฤต ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการทำให้แห้งจะเปลี่ยนไปในช่วงอัตราลดลง ปัจจัยที่สำคัญในช่วงแรกจะคล้ายคลึงกับในช่วงอัตราเร็วคงที่ แต่อัตราการถ่ายเทมวลจะค่อยๆ กลายเป็นปัจจัยที่ควบคุมการทำให้แห้งที่สำคัญขึ้น

2.8.2 การทำให้แห้งโดยการแช่เยือกแข็ง (freeze-drying)

เป็นกระบวนการทำให้แห้งในสภาพที่น้ำถูกทำให้ออกจากวัตถุดิบด้วยกรรมวิธีที่เรียกว่า การระเหิด (sublimation) ซึ่งจะมีการระเหิดของน้ำแข็งไปเป็นไอน้ำโดยตรงโดยไม่เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวในสภาพสูญญากาศ การใช้อุณหภูมิไม่สูง อาหารอบแห้งที่ได้จะมีทำให้รูปร่าง คุณภาพ ขนาดและคุณค่าทางอาหาร ใกล้เคียงกับอาหารเริ่มต้น เมื่อนำไปเติมน้ำเพื่อคืนรูป (rehydration) ก็จะได้อาหารที่เหมือนของสดได้คุณภาพใกล้เคียงกับอาหารก่อนทำการทำให้แห้งมากที่สุดในเวลาอันสั้น แต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง วิธีนี้เป็นวิธีที่ทำให้ปริมาณน้ำลดลงไปอย่างมาก เมื่อเทียบกับวิธีการลดปริมาณน้ำในอาหารด้วยหลักการอื่น เช่น การแยกเชิงกล (การหมุนเหวี่ยงและการกรอง) การทำให้ของเหลวเข้มข้นด้วยเมมเบรน และการอบ ซึ่งวิธีเหล่านี้เป็นการลดปริมาณน้ำออกจากอาหารในปริมาณที่ไม่มาก

วัตถุประสงค์หลักของการทำให้แห้งคือเพื่อยืดอายุการเก็บอาหาร โดยอาศัยการลดปริมาณน้ำจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์เพื่อผลิตอาหารที่มีน้ำหนักและปริมาตรลดลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

○ ทฤษฎี

ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็ง ของเหลวและแก๊สของน้ำเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปอาหารหลายชนิด เช่น การทำให้เข้มข้น การอบแห้ง การแช่เยือกแข็ง การอบแห้งแบบระเหิดสามารถอธิบายความสัมพันธ์นี้ได้โดยใช้แผนภาพวัฏภาคหรือเฟสไดอะแกรม (phase diagram) ของน้ำ ขั้นตอนแรกของการอบแห้งแบบระเหิดคือการแช่เยือกแข็งอาหารในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบดั้งเดิม ชนิดของเครื่องมือ ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหาร อาหารชิ้นเล็กๆจะถูกแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับเซลล์ของอาหาร มีการใช้

การแช่เยือกแข็งแบบช้ากับอาหารเหลวเพื่อให้เกิดโครงข่ายของผลึกน้ำแข็งเพื่อเป็นช่องให้น้ำเคลื่อนที่ได้

ถ้าความดันไอของอาหารต่ำกว่า 4.58 ทอร์ (610 ปาสกาล) และน้ำเกิดการเยือกแข็ง เมื่ออาหารได้รับความร้อน น้ำแข็งจะระเหิดไปเป็นไอน้ำทันทีโดยไม่ผ่านการละลาย ไอน้ำจะถูกกำจัดออกจากอาหารอย่างต่อเนื่องด้วยการรักษาความดันในตู้ให้ต่ำกว่าความดันไอที่ผิวของน้ำแข็ง ไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศและกลั่นตัวบนขดลวดทำความเย็น เมื่อกระบวนการทำแห้งดำเนินต่อไป ผิวหน้าของการระเหิดจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหาร ความร้อนแฝงของการระเหิดจะเคลื่อนที่ผ่านอาหารไปยังผิวหน้าของการระเหิดหรือเกิดขึ้นในอาหารถ้าใช้ไมโครเวฟ ไอน้ำจะเคลื่อนที่และถูกกำจัดออกไปจากอาหารโดยผ่านช่องน้ำแข็งที่ระเหิดไป การทำแห้งอาหารจะเกิดขึ้นใน 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกโดยการระเหิดจนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 15 (น้ำหนักเปียก) และขั้นตอนที่ 2 คือการทำแห้งโดยการกำจัดน้ำที่ยังเป็นของเหลวจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 2 (น้ำหนักเปียก) การกำจัดน้ำเกิดขึ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องทำแห้ง จนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องโดยยังรักษาระดับความดันต่ำอยู่

การเกิดสภาวะคล้ายแก้ว (glass vitreous) จากการแช่แข็งในอาหารเหลวบางชนิด เช่น น้ำผลไม้หรือน้ำกาแฟสกัดเข้มข้น ทำให้การถ่ายเทไอน้ำเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงมีการอบแห้งแบบระเหิดอาหารเหลวในลักษณะโฟมภายใต้สุญญากาศ (vacuum puff freeze drying) หรือทำแห้งน้ำผลไม้พร้อมกับกาก วิธีทั้งสองจะทำให้เกิดช่องต่อเนื่องในอาหารเพื่อให้ไอน้ำสามารถระเหยออกไปได้ ส่วนวิธีอื่นจะเป็นการปั่นน้ำผลไม้เยือกแข็งให้ละเอียดเป็นเม็ดเล็ก ซึ่งจะทำแห้งได้เร็วกว่าและควบคุมได้ง่ายกว่าอนุภาคของอาหารแห้ง

อัตราการทำแห้งขึ้นกับความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนของอาหารมากที่สุดและรองลงมาขึ้นกับความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำ(การถ่ายเทมวล) จากผิวหน้าของการระเหิด

○ ข้อดีของอาหารแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

- (1) มีขนาดและลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับอาหารสด เนื่องจากอาหารทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่หดตัวในระหว่างกระบวนการทำแห้ง
- (2) มีน้ำหนักเบา เพราะการทำแห้งเยือกแข็ง สามารถลดความชื้นลงได้ร้อยละ 75-90 และการที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรเท่าเดิม จึงทำให้อาหารแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความหนาแน่นต่ำ
- (3) การดูดน้ำกลับของอาหารแห้งแบบแช่เยือกแข็งรวดเร็วและสมบูรณ์ และเมื่อดูดน้ำกลับแล้วอาหารมีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารสด
- (4) กลิ่นของผลิตภัณฑ์คงเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากโมเลกุลของสารให้

กลืนรสจะเคลื่อนที่แพร่เข้าไปช้า เพราะอยู่ในโครงสร้างที่มีความเข้มข้นสูง

(5) คุณค่าทางอาหารคงเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงเพราะเป็นการทำแห้งในสถานะสุญญากาศ

(6) ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บยาวนาน เนื่องจากอาหารทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความชื้นต่ำสามารถเก็บได้เป็นเวลากว่า 1 ปี ในภาชนะที่เหมาะสม

(7) ไม่จำเป็นต้องมีการใช้สารกันเสีย

(8) เป็นผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการรับประทานเพราะอยู่ในภาชนะบรรจุ ใช้เวลาสั้นและง่ายในการนำอาหารทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมารับประทาน โดยอาจรับประทานทันทีหรือเพียงเติมน้ำเย็นหรือน้ำร้อน อาหารก็จะคืนรูปสามารถนำมารับประทานได้ทันที

○ ข้อจำกัดของอาหารแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

(1) อาหารแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความเปราะและแตกหักง่าย จึงควรระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายและการบรรจุอาหารในภาชนะ

(2) วิธีการทำแห้งเยือกแข็งเป็นวิธีที่ทำให้ผิวอาหารเปิดและมีรูพรุนในอาหาร ถ้ามีออกซิเจนเข้าไปสัมผัสกับไขมันในอาหารก็จะเกิดการเหม็นหืนได้ หรือถ้ามีความชื้นเข้าไปในอาหารก็เป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์ในอาหารเจริญเติบโตและทำให้อาหารเสียได้ง่ายเช่นเดียวกับอาหารสด

(3) ภาชนะบรรจุของอาหารทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต้องเป็นภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทสามารถกันการเข้าออกของแก๊สออกซิเจนและความชื้นได้ นอกจากนั้นยังอาจต้องบรรจุแก๊สเฉื่อยเข้าไปในภาชนะบรรจุด้วย

○ ผลกระทบต่ออาหาร

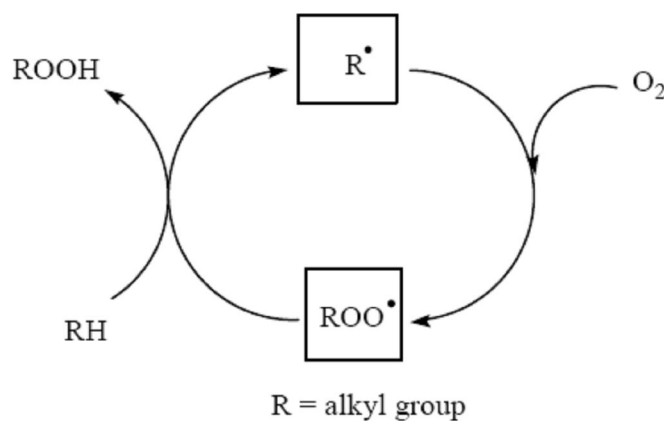
ถ้ามีการบรรจุอย่างถูกต้องเหมาะสม อาหารอบแห้งแบบระเหิดจะมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลากว่า 12 เดือน โดยที่ยังคงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการสูงมาก สารหอมระเหยจะไม่อยู่ในน้ำบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์แข็ง ดังนั้นกลิ่นจึงไม่หลุดไปในไอน้ำที่ระเหิดออกไปจากน้ำแข็งแต่จะยังคงอยู่ในอาหาร เป็นผลทำให้ร้อยละ 50-100 ของกลิ่นยังคงอยู่

ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารอบแห้งแบบระเหิดจะยังคงใกล้เคียงวัตถุดิบมากเนื่องจากเกิดการหดตัวหรือเกิดเปลือกแข็งน้อยมาก โครงสร้างที่เป็นรูพรุนนี้ทำให้เกิดการคืนตัวอย่างรวดเร็วเมื่อเติมน้ำ แต่โครงสร้างดังกล่าวจะเปราะบางและแตกหักง่ายมาก จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ น้อยมาก อย่างไรก็ตามโครงสร้างที่เป็นรูพรุนอาจทำให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ง่าย และทำให้ไขมันเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ จึงจำเป็นต้องบรรจุอาหารในภาชนะที่บรรจุแก๊สเฉื่อย มี

การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันและกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) น้อยมากระหว่างการอบแห้งแบบระเหิดและเกิดการสูญเสียวิตามินในระดับต่ำมาก อย่างไรก็ตามการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการเตรียมผลิตภัณฑ์อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านโภชนาการของอาหาร

2.9 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) (นงนภัส, 2551)

อนุมูลอิสระ (free radical) คือ โมเลกุลหรืออนุภาคที่ไม่เสถียรเนื่องจากมี หรือขาด อิเล็กตรอน (electron) ไป 1 ตัว ปกติธาตุต่างๆ ที่อยู่ในโมเลกุลที่เสถียรจะต้องมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนคู่ ในกรณีที่มีการสูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนมาอีกหนึ่งตัว จะทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร สำหรับร่างกายของคนเรานั้นความไม่เสถียรของอนุมูลอิสระถือว่าเป็นปัญหาหรือสาเหตุที่เป็นอันตราย เนื่องจากอนุมูลอิสระจะไปแย่งอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ มาเป็นทอดๆ เว้นแต่จะรวมตัวกันกับอนุมูลอิสระด้วยกันเองเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียรมากขึ้น วงจรการเกิดอนุมูลอิสระดังรูปที่ 2.2

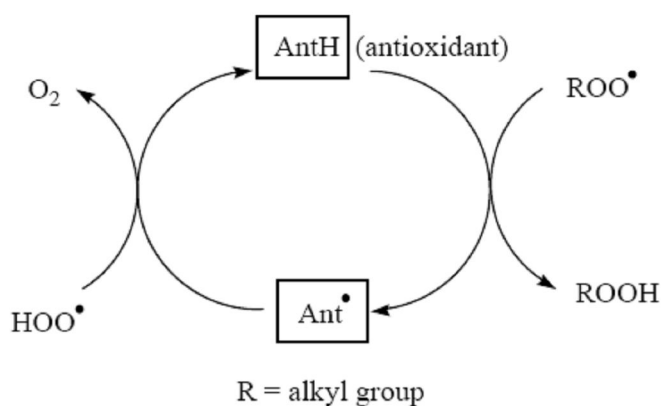


รูปที่ 2.2 วงจรการเกิดอนุมูลอิสระ
ที่มา : นงนภัส (2551)

อนุมูลอิสระมีหลายชนิด แต่ที่พบมากในร่างกายคนเราได้แก่

- (1) O_2^- – Superoxide ส่วนมากจะเกิดจากออกซิเจนในร่างกายหรือโอโซน
- (2) $HO^\bullet$ – Hydroxyl radical เกิดจากสภาวะที่เป็นมลพิษซึ่งจะมี H_2O_2 (hydrogen peroxide)
- (3) $ROO^\bullet$ – Peroxyl radical เกิดจากสารประกอบพวก peroxide เช่น H_2O_2 (hydrogen peroxide) หรือ $RO-OR$ (alkyl peroxide)
- (4) $ON^\bullet$ – Nitric oxide พบในอากาศที่เป็นมลพิษ
- (5) $ONOO^\bullet$ – Peroxynitrite เกิดจากการรวมตัวกันของ superoxide กับไนตริกออกไซด์ (nitric oxide)

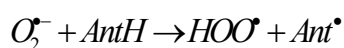
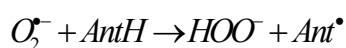
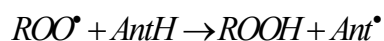
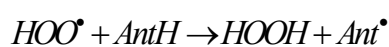
นอกจากนี้แล้วยังมีสารต่างๆ อีกมากมายที่เกิดจากการรวมกันของอนุมูลอิสระที่กล่าวมาข้างต้น แหล่งที่มาของอนุมูลอิสระที่สร้างปัญหาให้กับร่างกายคนเรามี 2 แหล่ง คือ (1) แหล่งภายในร่างกาย ได้แก่ ออกซิเจน (2) แหล่งภายนอกในร่างกาย ได้แก่ มลพิษในอากาศ โอโซน ไนโตรสออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่น คาร์บอนหรือ อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่ม หรืออาหารที่มีธาตุเหล็กมากกว่าปกติ แสงแดด ความร้อน รังสีแกมมา และยาบางชนิด เช่น paracetamol, doxorubicin, penicillamine เป็นต้น อย่างไรก็ตามอนุมูลอิสระที่เป็นอันตรายต่อร่างกายเหล่านี้ สามารถถูกกำจัดไปได้ด้วยสารบางชนิดที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยสารต้านอนุมูลอิสระนี้จะไปจับกับอนุมูลอิสระทำให้เกิดเป็นโมเลกุลที่เสถียร แสดงวงจรการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : นงนภัศ(2551)

สามารถเขียนสมการแสดงการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ดังนี้

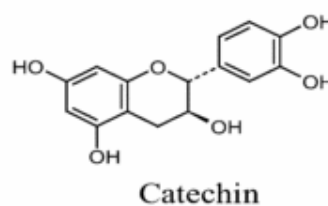
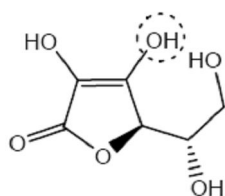
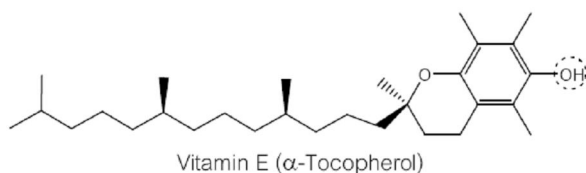


ร่างกายคนเรามีกลไกการกำจัดอนุมูลอิสระได้ 2 วิธี ดังนี้

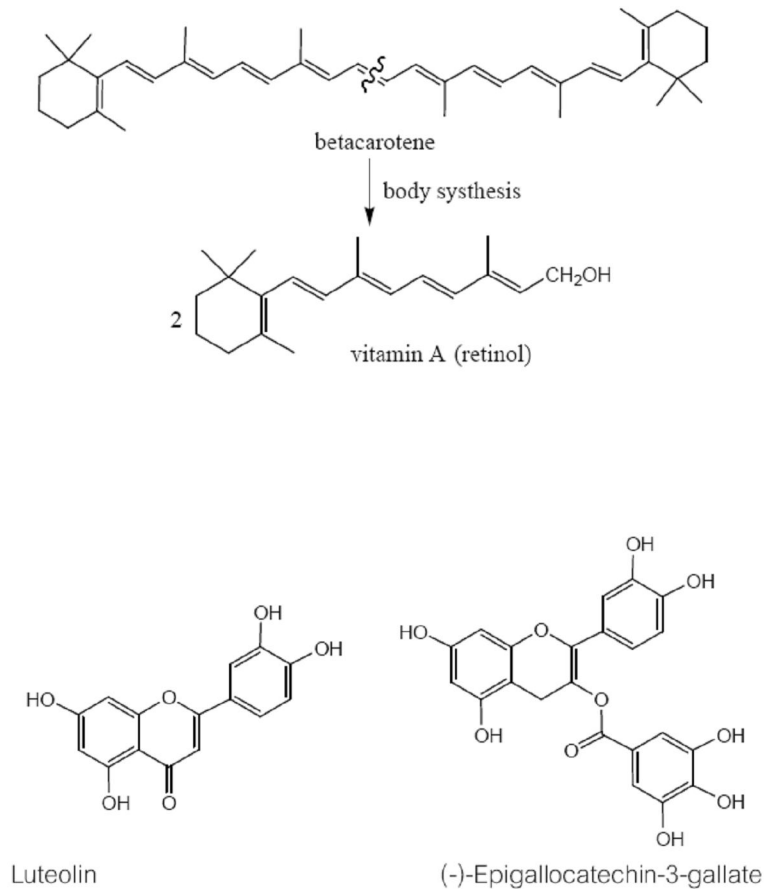
(1) โดยการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) ต่างๆ ในร่างกาย เช่น superoxide dismutase (SOD), superoxide reductase (SORs), catalase (CatFe(II).H₂O₂ complex และ CatFe(III).H₂O₂ complex), thioredoxin reductase (Trx), glutathione peroxidase เป็นต้น โดยเอนไซม์เหล่านี้จะไป

จับกับอนุมูลอิสระ เช่น superoxide หรือ nitric oxide เป็นการตัดวงจรการสร้างอนุมูลอิสระในร่างกายได้ อย่างไรก็ตามเอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ในร่างกายนั้นมีปริมาณจำกัด ฉะนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งภายนอกร่างกายเพื่อรักษาระบบสมดุลต่างๆ ในร่างกายให้ดำเนินต่อไปได้อย่างปกติ

(2) โดยอาหารหรือยาที่รับประทานเข้าไป เช่น วิตามินอี (vitamin E) เป็นสารที่ละลายได้ดีในน้ำมันจึงพบมากในน้ำมันพืชต่างๆ วิตามินซี (vitamin C) มีมากในพืช ผักสีเขียวและผลไม้รสเปรี้ยวพวก ตำลึง ผักบุ้ง พริกหยวก ส้ม มะนาวและสับปะรด เบตาแคโรทีน (β -carotene) รวมทั้งวิตามินเอ ระบบการทำงานของร่างกายสามารถเปลี่ยน β -carotene เป็น vitamin A ได้ มีมากในผักผลไม้ที่มีสีเหลืองส้ม พวกมะละกอสุก มะเขือเทศ ฟักทอง แครอทและผักใบเขียวพวกตำลึง ผักบุ้ง บรอกเคอรี่ อนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ (flavonoid derivatives) มักพบมากในพืชจำพวกชา กาแฟ โดยเฉพาะใบชาเขียวและเมล็ดกาแฟสด สารประกอบซีลีเนียม (selenium-Se complex) จะอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนกับเอนไซม์ในร่างกายคือ selenium-glutathione peroxidase (SeGPx) ช่วยลดอัตราความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด ลำไส้และต่อมลูกหมาก (ถ้าร่างกายมีธาตุซีลีเนียมมากเกินไปจะเป็นอันตรายได้ ในกรณีที่ได้รับธาตุซีลีเนียมเข้ามาโดยตรง) พบมากในอาหารพวก ปู ปลา กุ้ง หอย เนื้อแดง เนื้อไก่ ไข่ กระเทียม เมล็ดดอกทานตะวัน และถั่วชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ (ต่อ)
ที่มา : นงนภัส (2551)

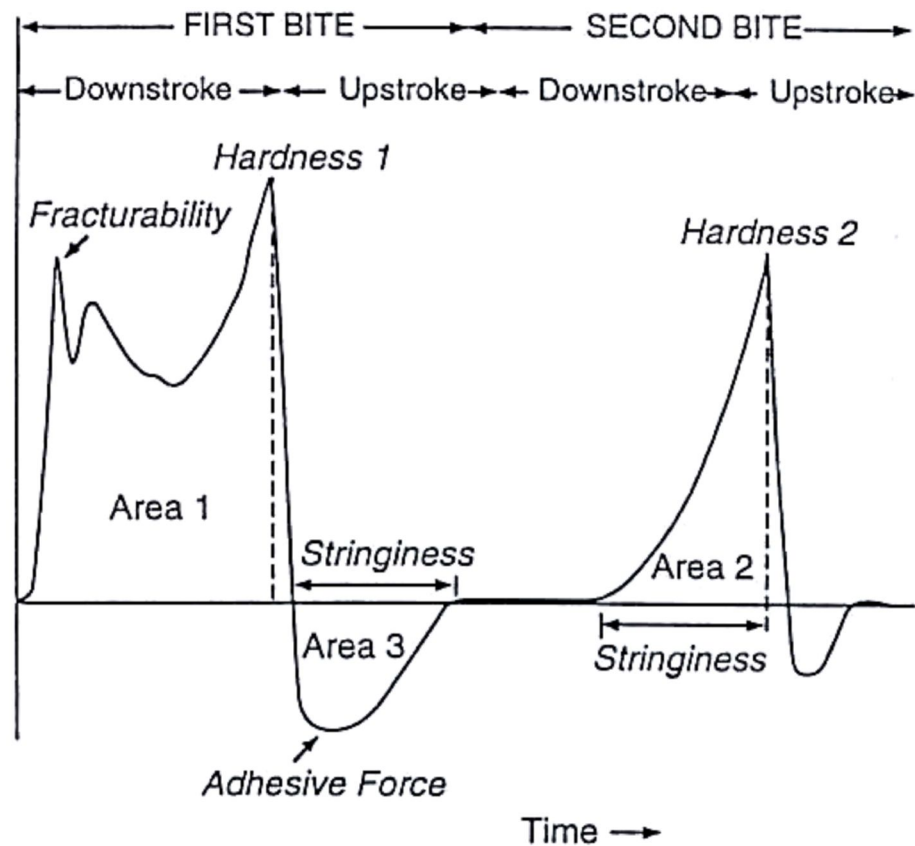
2.10 ความสำคัญของเนื้อสัมผัสในอาหาร

เนื้อสัมผัสอาหารใช้เป็นตัวชี้ถึงลักษณะของส่วนประกอบและโครงสร้างภายในอาหารซึ่งอธิบายหรือแสดงผลออกมาในรูปแบบของพฤติกรรมการไหลหรือการสูญเสียรูปร่างของอาหารจากแรงกลจากการบดเคี้ยวหรือการกดทับของแรงจากเครื่องมือ (Bourne, 1978) ความสำคัญของเนื้อสัมผัสในอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) ใช้ประเมินแรงต้านทานของผลิตภัณฑ์ต่อแรงทางกลที่มากระทำ เช่น กระบวนการในระหว่างการเก็บเกี่ยว (2) ใช้วิเคราะห์สมบัติของการไหลของผลิตภัณฑ์อาหาร ในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา (3) ใช้เป็นตัวแทนในการกำหนดพฤติกรรมในการเคี้ยวอาหารของผู้บริโภค

2.10.1 การวิเคราะห์โครงสร้างเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

การวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA โดยใช้เครื่องมือนี้จะคล้ายกับการทำโครงสร้างเนื้อสัมผัส (texture profile) ด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส กล่าวคือจะมีการพรรณนาคำศัพท์เกี่ยวกับเนื้อสัมผัสของอาหารโดย TPA หรือการทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสโดยวิธีอิมมิเททีฟ (imitative methods) จะเป็นการวัดค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสของอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงมากระทำ เป็นวิธีการทดสอบที่มีกลไกเลียนแบบจังหวะการบดเคี้ยวอาหารของมนุษย์ มีกลไกเลียนแบบการบดเคี้ยว 2 ครั้ง และให้ค่าที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด โดยเป็นการวัดค่าแรงกด (stress) และ/หรือการเปลี่ยนรูป (strain) ในแต่ละลำดับการทดสอบ

หลักการพื้นฐาน เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีการออกแบบการเคี้ยวภายในปากซึ่งลักษณะของโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่ได้จากการใช้เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับตัวอย่างต่อเวลา ผ่านการกดของหัววัด 2 ครั้ง วิธีการนี้ทำได้โดยใช้หัวกดปลายแบนกดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ ตามอัตราการเปลี่ยนรูปที่กำหนดไว้ ค่าแรงด้านการกดที่เกิดขึ้นในตัวอย่างอาหาร จะถูกวัดเมื่ออาหารถูกกดหลังจากการบดเคี้ยวครั้งแรกนี้ หัวกดจะถูกยกขึ้นเพื่อปล่อยให้ตัวอย่างคลายตัว ในขณะนี้แรงดึง (tension) ที่เกิดจากความเหนียวของชิ้นอาหารที่ทำให้ติดกับหัวกดขึ้นไปจะถูกวัดค่า และในการบดเคี้ยวครั้งที่สอง เมื่อตัวอย่างถูกกดอีกครั้ง จะเกิดแรงต้านขณะที่ตัวอย่างมีการเปลี่ยนรูป (Smewing, 1999) ดังรูปที่ 2.5 โดยความสูงของกราฟคือแรงกดที่กระทำในแต่ละครั้ง ซึ่งจะแสดงค่าความแข็งของตัวอย่าง (hardness) นอกจากนี้กราฟที่ได้ยังแสดงถึงแรงกดที่กระทำครั้งแรกซึ่งทำให้เกิดการแตกหักหรือเสียรูปของชิ้นงาน (fracturability) ขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก (cohesiveness) อัตราการคืนรูปของวัสดุหลังจากถูกกด (springiness) แรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกึ่งแข็งจนกระทั่งเสียรูป (gumminess) แรงที่ใช้ในการบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป (chewiness) และงานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุ (adhesiveness)



รูปที่ 2.5 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างเนื้อสัมผัส (texture profile analysis)

ที่มา: Bourne, 1978

จากคุณลักษณะดังกล่าวข้างต้น สามารถคำนวณหาค่าเค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ได้ ดังนี้

$$\text{Cohesiveness} = \text{Area 2} / \text{Area 1}$$

$$\text{Springiness} = \text{Distance 2} / \text{Distance 1}$$

$$\text{Gumminess} = \text{Hardness 1} \times \text{Cohesiveness}$$

$$\text{Chewiness} = \text{Gumminess} \times \text{springiness}$$

ตารางที่ 2.11 ความหมายของคุณลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ในเชิงคุณภาพทางกายภาพจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้านเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) และในเชิงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

คุณลักษณะ	คุณภาพทางกายภาพ	คุณภาพทางประสาทสัมผัส
ความแข็ง (hardness)	แรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูป	แรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างระหว่างฟันกรามเพื่อเปลี่ยนรูปร่างตัวอย่าง
ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness)	ขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก	ความแข็งแรงของพันธะภายในที่เกิดขึ้นในชิ้นตัวอย่างแล้วทำให้ตัวอย่างทนต่อแรงที่มากระทำก่อนที่จะตัวอย่างจะขาดหรือแยกออกจากกัน
ความยืดหยุ่น (springiness)	อัตราของการคืนรูปของวัสดุหลังจากการถูกกด	ระดับความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิมเมื่อมีการถอนแรงกดออกไปจากตัวอย่าง
ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (adhesiveness)	งานที่ใช้ในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุอื่นที่ตัวอย่างสัมผัสอยู่	แรงที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายตัวอย่างที่ติดอยู่ในปาก (โดยปกติคือเพดานปาก) ในระหว่างกระบวนการเคี้ยว
การแตกหัก (fracturability)	แรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหัก โดยเป็นตัวอย่างที่มี Hardness สูงและมี Cohesiveness ต่ำ	แรงกดทันทีทันใดในแนวตั้งที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหักเป็นชิ้น ๆ และกระจายออกในแนวราบ
การทนต่อการเคี้ยว (chewiness)	แรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป โดยเป็นตัวอย่างที่มีลักษณะผสมของ Hardness Cohesiveness และ Springiness	ระยะเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวบดตัวอย่างที่เป็นของแข็งในอัตราการใช้ฟันที่คงที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้
ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (gumminess)	แรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกึ่งของแข็งจนกระทั่งเสียรูป โดยเป็นตัวอย่างที่มี Hardness ต่ำและมี Cohesiveness สูง	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวตัวอย่างที่เป็นกึ่งของแข็งในอัตราการใช้ฟันที่คงที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้

ที่มา: ชาญญารักษ์ (2549)

พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดตัวอย่างโดยวิธี Texture Profile Analysis ได้แก่

Hardness: ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดหัววัดลงบนตัวอย่างครั้งแรก

Fracturability: ค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างเปราะหรือแตกออกเมื่อกดหัววัดบนตัวอย่างครั้งแรก จากกราฟจะเป็นตำแหน่งของแรงสูงสุดก่อนที่แรงจะตกหลังจากที่ตัวอย่างแตกออก หลังจากนั้นแรงจะเพิ่มขึ้นไปอีกครั้งจนถึงค่าแรงสูงสุด ค่าความเปราะนี้ บางครั้งอาจใช้คำว่า “brittleness”

Adhesiveness: งานที่ต้องการใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่างจากการกดครั้งแรก คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของ A3 ตัวอย่างที่มีผิวหน้าเหนียวหรือเกาะติดกับหัววัดจะทำให้มีพื้นที่ดังกล่าวมาก

Cohesiveness: ความแข็งแรงของพันธะที่เกิดขึ้นภายในชิ้นของตัวอย่าง คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่สอง หาคด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรก คำนวณพื้นที่โดยเริ่มจากการกดหัววัดลงบนตัวอย่างจนถึงตำแหน่งของแรงสูงสุดในแต่ละครั้ง

Springiness: ระยะทางที่ตัวอย่างคลายตัวกลับขึ้นมาจากดึงหัวกดขึ้น คำนวณจากเวลาที่ใช้ในการกดตัวอย่างครั้งที่สอง จนถึงจุดแรงสูงสุดหารด้วยเวลาที่ใช้ในการเริ่มกดตัวอย่างครั้งแรก จนถึงจุดแรงสูงสุด โดยเริ่มคิดเวลาเมื่อเริ่มมีแรงต้านเกิดขึ้นจากการกดตัวอย่าง บางครั้งอาจใช้คำว่า “elasticity”

Gumminess: พลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารถึงแข็งจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน คำนวณได้จากการนำค่า hardness x cohesiveness

Chewiness: พลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารแข็งจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน คำนวณได้จากการนำค่า gumminess x springiness (Smewing, 1999)

ตารางที่ 2.12 คำจำกัดความของเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวหุงสุกจากการทดสอบชิม

ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความหมาย
ความแน่นแข็ง (firmness) หรือความแข็งกระด้าง (hardness)	หมายถึง ปริมาณแรงที่ต้องการใช้กดข้าวสุกลงไประหว่างฟันที่เคี้ยวลงไปครั้งแรก มีผลออกมาเป็นความนุ่ม (ความแน่นแข็งต่ำ) ความแน่นแข็งปานกลางและความแน่นแข็งสูง ในทำนองเดียวกับความแข็งและความกระด้างของข้าวหุงสุก
ความเหนียวติดกัน (adhesiveness)	หมายถึง ปริมาณแรงที่ต้องการใช้แยกข้าวหุงสุกที่เหนียวติดปาก (ขณะที่รับประทาน), ติดกันเอง และติดภาชนะ มีผลการวัดจากความร่วน(ความเหนียวติดกัน)จนถึงเหนียวติดกันสูง
ความยืดหยุ่น (springiness)	หมายถึง ลักษณะข้าวหุงสุกที่ถูกกดทับระหว่างฟันแล้วยืดหยุ่นกลับคืน มีผลการวัดจากความยืดหยุ่นต่ำ (เหนียวหนืดไหลได้) จนถึงความยืดหยุ่นสูง (เป็นยางยืดหยุ่น)
ความเกาะติดกัน (cohesiveness)	หมายถึง ปริมาณแรงภายในที่ทำให้ข้าวหุงสุกเกาะติดกันก่อนที่จะถูกตัดขาดจากกันด้วยการกดและการกีดของฟันระหว่างฟันบนและฟันล่าง มีผลการวัดจากลักษณะละเอียด (ความเกาะติดกันต่ำ) นุ่ม(ความเกาะติดกันปานกลาง) เหนียวคล้ายหนัง (ความเกาะติดกันสูง) หรือเปราะในข้าวหุงสุกที่แข็ง

ตารางที่ 2.12 คำจำกัดความของเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวหุงสุกจากการทดสอบชิม (ต่อ)

ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความหมาย
การเคี้ยว (chewiness)	หมายถึง ระยะเวลา (เป็นวินาที) ที่ต้องการในการเคี้ยวข้าวหุงสุกในอัตราที่ใช้แรงคงที่ลงไปตามขีดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอจนละเอียดพอดีที่จะกลืนลงคอได้
ความสามารถในการทำให้แตกหัก (fracturability)	หมายถึง แรงในการกัดข้าวหุงสุกให้ขาด มีผลการวัดจากข้าวแข็งมากจนถึงข้าวเกาะกันมาก
ความเหนียวยืดติด (gumminess)	หมายถึง ความเหนียวยืดติดจากการเคี้ยวโดยใช้พลังงานในการย่อยข้าวหุงสุกจนละเอียดถึงขั้นที่จะกลืนลงคอ มีความหมายตรงข้ามกับคำว่าความแข็งและความเกาะติดกัน มีผลการวัดเป็นความร่วนไปจนถึงความเหนียวติดยืดสูง
ความเป็นสตาρχ์ (starchiness)	หมายถึง การอธิบายลักษณะความชื้นของผิวข้าว มีสภาพตั้งแต่แห้งและร่วน ไปจนถึงแฉะและความเป็นสตาρχ์สูง ในใจกลางเมล็ดข้าวจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าและมีกลิ่นรสดิบ
การติดฟัน (tooth pack)	หมายถึง ข้าวหุงสุกที่มีความเหนียวติดกัน และความเหนียวติดกันยึดอยู่ระหว่างฟันที่เคี้ยว มีผลต่อลักษณะข้าวสุก ด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชันและข้าวถึงสุก

ที่มา: Kohlwey (1994) อ้างถึงในอรอนงค์ (2550)

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

- (1) ข้าวเหนียวพันธุ์กข. 6 ตราไก่ (จังหวัดเชียงใหม่)
- (2) ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง ตราไก่ (จังหวัดเชียงใหม่)
- (3) นมโกลสดและนมแพะสด (คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)
- (4) โยเกิร์ตทางการค้า (บริษัทดัชมิลค์ จำกัด)
- (5) นมผงตราแอนลีน
- (6) ผงชาเขียว (บริษัทธาระมิงค์ จำกัด)

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

(1) อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้า (Mettler, Germany)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Analytical balance ; Sartorius : Model A 120S, Germany)
3. เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge; Hermle: Model Z 200 A)
4. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV Spectrophotometer; Biomate-5 : Model Lamda 35, England)
5. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (GFL, Germany)
6. เครื่องวัดค่าสี (Minolta Chroma Colorimeter, Japan)
7. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-XT Plus, Stable Micro System, English)

(2) สารเคมี

1. เมทานอล เข้มข้นร้อยละ 50
2. DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl hydrate: Fluka, Germany)
3. Gallic acid (Fluka, Spain)
4. Folin-Ciocalteu reagents (Merck, Germany)

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลของวิธีการแช่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโค

และนมแพะ

พันธุ์ข้าวเหนียวที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ กข.6 และนมโคสด นมแพะสด

การเตรียมวัตถุดิบ โดยการผันแปรวิธีการแช่ข้าวเหนียวเป็น 3 วิธี คือ แช่ข้าวเหนียวที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้วในน้ำนมสด แช่ข้าวเหนียวในน้ำนมสดพร้อมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังคลื่นปานกลางเป็นเวลา 5 นาทีและแช่ข้าวเหนียวในน้ำนมสดพร้อมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที ใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวต่อน้ำนมสดเท่ากับ 1:0.46 โดยน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่มาวัดปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ออบแห้งตัวอย่างโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ วัดปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างที่ได้ (AOAC, 2000) และค่าสี (L, a, b, hue และ chroma) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Minolta Chroma Colorimeter, Japan) ก็นำรูปผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง โดยการเติมน้ำและให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้วัดปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ค่าสี (L, a, b, hue และ chroma) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Minolta Chroma Colorimeter, Japan) และวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและเถ้า) (AOAC, 2000)

วิเคราะห์ข้อมูลด้านปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำและค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ วิธีการในการแช่ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

วิเคราะห์ข้อมูลด้านปริมาณความชื้นและค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านการคืนรูป วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ต้องการเปรียบเทียบ คือ วิธีการในการแช่ วิเคราะห์ข้อมูลด้านส่วนประกอบทางเคมีวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

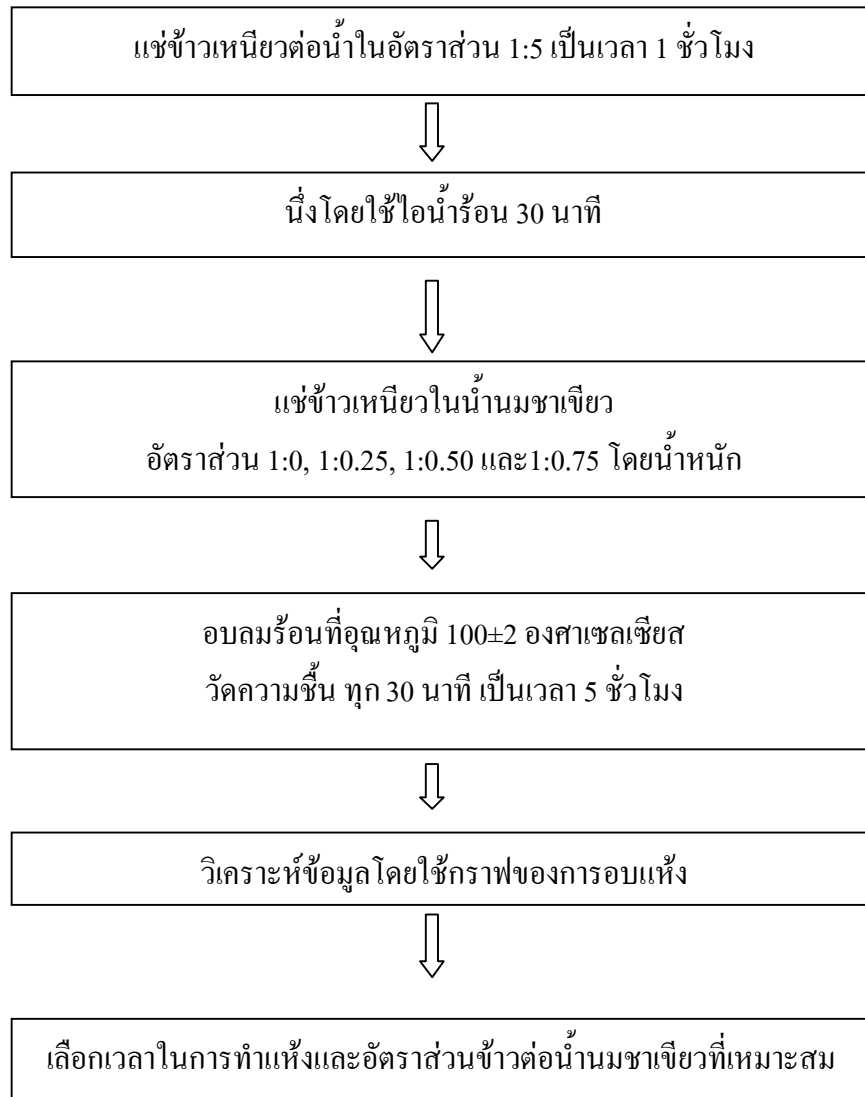
ตอนที่ 2 สมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

วิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง นมผงและชาเขียวผง โดยการวัดค่าสี (L, a, b, hue และ chroma) และวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณ (approximate analysis) (AOAC, 2000) โดยวัดปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเคลดาล์ (Kjeldahl Method, ปริมาณโปรตีน คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด $\times 6.25$) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไขมันและปริมาณเถ้าและวิเคราะห์สมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Deepa *et al.*, 2006; Guanghou and Leong, 2005)

2.2 ระยะเวลาการอบแห้งและอัตราส่วนน้ำนมชาเขียวที่เหมาะสม

เตรียมวัตถุดิบโดยแช่ตัวอย่างข้าวเหนียวในน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (Ahromit, 2006) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนึ่งด้วยหม้อนึ่งไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที แช่ข้าวเหนียวที่ผ่านการนึ่งในสารละลายน้ำนมชาเขียวที่อัตราส่วนข้าวเหนียวต่อน้ำนมชาเขียว 4 ระดับ คือ 1:0, 1:0.25, 1:0.50 และ 1:0.75 โดยน้ำหนัก อบแห้งตัวอย่างโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส วัดปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ทุก 30 นาที จนครบเวลา 5 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเขียนกราฟของการอบแห้ง (Drying curve) เลือกระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งด้วยเตาอบลมร้อน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการหาระยะเวลาการอบแห้งและอัตราส่วนน้ำนมชาเขียวที่เหมาะสม

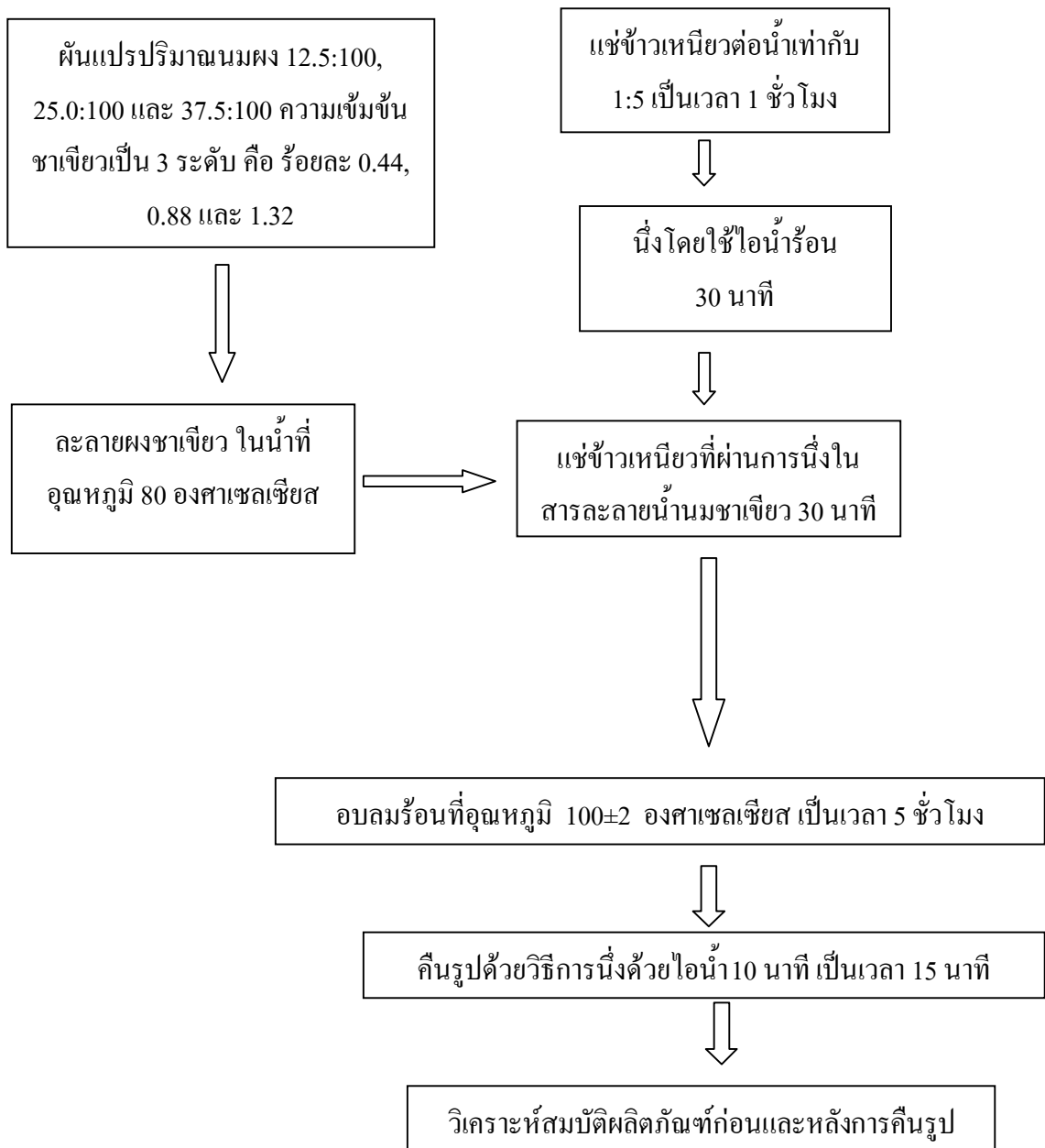
2.3 ผลของอัตราส่วนปริมาณนมผง ความเข้มข้นของชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เตรียมสารละลายน้ำนมชาเขียว โดยเตรียมได้จากนมผงและผงชาเขียว ผันแปรปริมาณนมผงต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 12.5:100, 25.0:100 และ 37.5:100 โดยน้ำหนัก ผันแปรความเข้มข้นชาเขียวเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.44, 0.88 และ 1.32 ละลายผงนมชาเขียวที่เตรียมด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

แช่ข้าวเหนียวในน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (Ahromrit, 2006) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนึ่งด้วยหม้อนึ่งไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที แช่ข้าวเหนียวที่ผ่านการนึ่งในสารละลายน้ำนมชาเขียวที่เตรียมไว้ 30 นาที อบแห้งตัวอย่างโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งมาคั้นรูปด้วยวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 10 นาที ทำการวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการคั้นรูป ได้แก่ ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ค่าสี (L, a, b) และสมบัติด้านเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-XT Plus, Stable Micro System, English) ค่ากิจกรรมของน้ำและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Deepa *et al.*, 2006; Guanghou and Leong, 2005)

วิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design ขนาด $2 \times 3 \times 3$ ทดลอง 2 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ศึกษา คือพันธุ์ของข้าวเหนียว ปริมาณนมผงและความเข้มข้นของชาเขียว วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและการยอมรับโดยใช้ผู้ทดสอบชิม 25 คน ประเมินคุณภาพด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design ขนาด $2 \times 3 \times 3$ โดยปัจจัยที่ศึกษา คือพันธุ์ของข้าวเหนียว ปริมาณนมผงและความเข้มข้นของชาเขียว วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราส่วนนมผง ความเข้มข้นของชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียว ที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 3 สมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว กลิ่นรสโยเกิร์ต

การเตรียมวัตถุดิบ ใช้ข้าวเหนียวไทยพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวไทยพันธุ์สันป่าตองซึ่งซื้อจากผู้จำหน่ายข้าวในประเทศไทย การเตรียมโยเกิร์ตสดโดยการเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตลงในนมสดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4.2-4.5 จากนั้นเก็บไว้ในสภาวะแช่เยือกแข็ง ก่อนการใช้งานจะทำการละลายน้ำแข็งและเขย่าโยเกิร์ตให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปทำการทดลอง หรือแปรรูปเป็นโยเกิร์ตผง ส่วนการเตรียมโยเกิร์ตผง ใช้โยเกิร์ตสด 6 ลิตร เติมน้ำกลั่น 3 ลิตร และเติมมอลโทเด็กซ์ทริน 850 กรัม นำไปผ่านเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สภาวะในการตั้งค่าเครื่องดังนี้ ความเร็วลมเป่า (blower speed) 52 รอบ/นาทิต (Hz) อุณหภูมิขาเข้า (inlet temp.) 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก (outlet temp.) 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนวัตถุดิบ (feed) 10 มิลลิเมตรต่อนาที การไหลของอากาศ (air flow) 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เมื่อได้โยเกิร์ตผงออกมาจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วให้นำโยเกิร์ตผงใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่บดแสงแล้วปิดปากถุงให้สนิท เก็บรักษาโยเกิร์ตผงไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 พันธุ์สันป่าตอง โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง

วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีตัวอย่างข้าวเหนียว 2 สายพันธุ์ ตัวอย่างโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงดังนี้ ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยการคำนวณ สมบัติทางกายภาพโดยการวัดค่าสีระบบ L, a, b, hue และ chroma (Minolta CR-300 Series, Japan) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสโยเกิร์ต

เตรียมข้าวเหนียวโดยการแช่ข้าวในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนึ่งด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที แช่ในโยเกิร์ตโดยผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ผันแปรปริมาณข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตที่อัตราส่วนดังนี้ 2:0, 2:0.5, 2:1 และ 2:1.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นทุกๆ 30 นาที

จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างข้าวเหนียวจะคงที่ นำข้อมูลที่ได้พลอตกราฟการอบแห้งเพื่อหาเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม

3.3 สมบัติทางกายภาพด้านสีและสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว กลั่นรสโยเกิร์ตที่แปรรูปจากโยเกิร์ตสด

เตรียมตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตและอบแห้งตามสภาวะที่เลือกได้ตามวิธีในข้อ 3.2 วัดค่าสี (L, a, b Hue และ chroma) ตัวอย่างข้าวเหนียวกลั่นรสโยเกิร์ตทั้งก่อนและหลังการทำแห้งโดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Minolta CR-300 Series, Japan) คำนวณผลิตภัณฑ์โดยการเติมน้ำตามสูตร (ปริมาณน้ำที่เติม (กรัม/ข้าวเหนียว 100 กรัม) = (ความชื้นก่อนอบ+20) – ความชื้นหลังอบ) โดยแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที และนึ่งด้วยไอน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

ทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติและการยอมรับโดยรวม วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 25 คน คะแนนที่ได้จากการทดสอบชิม นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้านประสาทสัมผัส โดยวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พิจารณาเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับของผู้ทดสอบชิมสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.4 สมบัติทางเคมี กายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว กลั่นรสโยเกิร์ตที่แปรรูปจากโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง

เตรียมตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตตามสูตรที่คัดเลือกได้จากการทดลองตอนที่ 3.3 และอบแห้งตามสภาวะที่เลือกได้ตามวิธีในข้อ 3.2 สำหรับการแปรรูปข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่แปรรูปจากโยเกิร์ตผง จะใช้โยเกิร์ตผงที่ผ่านการคั้นรูปโดยการเติมน้ำจนได้ปริมาณความชื้นเท่ากับโยเกิร์ตสด เตรียมตัวอย่างตามวิธีที่คัดเลือกแล้วตามข้อ 3.3 และอบแห้งตามสภาวะที่เลือกได้ดังวิธีในข้อ 3.2 คำนวณผลิตภัณฑ์ตามสภาวะในการทดลองที่ 3.3 ตามลำดับ

ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติและการยอมรับโดยรวม วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) ขนาด 2x2 โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ พันธุ์ข้าวเหนียวและชนิดของโยเกิร์ต ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 25 คนคะแนนที่ได้จากการทดสอบชิมนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พิจารณาเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA-XT Plus, Stable Micro System, English) และวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (AOAC, 2000) ของตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือก โดยมีตัวแปรควบคุม คือ ข้าวเหนียวที่ไม่ได้ผ่านการแช่โยเกิร์ต

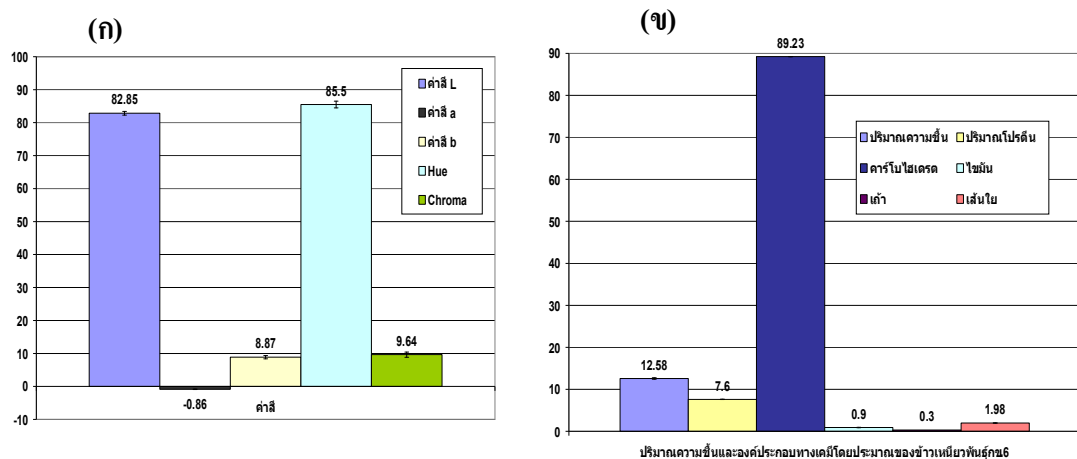
วิเคราะห์ข้อมูลด้านกายภาพและองค์ประกอบทางด้านเคมีและวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

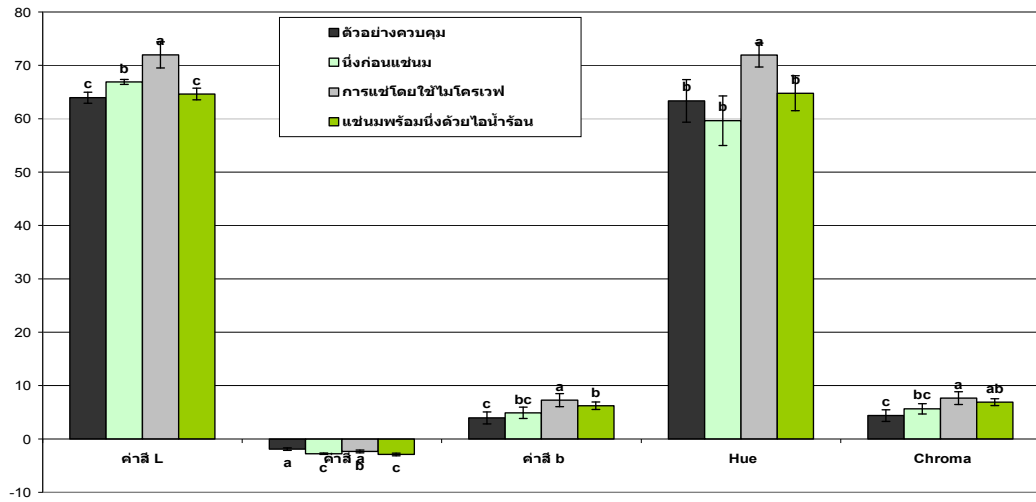
ตอนที่ 4.1 ผลของวิธีการแช่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะ

การทดลองทดสอบสมบัติของวัตถุดิบ คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 โดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและการวัดค่าสี ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากนั้นแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะ โดยการแปรรูปวิธีการแช่ข้าวเหนียว วัดค่าสี ปริมาณความชื้นก่อนและหลังการทำแห้ง ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) และส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณ (approximate analysis) ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2-4.13

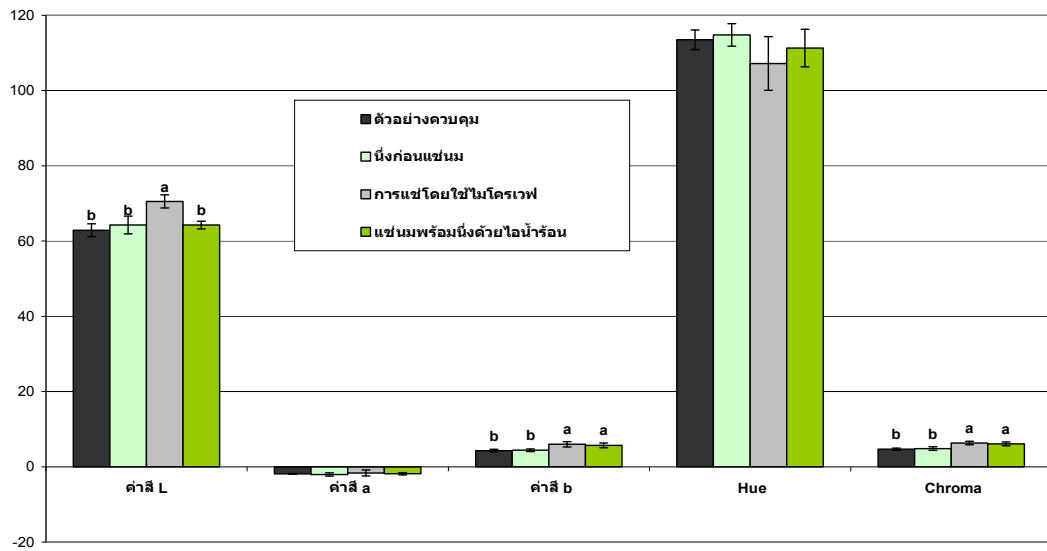


รูปที่ 4.1 สมบัติของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 (ก) ค่าสี และ (ข) ปริมาณความชื้นและส่วนประกอบทางเคมี

ผลจากการวัดค่าสีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 พบว่า ตัวอย่างมีลักษณะสีขาว โดยมีค่าสีหลัก (Hue) เท่ากับ 85.5 ± 1.03 และค่าความเข้มของสี (Chroma) เท่ากับ 9.64 ± 0.79 ส่วนผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี พบว่า ส่วนประกอบหลักคือ คาร์โบไฮเดรต ส่วนปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.60 ± 0.04 และมีปริมาณไขมันและเถ้าเพียงเล็กน้อย ซึ่งค่าส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีการรายงานของกรมการข้าว (2549)

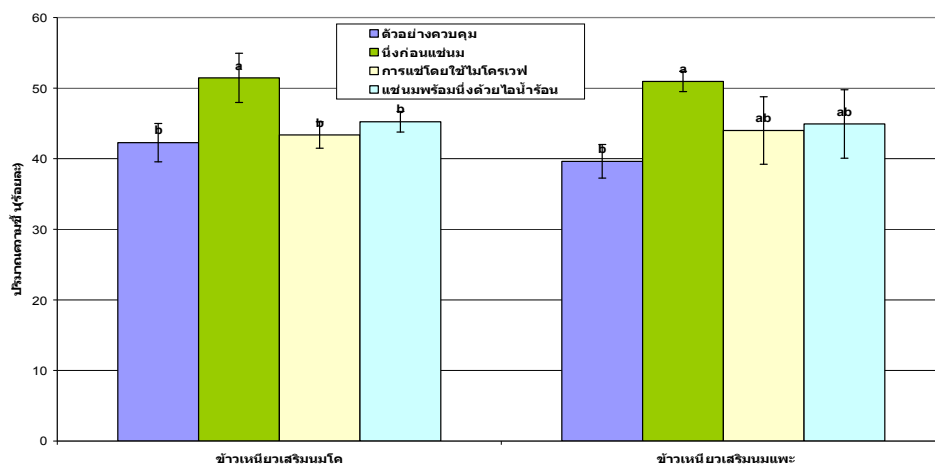


รูปที่ 4.2 ค่าสีของข้าวเหนียวเสริมนมโคที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม



รูปที่ 4.3 ค่าสีของข้าวเหนียวเสริมนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

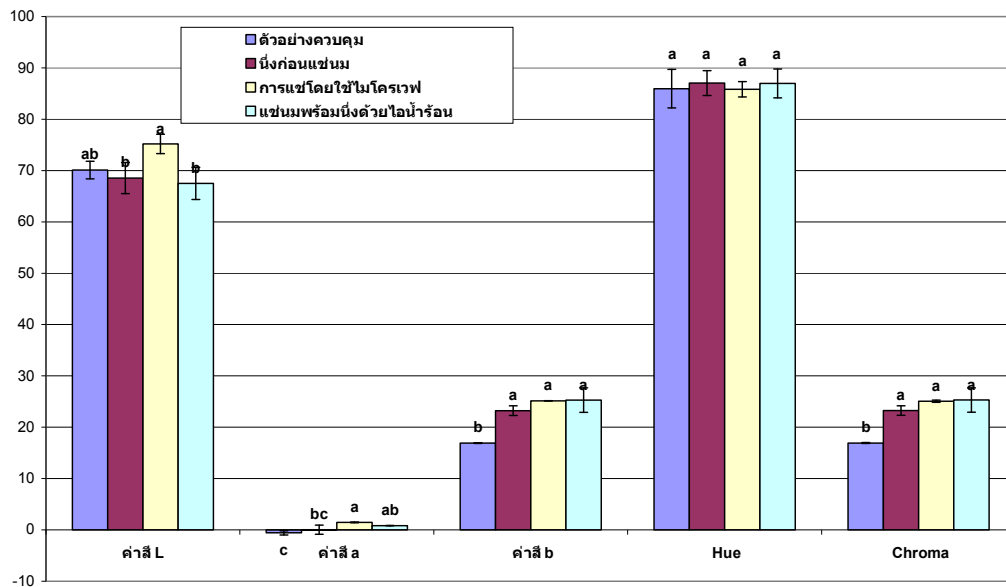
ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวภายหลังการแช่น้ำนึ่งสด พบว่า ตัวอย่างที่ทดสอบมีค่าสีขาว-ดำ (L) สีเหลือง-น้ำเงิน (b) ค่าสีหลัก (Hue) และค่าความเข้มของสี (Chroma) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนึ่งสดร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าสี L ค่าสี b ค่าสีหลักและค่าความเข้มของสีสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำนึ่งสด ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาลักษณะสีโดยรวม พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนึ่งสดจะมีลักษณะสีเข้มและออกโทนสีเหลืองกว่าตัวอย่างควบคุม เมื่อพิจารณาสมบัติด้านค่าสีของตัวอย่าง ระหว่างนมโคและนมแพะ พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนึ่งนมแพะมีค่าสีหลักสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนึ่งนมโค โดยตัวอย่างที่แช่นมโคมีค่าสีหลักในช่วง 60-71 และตัวอย่างที่แช่นมแพะมีค่าสีหลักในช่วง 107-114 แสดงว่า ตัวอย่างที่แช่น้ำนึ่งนมแพะมีโทนสีออกขาวมากกว่าตัวอย่างที่แช่น้ำนึ่งนมโค ทั้งนี้อาจเนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีในนมโคและนมแพะมีความแตกต่างกัน (Ceballos *et al.*, 2009) และน้ำนึ่งนมแพะจะมีลักษณะที่ใสกว่านมโคจากการตรวจพินิจด้วยสายตา



รูปที่ 4.4 ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวเสริมนมโคและนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกัน
เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

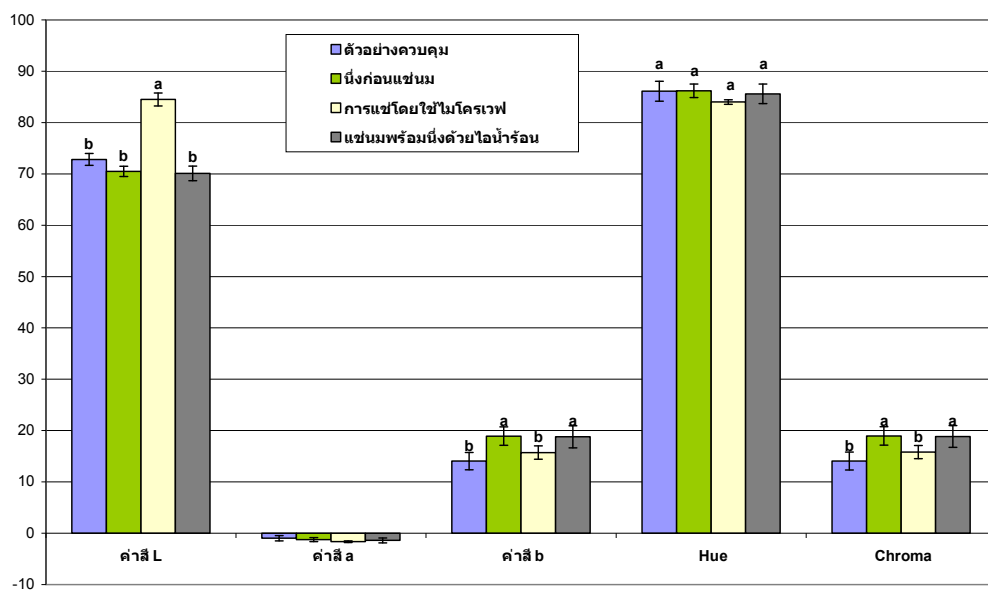
ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างก่อนการอบแห้ง พบว่า ตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นข้าวเหนียวที่ผ่านการทำให้เกิดการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์โดยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนและที่ไม่ผ่านการแช่น้ำนึ่งสดจะมีปริมาณความชื้นตั้งต้นในช่วงร้อยละ 39-42 ส่วนตัวอย่างข้าวเหนียวที่ผ่าน

การแช่น้ำนมสดจะมีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 43-51 ทั้งนี้การแช่ตัวอย่างในน้ำนมสดเป็นการเพิ่มปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ และเมื่อพิจารณาผลของกรรมวิธีที่ใช้ในการแช่พบว่า ตัวอย่างที่ใช้วิธีการแช่ในน้ำนมสดภายหลังจากการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนจะมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวจะได้รับความชื้นบางส่วนจากไอน้ำร้อนขณะนึ่งและเมื่อนำมาแช่ในน้ำนมขณะร้อน เมล็ดข้าวเหนียวจะเกิดการดูดซับน้ำนมเข้าไปทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่การแช่โดยวิธีการให้ความร้อนร่วมกับไมโครเวฟจะใช้ข้าวเหนียวที่ยังไม่ผ่านการเจลาติไนซ์แช่ในน้ำนมและใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดเจลาติไนซ์และการดูดซับน้ำของข้าวเหนียว ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ ประหยัดเวลาในการแปรรูปเนื่องจากข้าวเหนียวไม่จำเป็นต้องผ่านการแช่น้ำเป็นเวลาหลายชั่วโมงก่อนการนึ่ง และระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก็ใช้เวลาเพียง 3-5 นาทีเท่านั้น ส่วนวิธีการแช่พร้อมนึ่งด้วยไอน้ำร้อนก็เป็นวิธีที่ช่วยประหยัดเวลาในการแปรรูปเช่นกันแต่จะใช้เวลามากกว่าวิธีการแช่ที่ใช้การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากตัวอย่างข้าวเหนียวดิบจะถูกแช่ในน้ำนมสดพร้อมกับการให้ความร้อนโดยการนึ่งซึ่งใช้เวลาประมาณ 25-30 นาที



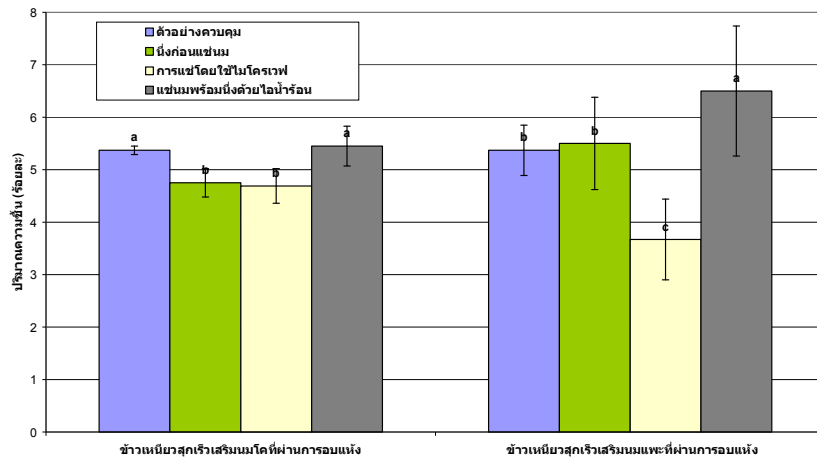
รูปที่ 4.5 ค่าสีของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ผลการวัดค่าสีของตัวอย่างภายหลังการอบแห้ง พบว่า ตัวอย่างมีค่าสี L, ค่าสี a, ค่าสี b และความเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าสี L สูงที่สุด แสดงว่า ตัวอย่างมีลักษณะสีออกโทนขาวสูงสุด และเมื่อพิจารณาลักษณะสีโดยรวมของตัวอย่างที่มีการเสริมนมโค พบว่า มีลักษณะสีเข้มกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเสริมนมโคและสีออกโทนเหลืองอ่อนมากกว่า

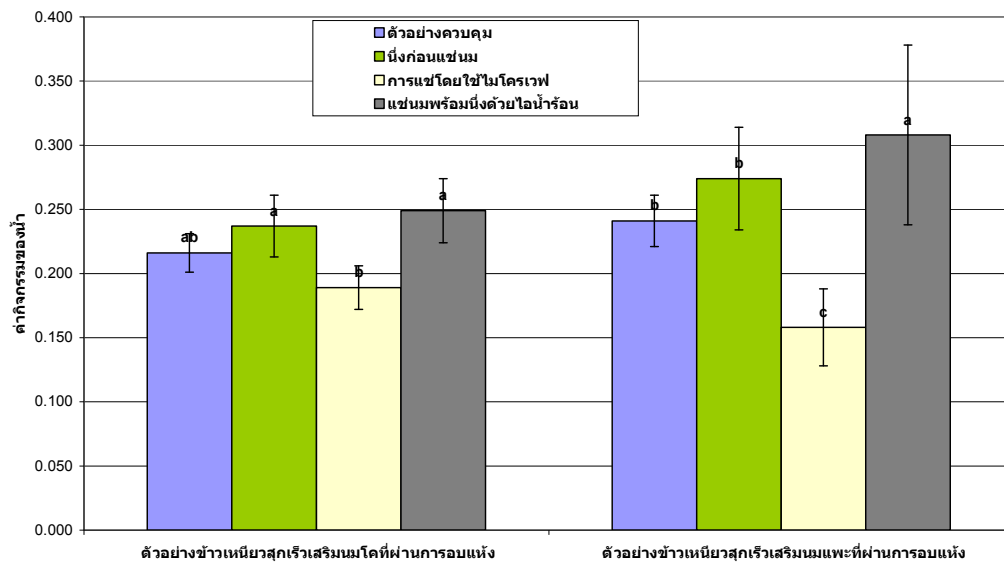


รูปที่ 4.6 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสโดยลมร้อน เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ผลของการวัดค่าสีของตัวอย่างที่เสริมนมแพะภายหลังการอบแห้ง พบว่า ตัวอย่างมีค่าสี L, ค่าสี b และความเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าสี L สูงที่สุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้จะใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้นมโค

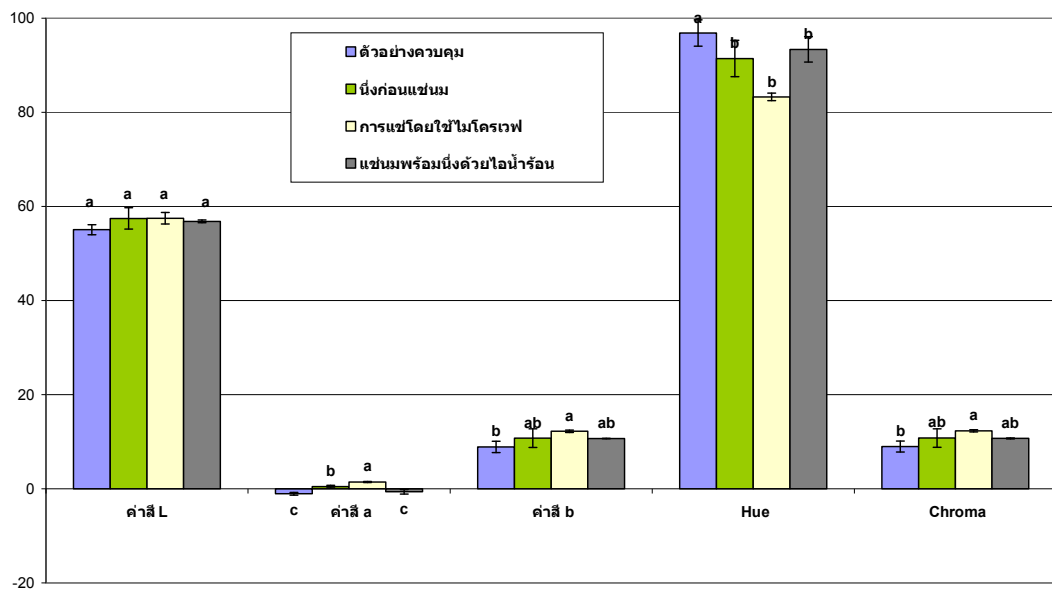


รูปที่ 4.7 ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมหมักและนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

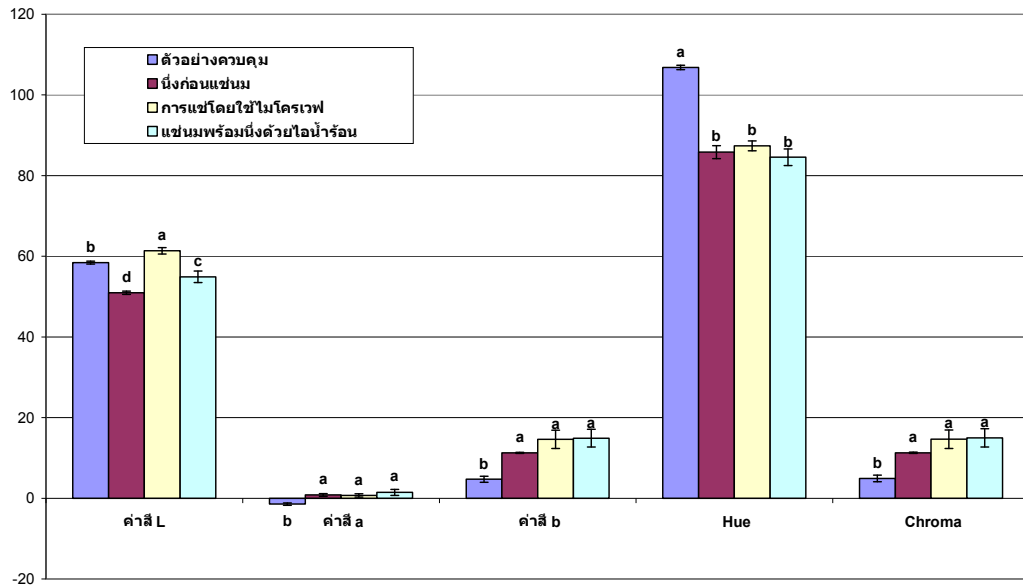


รูปที่ 4.8 ค่ากิจกรรมของน้ำของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมหมักและนมแพะที่ผ่านวิธีการแช่ที่แตกต่างกันและการอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างภายหลังการอบแห้งพบว่า ตัวอย่างภายหลังการอบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.6-6.5 และมีค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.15-0.3 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 แสดงว่า ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งจะเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่เกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในกลุ่มของเชื้อรา ค่ากิจกรรมของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมอัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 เชื้อราส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.7 ส่วนยีสต์และแบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ (วิไล, 2545)

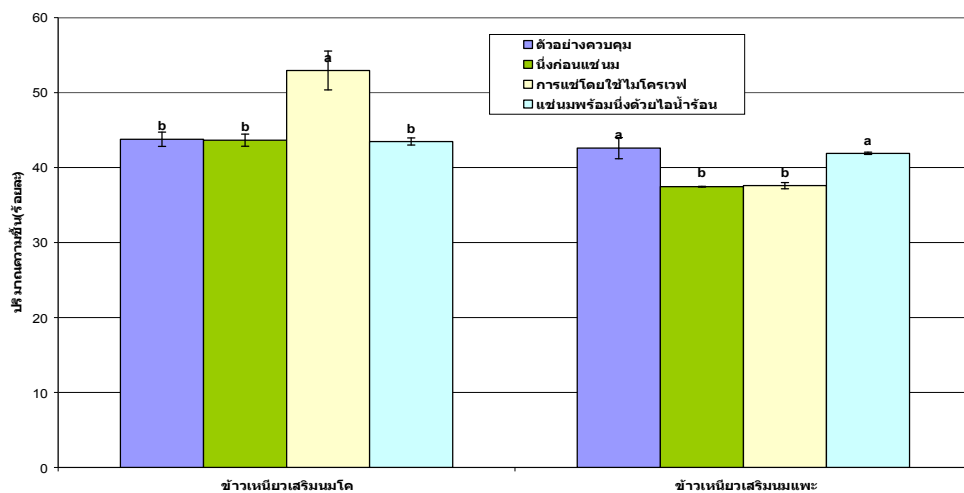


รูปที่ 4.9 ค่าสีของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคภายหลังการคืนรูป



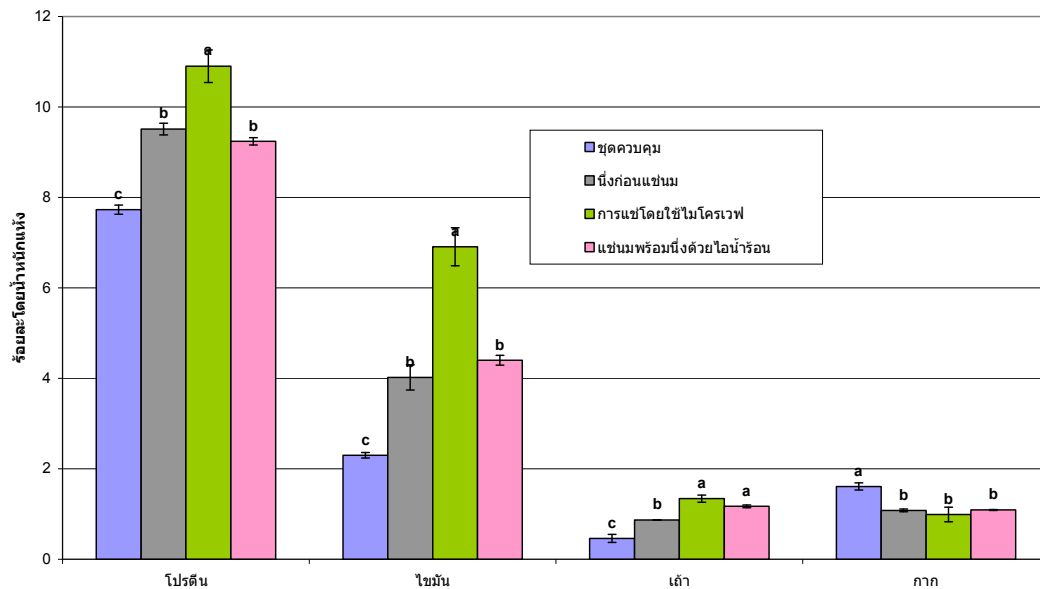
รูปที่ 4.10 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมแพะภายหลังการคั้นรูป

ผลการวัดค่าสีของตัวอย่างภายหลังการคั้นรูป พบว่า ตัวอย่างมีค่าสี a ค่าสี b ค่าสีหลัก และความเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่เสริมนมโคและนมแพะมีลักษณะที่เข้มกว่าตัวอย่างควบคุมและสีออกโทนเหลืองอ่อน



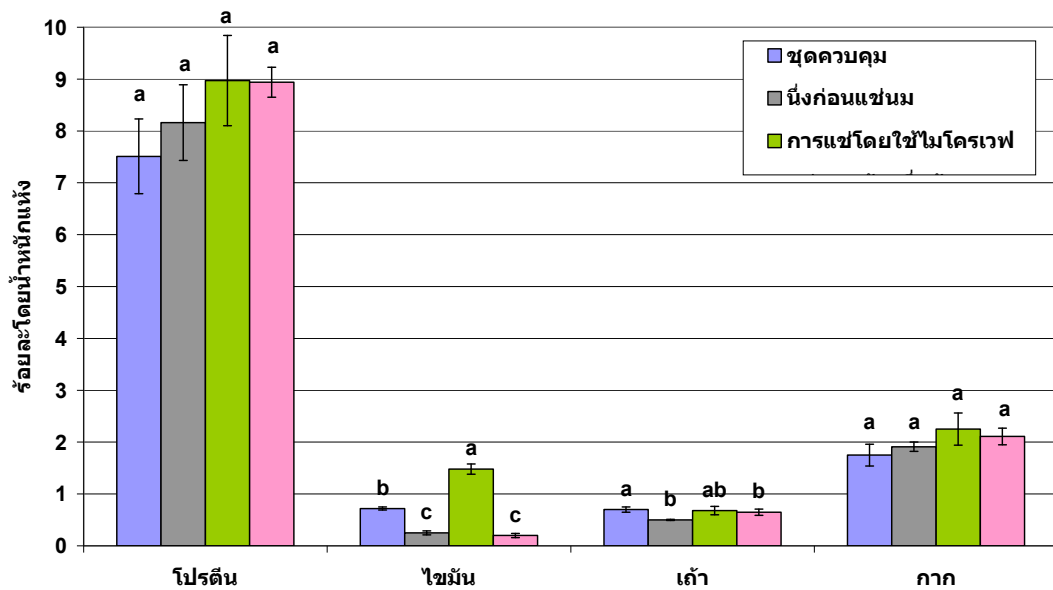
รูปที่ 4.11 ปริมาณความขึ้นสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคและนมแพะที่ผ่านการคั้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายหลังการคั้นรูป พบว่า ตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 37-42



รูปที่ 4.12 ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคที่ผ่านการคั้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคภายหลังการคั้นรูป พบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้าและกากของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่เสริมนมโคจะมีปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เสริมนมโค แสดงว่า การเสริมนมโคเข้าไปในผลิตภัณฑ์จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น หมายถึง มีส่วนประกอบของแร่ธาตุและวิตามิน เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการของนมโคสดพบว่า ในน้ำนมโคจะประกอบด้วยโปรตีนนมซึ่งมีกรดอะมิโนครบถ้วนทั้ง 9 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ได้แก่ วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ฟีนีลาลานีน เมไทโอนีน ทรีโตนเฟน ฮีสติดีน ไลซีนและทรีโอนีน (Ceballos *et al.*, 2009)

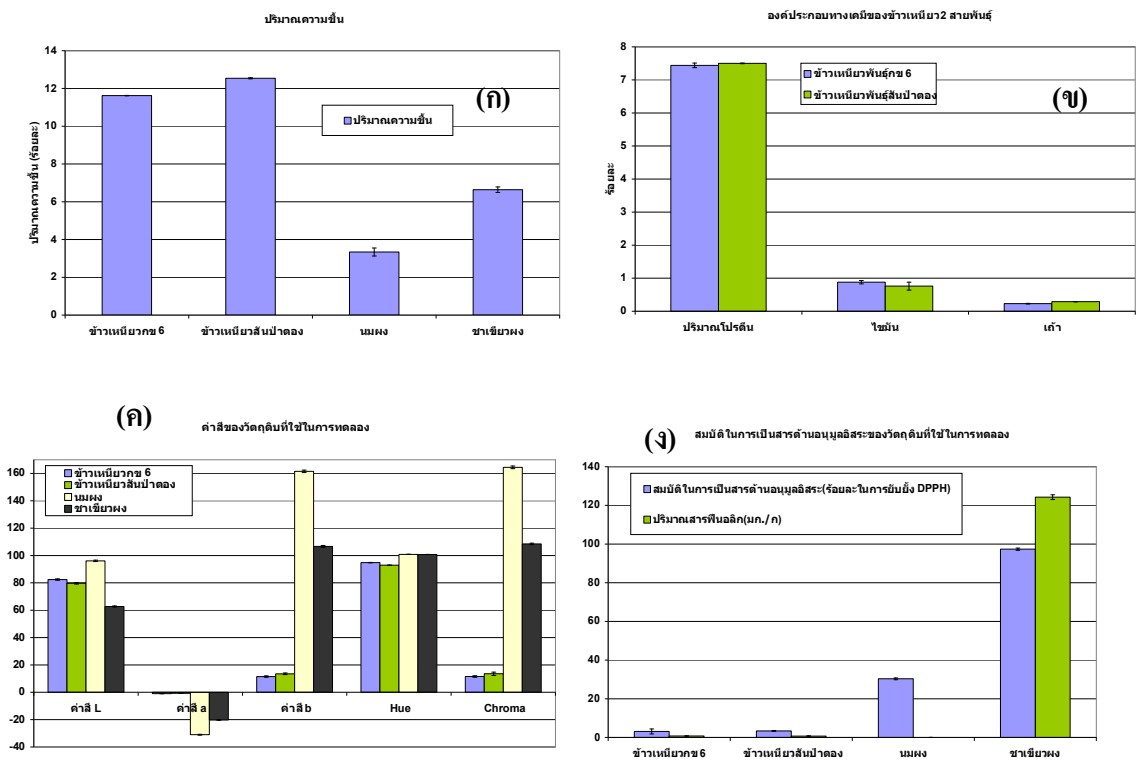


รูปที่ 4.13 ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมแพะที่ผ่านการคั้นรูปเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมแพะภายหลังการคั้นรูป พบว่า ตัวอย่างที่เสริมนมแพะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ขณะที่บางตัวอย่างมีปริมาณไขมันสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวอย่างนมแพะที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดเต็มมันเนย ดังนั้นจึงอาจทำให้ปริมาณไขมันของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้น การที่ตัวอย่างมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจะทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันแล้วทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย(นิธิยา, 2548) ซึ่งการทดลองตอนถัดไป คือ การหาสภาวะและกรรมวิธีที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว โดยจะใช้นมผงพร่องมันเนยเพื่อลดปริมาณไขมันนมในสูตรและชาเขียวผงเพื่อเพิ่มมูลค่าและสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว

ตอนที่ 4.2 สภาวะและกรรมวิธีที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมหมัก กลีนาสาเขียว

การทดลองใช้ข้าวเหนียว 2 พันธุ์ คือ กข6 และ สันป่าตอง นมผงและชาเขียวผงเป็นวัตถุดิบ โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่าสี ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณและค่าปริมาณสารป้องกัน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการวัดความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH (ร้อยละ) และปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม) แสดงผลดังรูปที่ 4.14



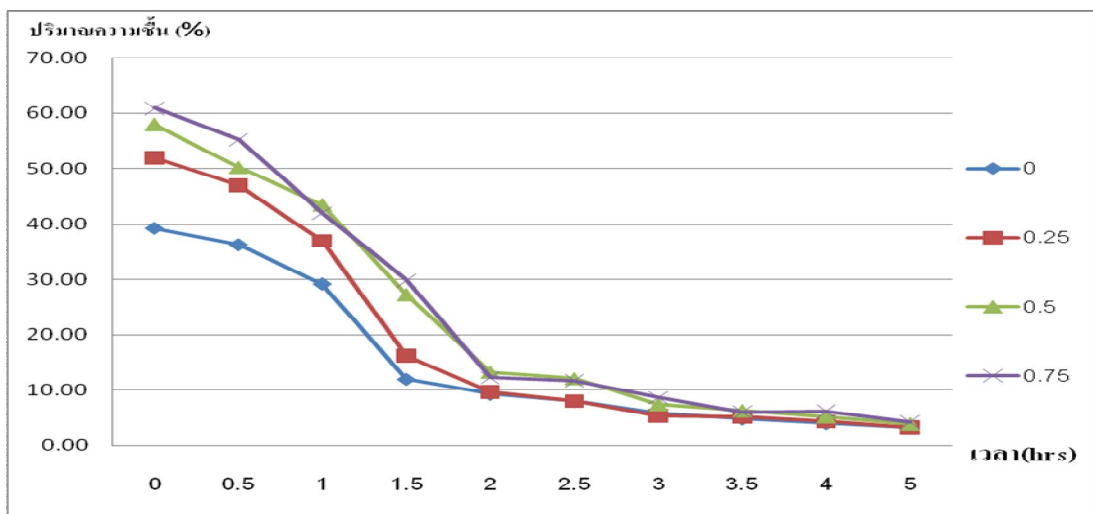
รูปที่ 4.14 สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง (ก) ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 พันธุ์ สันป่าตอง นมผงและชาเขียวผงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง (ข) ส่วนประกอบทางเคมี โดยประมาณของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 พันธุ์ สันป่าตอง (ค) ค่าสี (ง) สมบัติในการเป็น สารต้านอนุมูลอิสระ

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และพันธุ์ สันป่าตอง พบว่า มีส่วนประกอบทางเคมี ค่าสีและปริมาณความชื้นตั้งต้นใกล้เคียงกัน โดยข้าวเหนียวทั้งสองสายพันธุ์

มีปริมาณโปรตีนในช่วงร้อยละ 7.4-7.5 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและค่าสีเป็นสมบัติที่สามารถชี้บ่งถึงลักษณะปรากฏรวมทั้งลักษณะจำเพาะของวัตถุดิบที่อาจส่งผลผลิตภัณฑ์ ส่วนผลการวิเคราะห์สมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละของการยับยั้งสาร DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด) ของวัตถุดิบ พบว่า ชาเขียวผงมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ซึ่งในชาเขียวจะมีสารพอลิฟีนอลที่มีสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในปริมาณสูง(Hara, 2001) และเป็นสมบัติในการเป็นวัตถุดิบที่ใช้เพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาต่อไป ส่วนตัวอย่างนมผงที่ใช้ (ทางการค้า) มีสมบัติในการยับยั้งสาร DPPH ร้อยละ 30.33 ± 0.47 ขณะที่ตัวอย่างข้าวเหนียวมีสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำที่สุด

4.2.1 การหาระยะเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสมโดยการพลอตกราฟของการทำแห้ง

การทดลองใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการนึ่งจนเกิดการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์ แห้งในสารละลายนมชาเขียวที่อัตราส่วนต่างๆ ทำแห้งด้วยลมร้อน หาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนกระทั่งปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ ดังรูปที่ 4.15



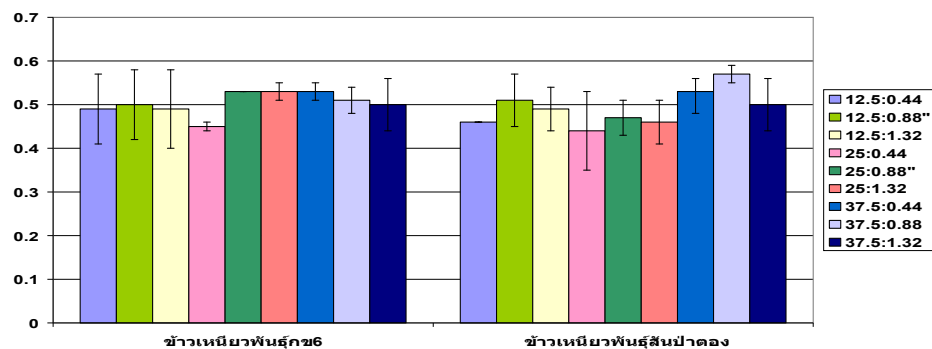
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำแห้ง (อบด้วยลมร้อน) กับร้อยละปริมาณความชื้น

จากกราฟแสดงการดูดซับน้ำนมชาเขียวของข้าวที่ผ่านการนึ่งโดยไอน้ำ จะเห็นได้ว่าข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำนมชาเขียวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันนั้นมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นแตกต่างกันซึ่งเป็นการขึ้นก่อนการทำแห้งและเมื่อเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อลักษณะผิวของเมล็ดข้าวซึ่งจะเกิดลักษณะเนื้อที่แข็งขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความชื้นและ

การหดตัวที่ผิว (Fellows, 2000) อัตราการลดลงของความชื้นมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเป็นแบบแผนเดียวกัน ในช่วงแรกของการอบแห้งจะเป็นเวลาในการทำให้ผิวหนังของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปื่อย หลังจากนั้นจะเป็นการทำให้แห้งโดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยความเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออก (วิไล, 2545) ในช่วงสุดท้ายอัตราการลดลงของความชื้นจะต่ำลงจนกระทั่งได้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ 3.5 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่และเลือกอัตราส่วนข้าวเหนียวต่อข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 1:0.5 เป็นอัตราที่มีการดูดซับน้ำนมชาเขียวได้สูง ขณะที่อัตราส่วน 1:0.75 จะมีส่วนของน้ำนมชาเขียวที่ไม่ถูกดูดซับอยู่บริเวณรอบเมล็ดข้าวซึ่งสังเกตได้จากการตรวจพินิจด้วยตาเปล่า

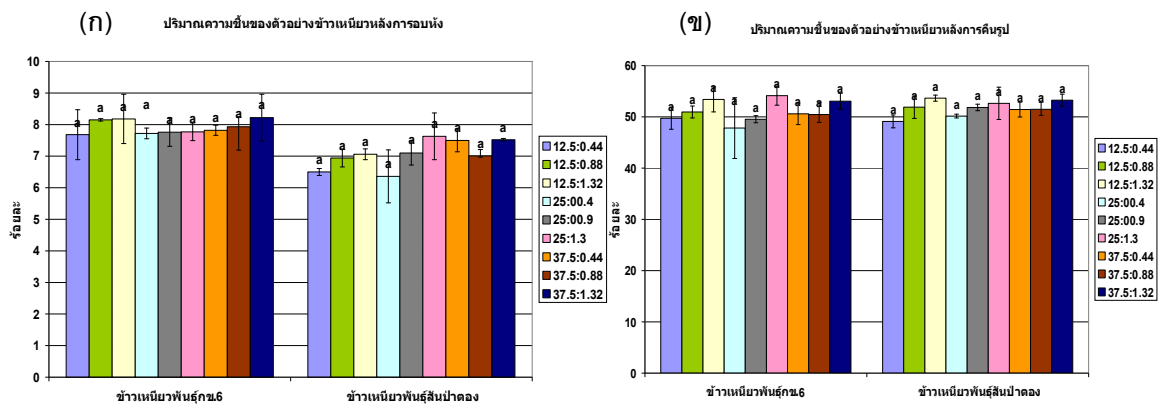
4.2.2 อัตราส่วนปริมาณนมผง ความเข้มข้นของชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่เหมาะสมในการแปรรูปข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

การทดลองใช้ข้าวเหนียว 2 สายพันธุ์ คือ กข 6 และสันป่าตอง วิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น ค่าสี ลักษณะทางเนื้อสัมผัสและปริมาณสารด้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนและหลังการคืนรูปและสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างหลังการคืนรูป ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.16-4.42 และตารางที่ 4.1-4.16



รูปที่ 4.16 ค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวที่ผ่านการแช่สารละลายนมชาเขียวที่อัตราส่วนนมต่อชาเขียวในระดับต่างๆ หลังการอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว ก่อนคั้นรูปพบว่า ค่ากิจกรรมของน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.44 ± 0.09 ถึง 0.53 ± 0.03 จากค่ากิจกรรมของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมอัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 เชื่อว่า ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.7 ส่วนยีสต์และแบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ (วิไล, 2545) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวกิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้ง ทำให้สามารถควบคุมอัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้

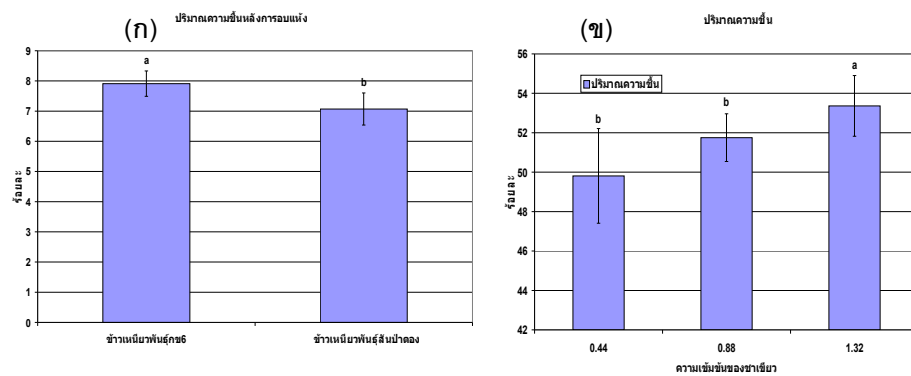


รูปที่ 4.17 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวที่ผ่านการแช่สารละลายนมชาเขียวที่อัตราส่วนนมต่อชาเขียวในระดับต่างๆ (ก) ก่อนการคั้นรูป (ข) หลังการคั้นรูป

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพด้านความชื้นของตัวอย่าง
ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนและหลังการคั่วรูป

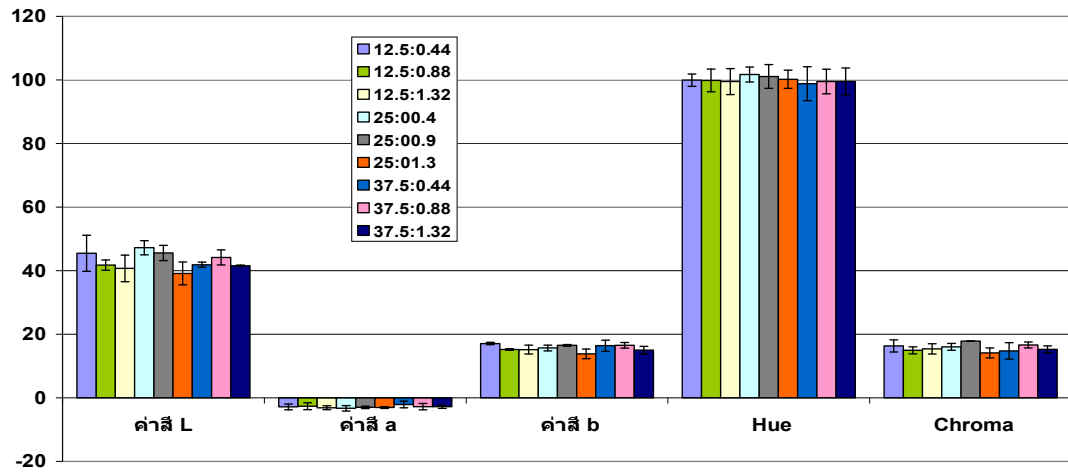
SOV	df	MS	
		ความชื้นก่อนการคั่วรูป (ร้อยละ)	ความชื้นหลังการคั่วรูป (ร้อยละ)
ปริมาณนม	2	0.282	1.472
ความเข้มข้นชาเขียว	2	0.654	39.041*
สายพันธุ์ข้าวเหนียว	1	6.426*	3.709
นม*ชาเขียว	4	0.135	1.883
นม*พันธุ์	2	0.239	0.539
ชาเขียว*พันธุ์	2	0.086	2.500
นม*ชาเขียว*พันธุ์	4	0.194	1.589
Error	18	0.216	4.779

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

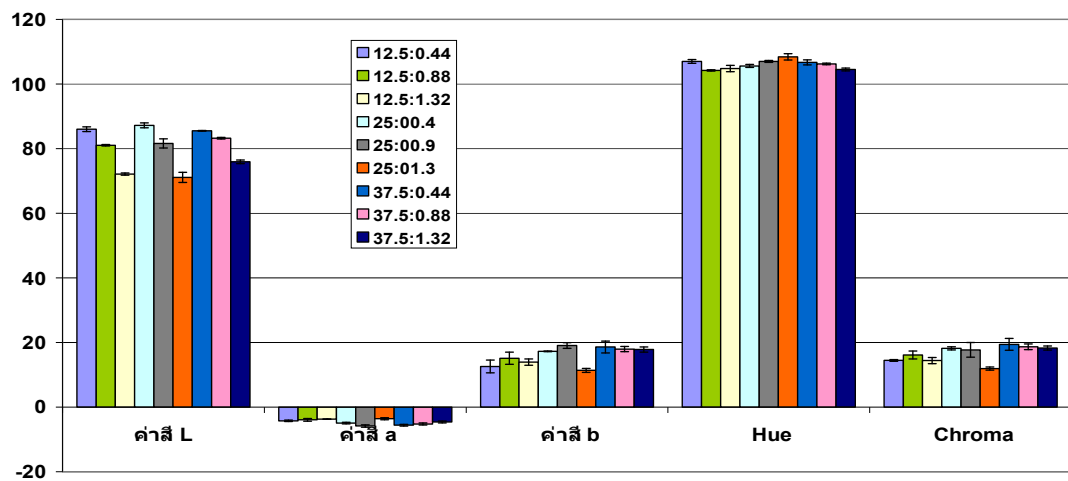


รูปที่ 4.18 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสนมชาเขียว (ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว) หลังการอบแห้งหรือก่อนการคั่วรูป (ข) ผลของความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยเดียว) หลังการคั่วรูป

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านความชื้นของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว โดยผันแปรปริมาณนมผง ความเข้มข้นชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่ระดับต่างๆ พบว่าความชื้นก่อนการคั้นรูปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน แห้งสารละลายน้ำนมชาเขียวและ ทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง มีค่าปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการการศึกษาในเบื้องต้นที่ศึกษาเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นคงที่ และเมื่อศึกษาผลของปัจจัยเดียวพบว่า พันธุ์ของข้าวเหนียวมีผลต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6-8 และมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมสำหรับอาหารแห้งเนื่องจากอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่มของเชื้อราได้ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ส่วนปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการคั้นรูปมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าในช่วงร้อยละ 47-54 และมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างก่อนการอบแห้ง สมบัติการคั้นตัวด้วยไอน้ำร้อนเป็นสมบัติที่ใช้ในการพิจารณาผลของการแปรรูปที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทั้งนี้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี คือ เมื่อผ่านการคั้นรูปแล้วควรมีลักษณะโดยรวมใกล้เคียงกันผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งมากที่สุด โดยเฉพาะสมบัติด้านสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนก่อนการแปรรูปและการทำแห้งข้าวเหนียวจะผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนเพื่อเป็นการลดความแข็งกระด้างของเมล็ดข้าวเหนียวโดยไอน้ำจะผ่านและแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว และมีการแลกเปลี่ยนถ่ายเทความร้อนกับน้ำที่ดูดซับเมื่อข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นในระดับที่แบ่งเกิดการเจลาติไนซ์แล้วข้าวจะสุก ข้าวที่สุกแล้วจะนุ่มขึ้นเพราะองค์ประกอบภายในเป็นแป้งที่เกิดเจลาติไนซ์ภายหลังการแปรรูปและการอบแห้ง เมื่อมีการคั้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการเติมน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมร่วมกับไอน้ำร้อนจะทำให้ตัวอย่างข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นข้าวเหนียวสุกเร็วด้วยการทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนซ์บางส่วนและผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวจะช่วยให้เมล็ดข้าวเหนียวดูดน้ำได้เร็วขึ้นซึ่งช่วยลดเวลาในการคั้นรูป เมื่อพิจารณาถึงผลของปัจจัยเดียวคือความเข้มข้นชาเขียวพบว่า มีผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวสุกเร็วที่ผ่านการคั้นรูปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) โดยปริมาณชาเขียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นหลังคั้นรูปมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่4.19 ผลของปริมาณนโม และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของตัวอย่างข้าวเหนียว กข 6 ที่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสชาติเขียวหลังการอบแห้ง

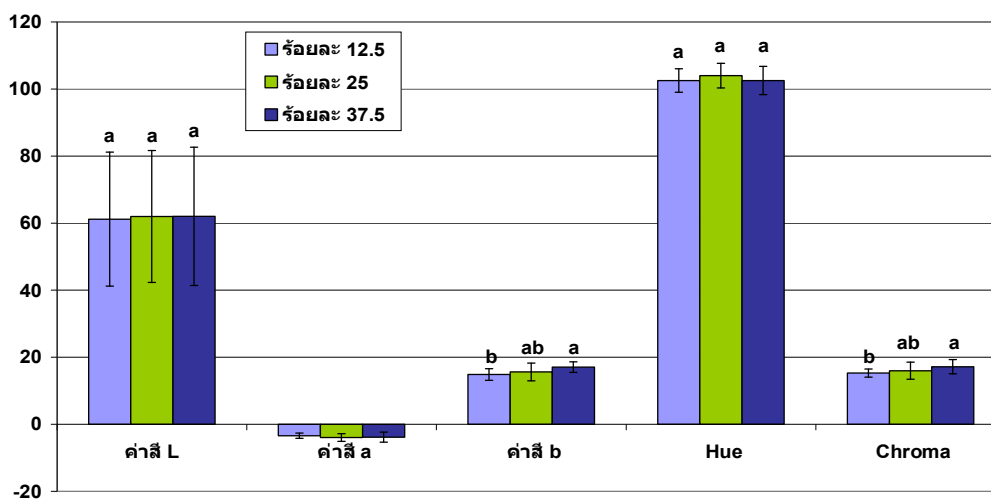


รูปที่4.20 ผลของปริมาณนโม และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองที่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสชาติเขียวหลังการอบแห้ง

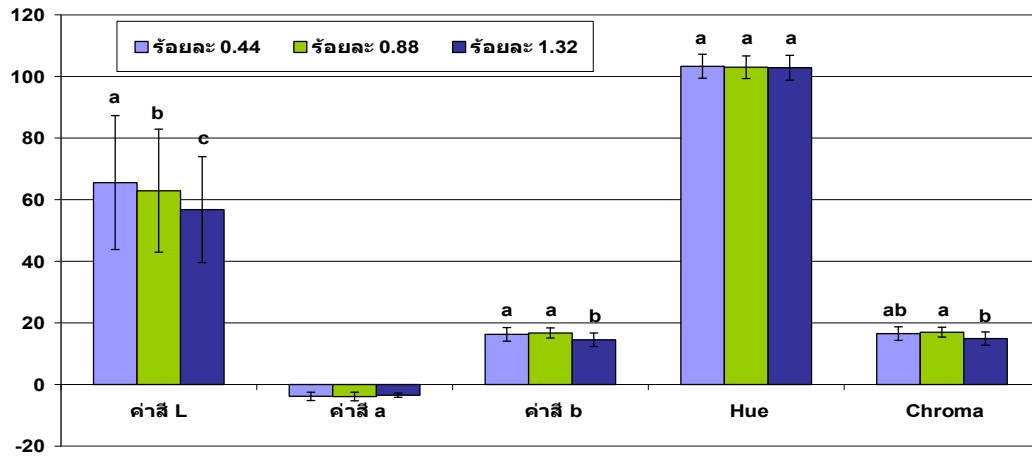
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว
สุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนการคั้นรูป

SOV	df	MS				
		L	a	b	Hue	Chroma
ปริมาณนม	2	2.699	0.974	15.043*	8.454	10.984*
ความเข้มข้นชาเขียว	2	243.812*	0.631	16.220*	0.695	14.403*
พันธุ์ข้าวเหนียว	1	12566.036*	28.676*	0.614	327.308*	6.926
นม*ชาเขียว	4	14.952*	0.411	7.212*	1.609	6.612*
นม*พันธุ์	2	6.993	1.704*	12.739*	0.684	12.866*
ชาเขียว*พันธุ์	2	59.282*	1.441*	2.430	0.320	2.274
นม*ชาเขียว*พันธุ์	4	1.308	0.394	5.181*	4.156	3.332
Error	18	4.905	0.360	1.383	6.966	1.794

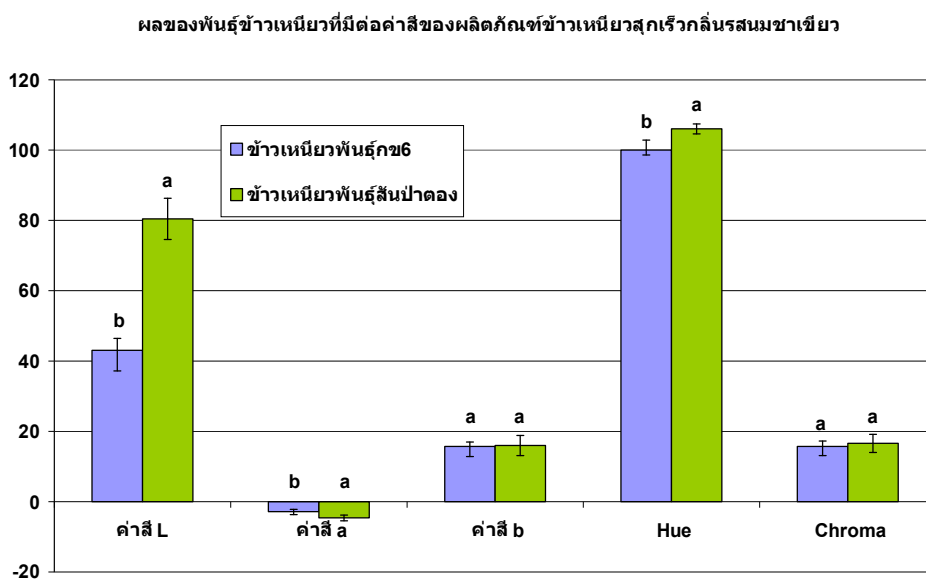
หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



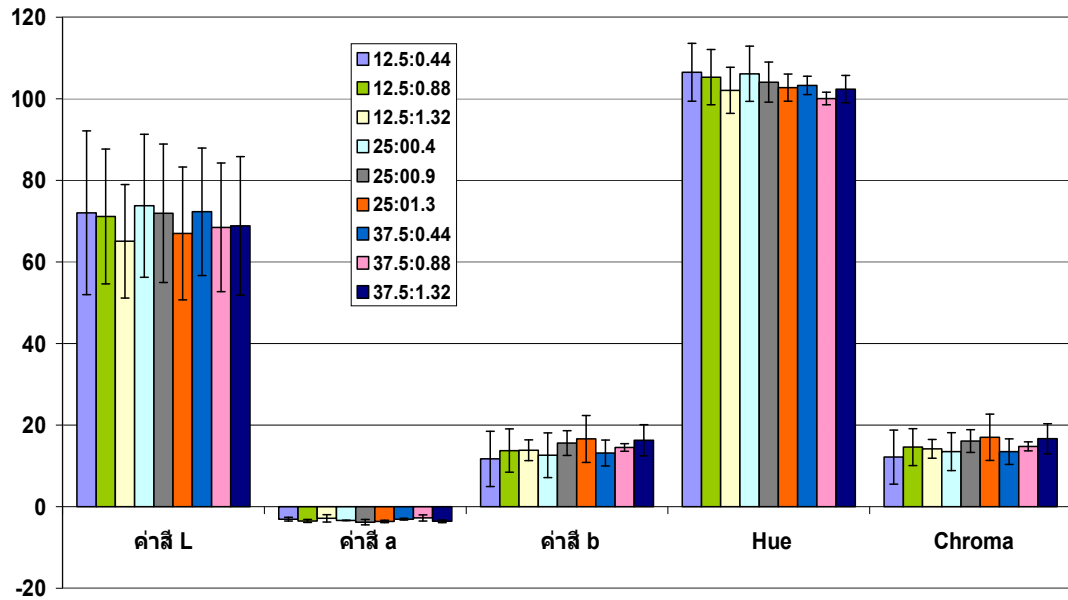
รูปที่ 4.21 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนการคั้นรูป (ปัจจัยเดียว)
: ผลของปริมาณนมผง



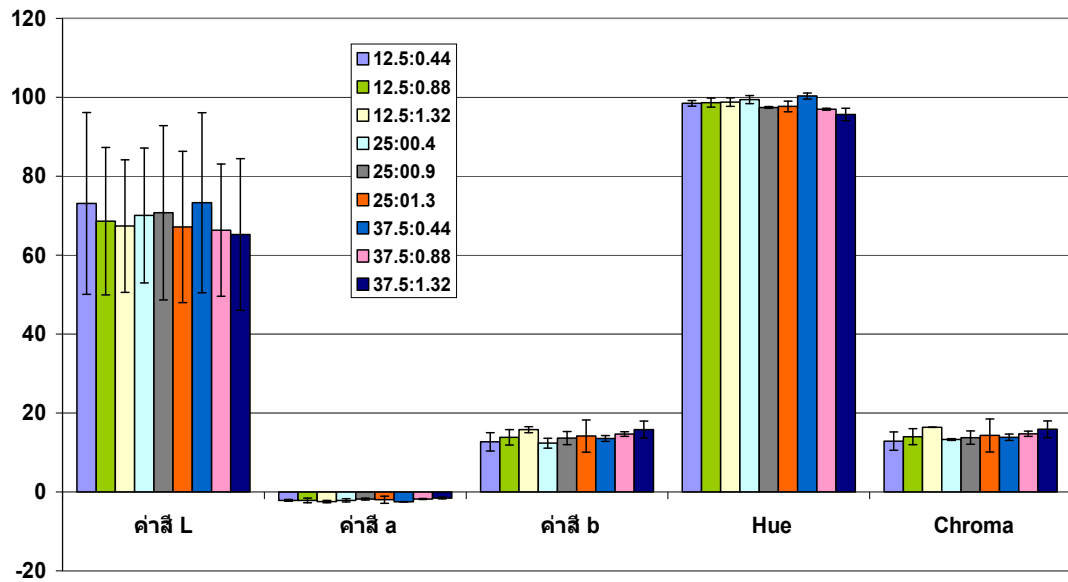
รูปที่ 4.22 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนการคั้นรูป (ปัจจัยเดียว)
: ผลของความเข้มข้นของชาเขียว



รูปที่ 4.23 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนการคั้นรูป (ปัจจัยเดียว)
: ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว



รูปที่ 4.24 ผลของปริมาณนโม และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของตัวอย่างข้าวเหนียว กข 6 ที่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสชาเขียวหลังการคั่วรูป



รูปที่4.25 ผลของปริมาณนโม และความเข้มข้นของชาเขียวต่อค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma ของ

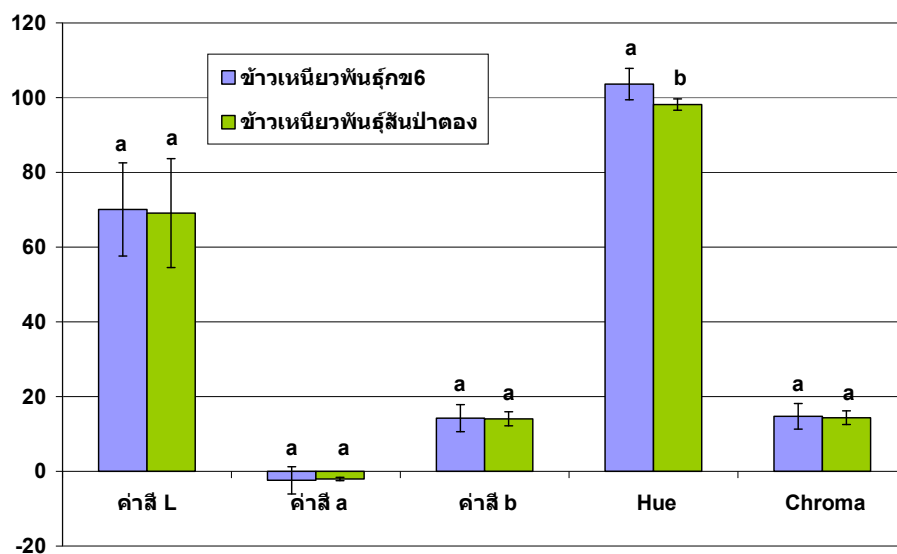
ตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองที่ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่น

รสชาเขียวหลังการคั่วรูป

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพค่าสี (L, a, b, Hue, Chroma) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั่วรูป

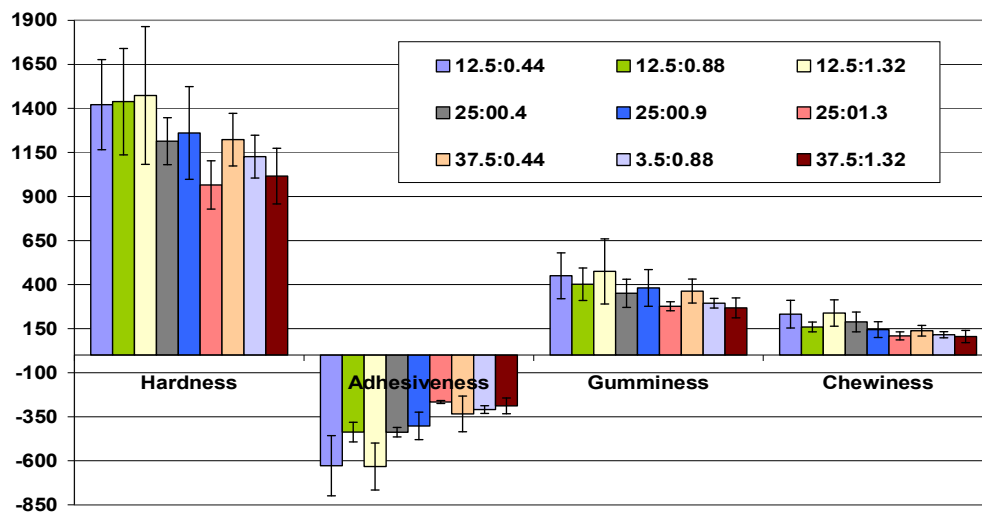
SOV	df	MS				
		L	a	B	Hue	Chroma
ปริมาณนม	2	3.176	6.790	3.346	11.478	2.433
ความเข้มข้นชาเขียว	2	95.671	7.475	22.735	20.301	19.448
พันธุ์ข้าวเหนียว	1	8.381	1.199	0.290	269.288*	1.319
นม*ชาเขียว	4	7.200	5.706	0.228	2.078	0.229
นม*พันธุ์	2	3.553	9.954	4.955	3.276	4.862
ชาเขียว*พันธุ์	2	2.240	5.585	0.744	0.592	1.231
นม*ชาเขียว*พันธุ์	4	6.734	6.232	0.838	5.380	1.435
Error	18	332.676	6.671	11.924	13.183	10.649

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

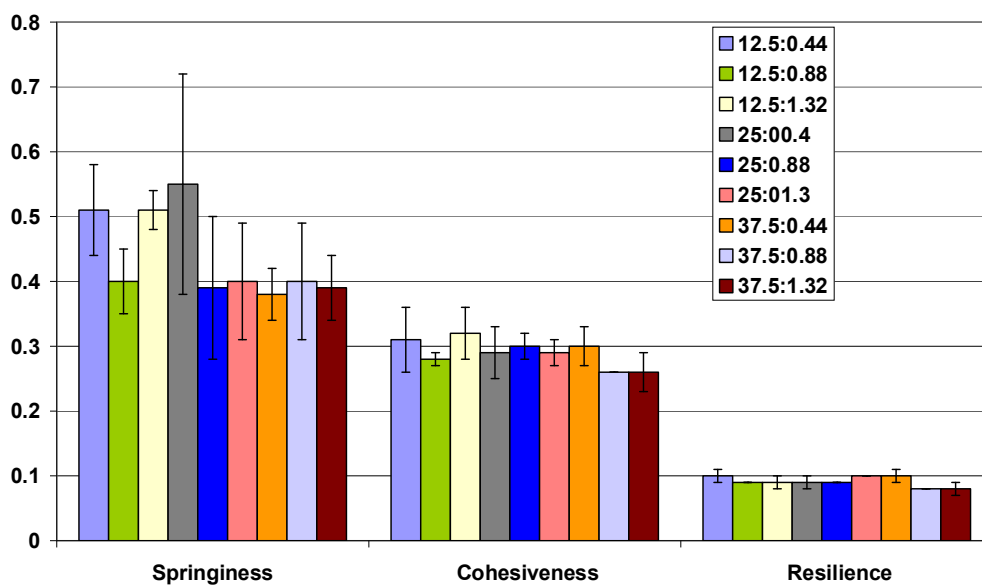


รูปที่ 4.26 ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั่วรูป

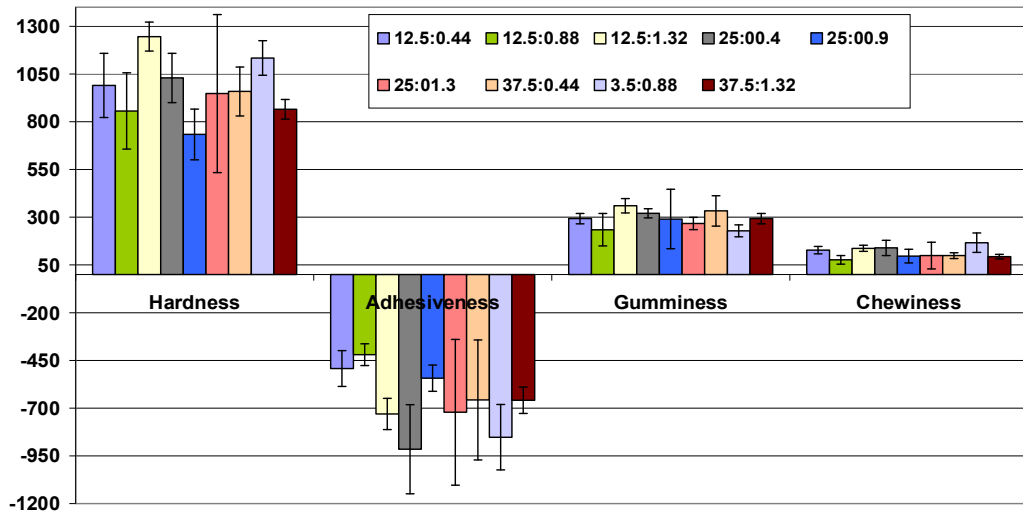
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านค่าสี (L, a, b, Hue, Chroma) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว โดยผันแปรปริมาณนมผง ความเข้มข้นชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่ระดับต่างๆ พบว่า ค่าสีก่อนการคั้นรูป มีเพียงค่าสี b (เหลือง - น้ำเงิน) ที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าสีของผลิตภัณฑ์หลังการคั้นรูปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยเดี่ยว (ปริมาณนมผง ความเข้มข้นชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียว) พบว่าปริมาณนมผงที่ผันแปรมีผลต่อค่า b (เหลือง - น้ำเงิน) และค่า Chroma (ความเข้มของสี) ความเข้มข้นชาเขียวมีผลต่อค่า L, b, Chroma คือ เมื่อแปรความเข้มข้นชาเขียวเพิ่มขึ้น ค่า L (สีขาว-ดำ) ค่า Hue (ค่าสีหลัก) และค่า Chroma จะมีค่าลดลง ส่วนสายพันธุ์ข้าวเหนียวมีผลต่อค่า L, b และ Hue นอกจากนี้ยังพบผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโคและความเข้มข้นของชาเขียว ปริมาณนมผงกับพันธุ์ข้าวเหนียวและความเข้มข้นของชาเขียวกับพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีต่อค่าสี (L, a, b) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนการคั้นรูปอีกด้วย และเมื่อพิจารณาผลของสายพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดี่ยว) ในผลิตภัณฑ์หลังการคั้นรูป พบว่าพันธุ์ข้าวเหนียวมีผลต่อค่าสี Hue แสดงว่า ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวที่แปรรูปจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข 6 มีความเข้มของสีแตกต่างกับข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวของข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



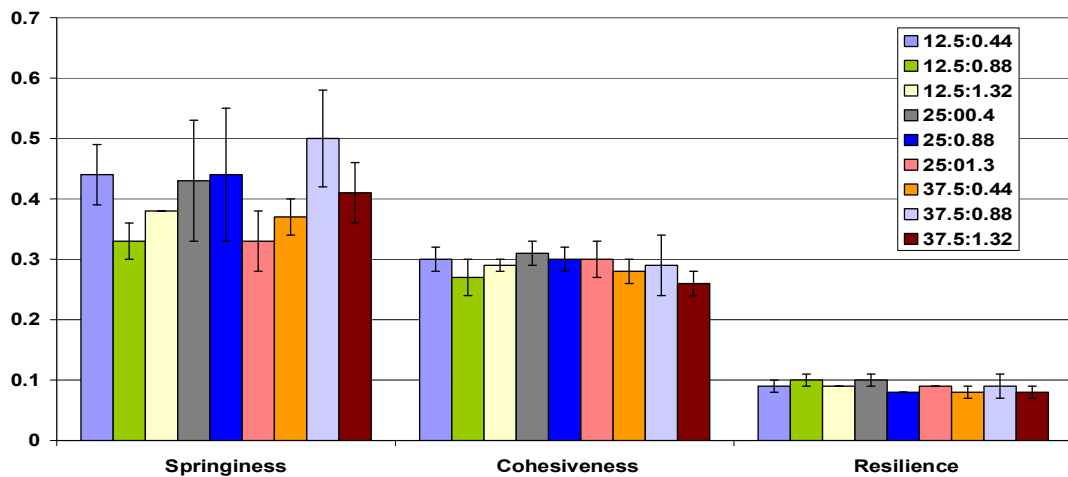
รูปที่4.27 สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความเหนียวเป็นยาง การทนต่อการเคี้ยว) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข6) เสริม นมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป



รูปที่4.28 สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความยืดหยุ่น ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความยืดหยุ่น) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข6) เสริม นมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป



รูปที่4.29 สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความเหนียวเป็นยาง การทนต่อการเคี้ยว) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมจมูกถั่วเหลืองหลังการคั่วรูป



รูปที่4.30 สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความยืดหยุ่น ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความยืดหยุ่น) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมจมูกถั่วเหลืองหลังการคั่วรูป

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการกินรูป

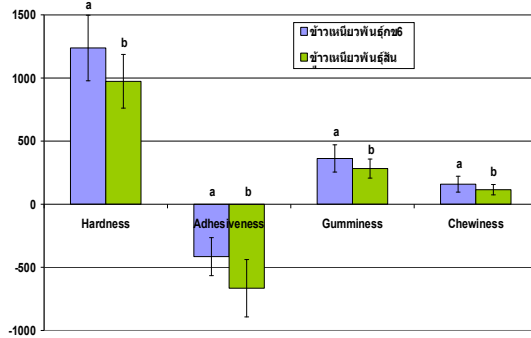
SOV	Df	MS			
		Hardness	Springiness	Adhesiveness	Cohesiveness
ปริมาณนม	2	239554.587*	0.002	8002.742	0.002
ความเข้มข้นชาเขียว	2	15681.423	0.010	32515.681	0.001
พันธุ์ข้าวเหนียว	1	942381.058*	0.015	847112.844*	0.000
นม*ชาเขียว	4	80528.438	0.021*	79178.169*	0.001
นม*พันธุ์	2	88524.955	0.019*	247563.427*	0.001
ชาเขียว*พันธุ์	2	65028.670	0.013	11117.010	0.000
นม*ชาเขียว*พันธุ์	4	55789.230	0.003	41188.177	0.001
Error	36	43525.097	0.006	23658.370	0.001

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

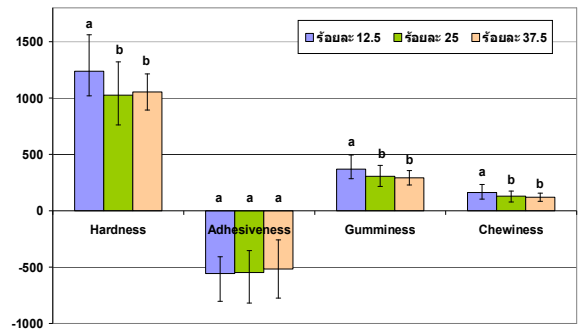
SOV	df	MS		
		Gumminess	Chewiness	Resilience
ปริมาณนม	2	30160.361*	8818.475*	0.001*
ความเข้มข้นชาเขียว	2	4673.180	3969.851	0.000
พันธุ์ข้าวเหนียว	1	86092.195*	26210.809*	0.000
นม*ชาเขียว	4	11555.291	6502.247*	0.000
นม*พันธุ์	2	16083.006	10585.219*	0.000
ชาเขียว*พันธุ์	2	3698.871	1633.238	0.000
นม*ชาเขียว*พันธุ์	4	8664.507	1320.417	0.000
Error	36	7232.091	1808.085	0.000

หมายเหตุ * หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

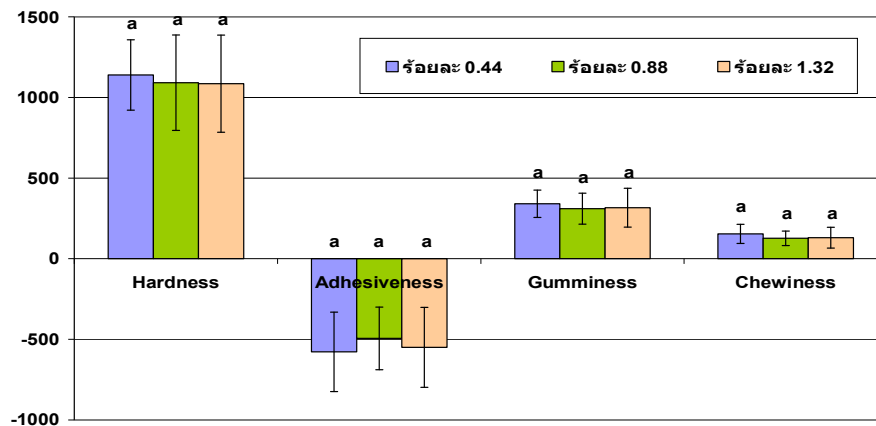
(ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว



(ข) ผลของปริมาณนมผงที่มีต่อสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

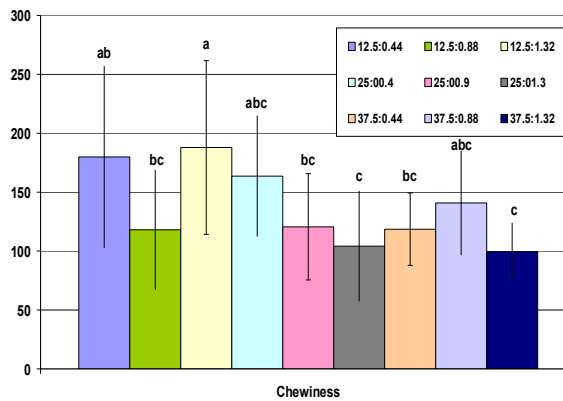


(ค) ผลของความเข้มข้นของชาเขียวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

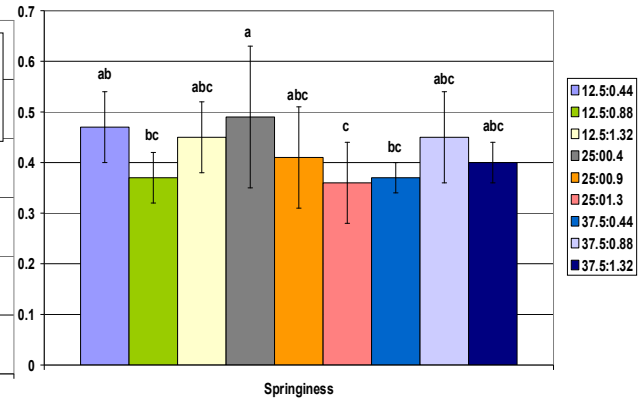


รูปที่ 4.31 สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป (ปัจจัยเดียว) (ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ข) ผลของปริมาณนมโค (ค) ผลของความเข้มข้นชาเขียว

(ก) ผลของปริมาณเนมผงและความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยร่วม) ต่อสมบัติทางกายภาพ ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว



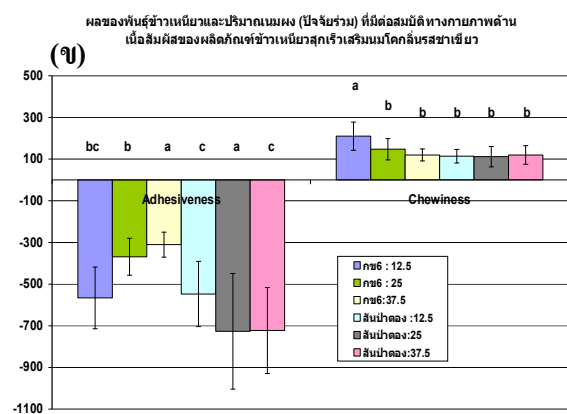
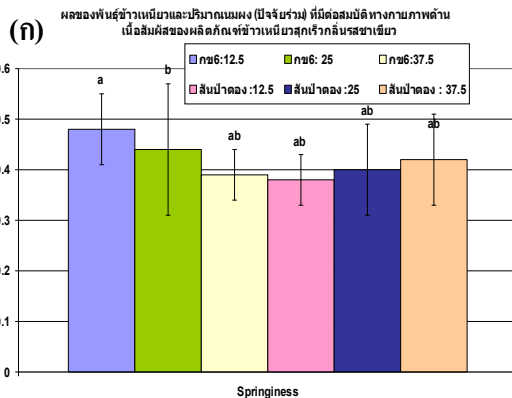
(ข) ผลของปริมาณเนมผงและความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยร่วม) ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว



รูปที่ 4.32 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโคและความเข้มข้นของชาเขียวต่อสมบัติทางกายภาพ

ด้านเนื้อสัมผัส (ก) การทนต่อการเคี้ยว (ข) ความยืดหยุ่นของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว

เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป

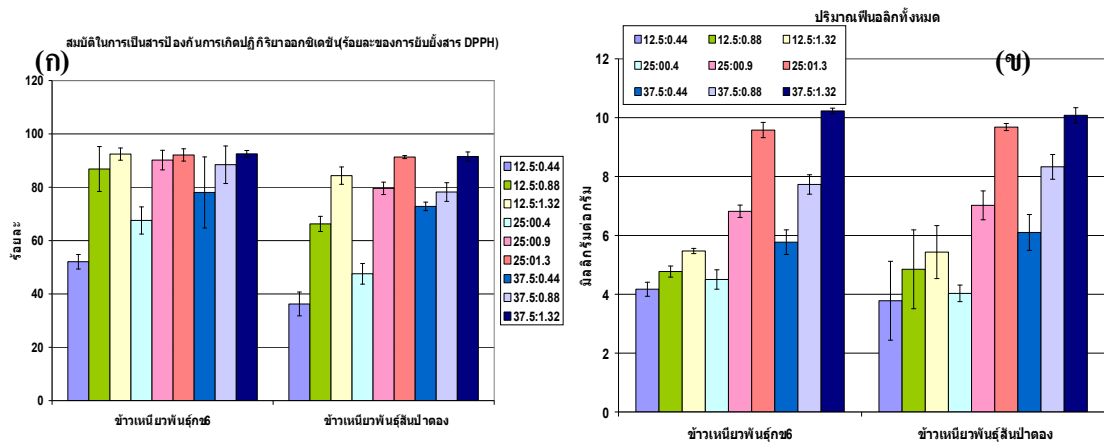


รูปที่ 4.33 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโคและพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางกายภาพด้าน

เนื้อสัมผัส (ก) ความยืดหยุ่น (ข) ความเหนียวติดกันและการทนต่อการเคี้ยวของตัวอย่าง

ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป

ผลการทดลองวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมมนมโคกลิ่นรสชาเขียวที่ผ่านการคืนรูปใช้การวิเคราะห์แบบ TPA (Texture Profile Analysis) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสซึ่งเป็นการวัดค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสของอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงมากระทำโดยอาศัยหลักการพื้นฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดที่ออกแบบเลียนแบบลักษณะการเคี้ยวภายในปาก (ธัญญภรณ์, 2549) พบว่า ค่าการเกาะติดกัน (cohesiveness) ของแต่ละตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แสดงว่า หลังการคืนรูปตัวอย่างแต่ละสูตรจะมีลักษณะการเกาะติดกันของเมล็ดข้าวเหนียวที่คล้ายคลึงกัน ส่วนค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ค่าความเหนียวติดยึด (gumminess) ค่าการเคี้ยว (chewiness) และ ค่า resilience มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลของปัจจัยเดี่ยว ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโคและความเข้มข้นของชาเขียวและผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมโคและพันธุ์ข้าวเหนียว เมื่อพิจารณาผลของข้าวเหนียว 2 สายพันธุ์ พบว่าตัวอย่างที่แปรรูปจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีค่าความแข็ง ความเหนียวยึดติดและค่าการเคี้ยวที่สูงกว่า ในขณะที่มีค่าความเหนียวติดกันน้อยกว่าตัวอย่างที่แปรรูปจากข้าวเหนียวพันธุ์ สันป่าตอง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากลักษณะเนื้อสัมผัสเฉพาะที่แตกต่างกันหรืออาจเป็นมาจากส่วนประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ สันป่าตองมีความชื้นของเมล็ดมากกว่าและมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นผลให้ข้าวเหนียวพันธุ์ สันป่าตองมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าพันธุ์ กข 6 ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยความชื้น ปริมาณไขมัน ชนิดและปริมาณของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน (วิไล, 2545) เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณนมโคที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ข้าวมีค่าความแข็ง ความเหนียวติดยึด และค่าการเคี้ยวลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีของนมที่แทรกตัวในโครงสร้างของข้าวเหนียว อาจทำให้ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวเปลี่ยนโดยอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนในนมกับสตาร์ชที่อยู่ในข้าวส่งผลให้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มความเข้มข้นของชาเขียวไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมมนมโคกลิ่นรสชาเขียว ($P > 0.05$)

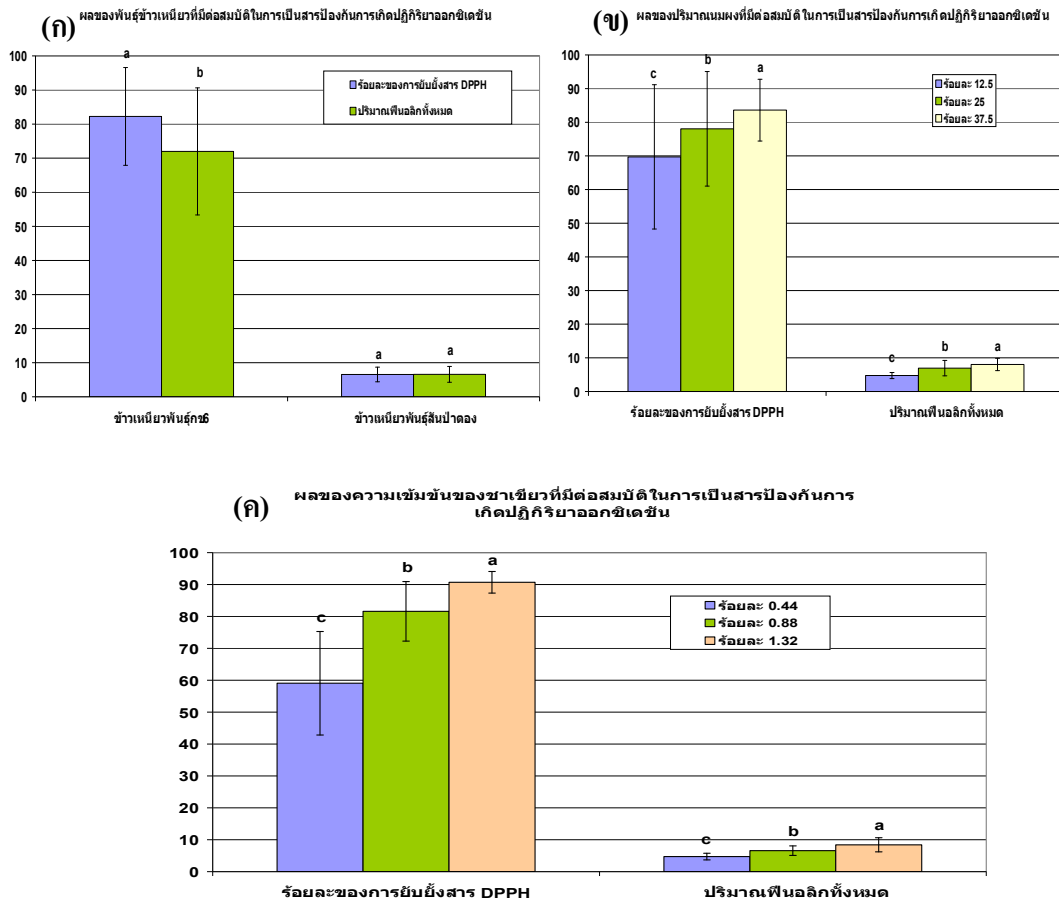


รูปที่ 4.34 (ก) สมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและ (ข) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการอบแห้ง

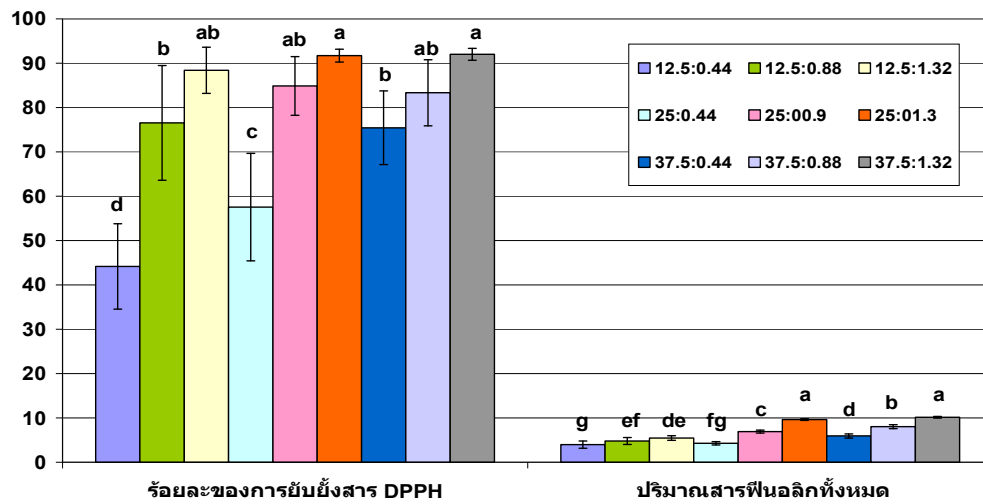
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการอบแห้งหรือก่อนการคั่วรูป

SOV	df	MS	
		ร้อยละของการยับยั้งสาร DPPH	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด
ปริมาณนม	2	586.99*	33.811*
ความเข้มข้นชาเขียว	2	3185.769*	40.829*
พันธุ์ข้าวเหนียว	1	946.342*	0.009
นม*ชาเขียว	4	246.151*	4.008*
ชาเขียว*พันธุ์	2	109.650*	0.171
นม*ชาเขียว*พันธุ์	4	21.983	0.081
Error	18	24.066	0.333

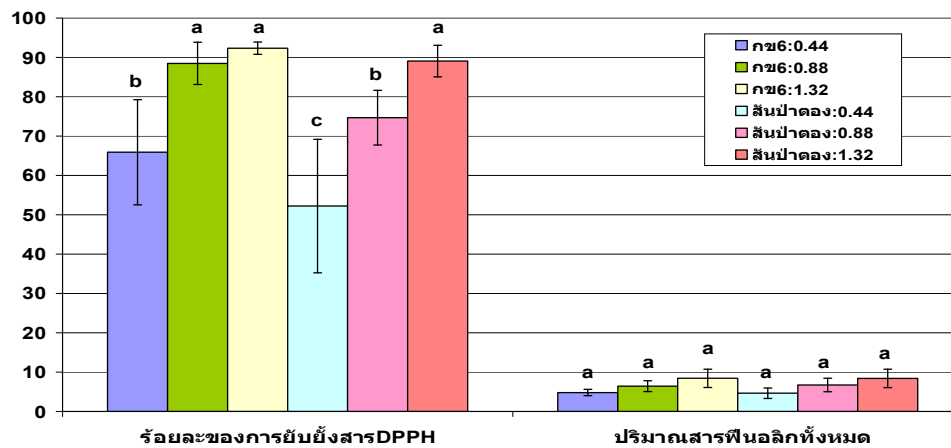
หมายเหตุ * หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.35 (ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ข) ปริมาณนมผง และ (ค) ความเข้มข้นชาเขียว (ปัจจัยเดียว) ต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการอบแห้ง



รูปที่4.36 ผลของปริมาณนโมโคและความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยร่วม) ที่มีต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนโมโคลิโนรสชาเขียว

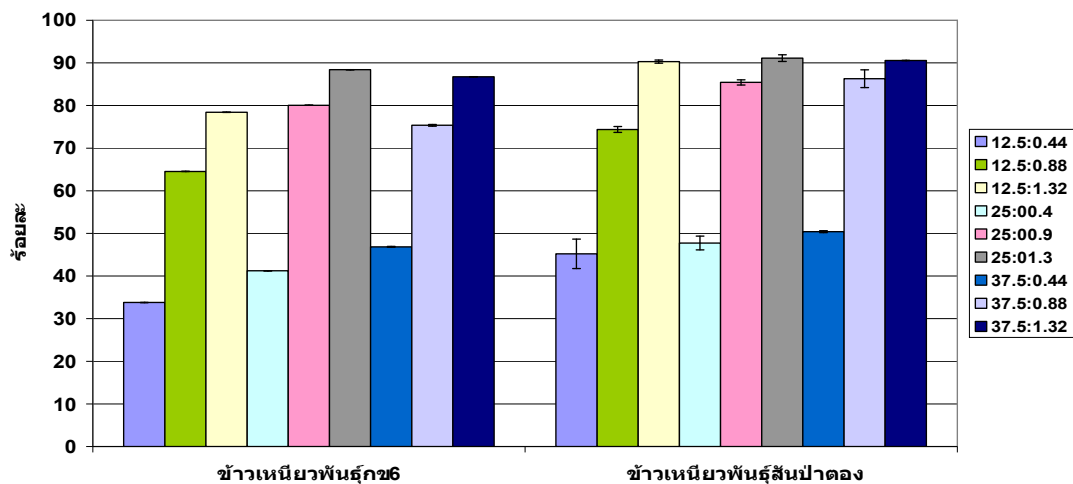


รูปที่4.37 ผลของพันธุ์ข้าวเหนียวและความเข้มข้นของชาเขียว (ปัจจัยร่วม) ที่มีต่อสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH inhibition) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนโมโคลิโนรสชาเขียวหลังการอบแห้ง

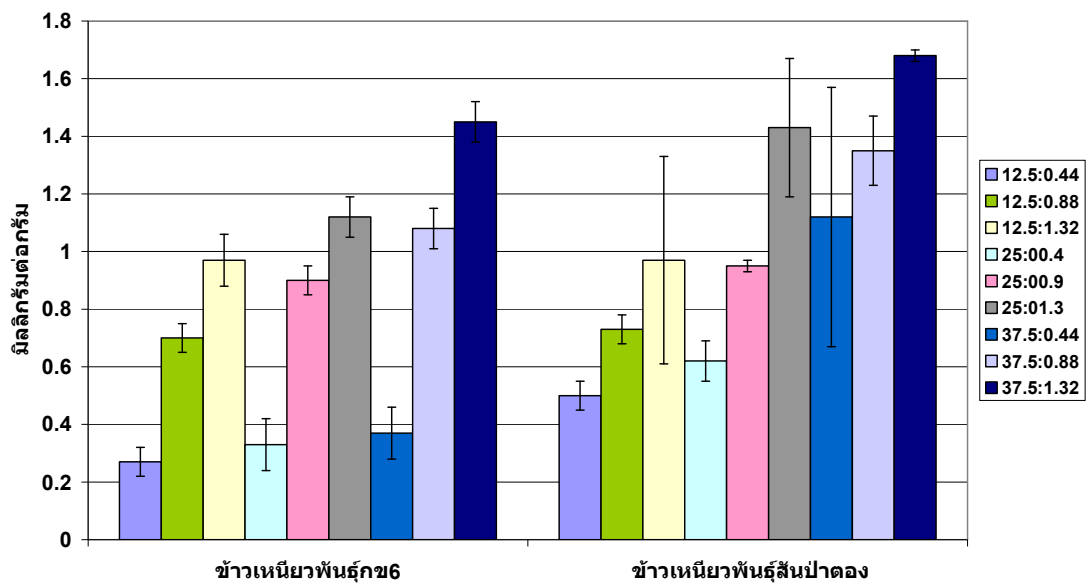
ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน	
	ร้อยละของการยับยั้งสาร DPPH	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด
ร้อยละของการยับยั้งสาร DPPH	1.000	0.775*
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	0.775*	1.000

หมายเหตุ * มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.38 สมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั่วรูป

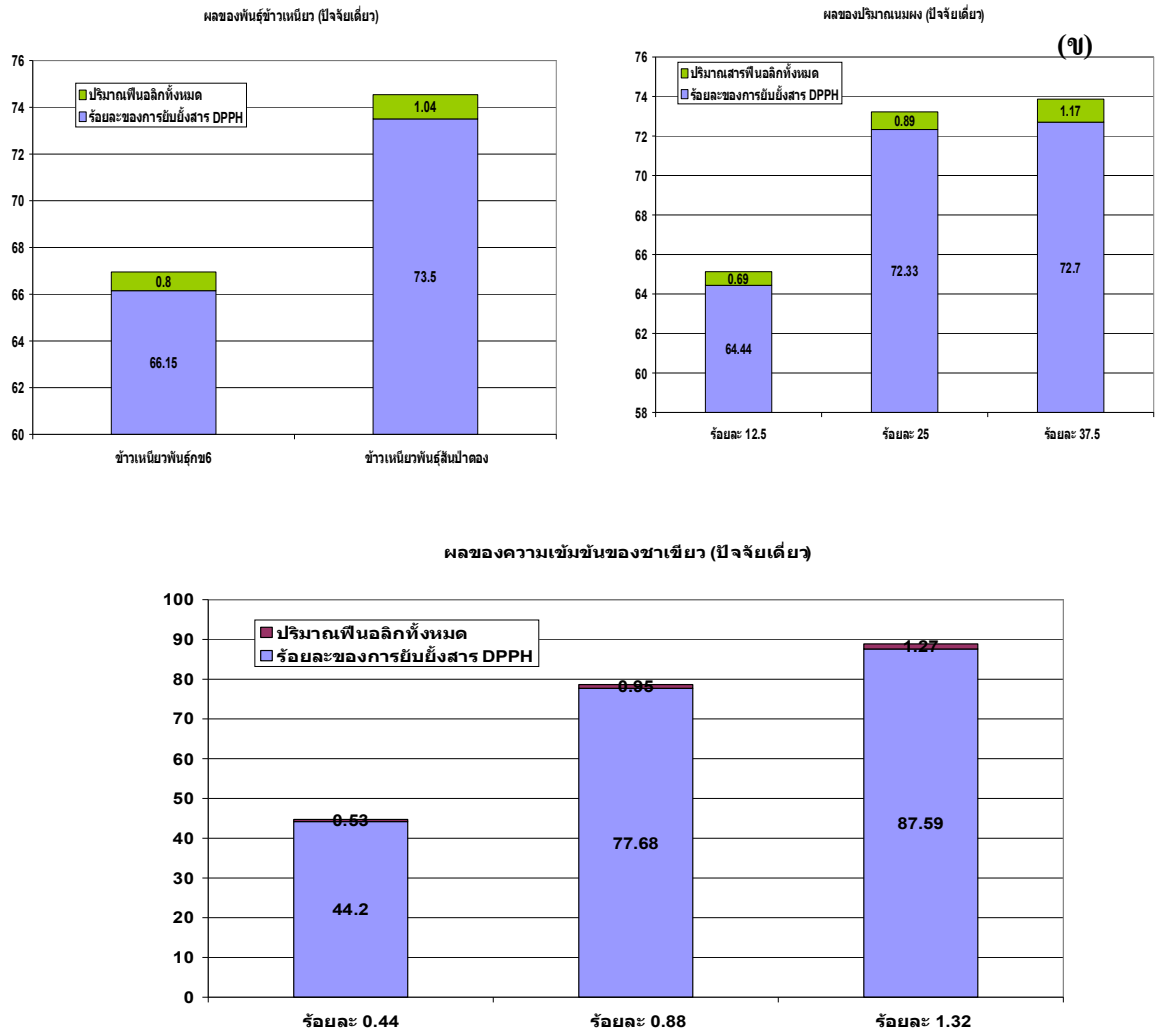


รูปที่ 4.39 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนม โกลีนาธิราชาเขียว หลังการคั่วรูป

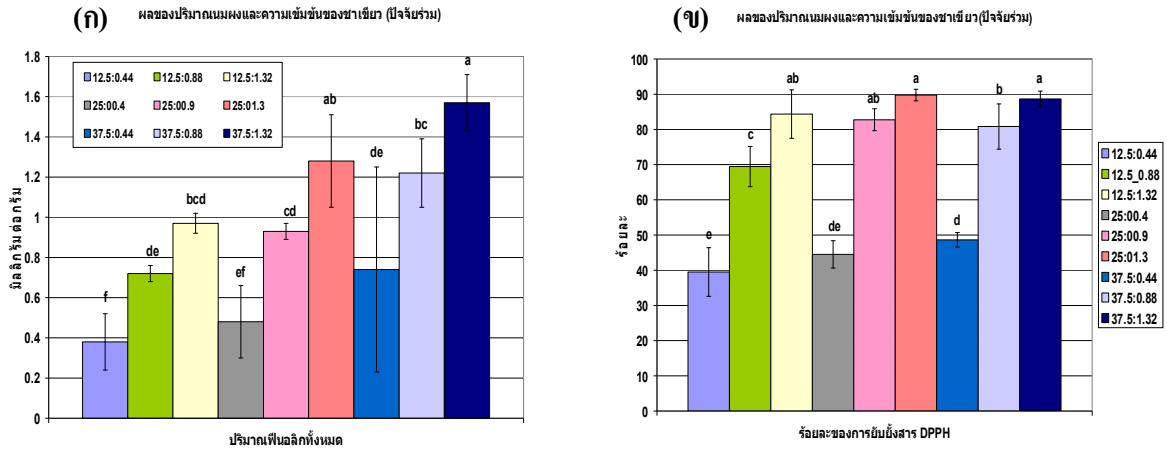
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนม โกลีนาธิราชาเขียวหลังการคั่วรูป

SOV	df	MS	
		ร้อยละการยับยั้งสาร DPPH	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด
ปริมาณนม	2	6202.354*	33.811*
ความเข้มข้นชาเขียว	2	485.255*	40.829*
พันธุ์ข้าวเหนียว	1	30.583*	0.009
นม*ชาเขียว	4	32.168*	4.008*
ชาเขียว*พันธุ์	2	5.040*	0.171
นม*ชาเขียว*พันธุ์	4	8.706*	0.081
Error	18	1.138	0.333

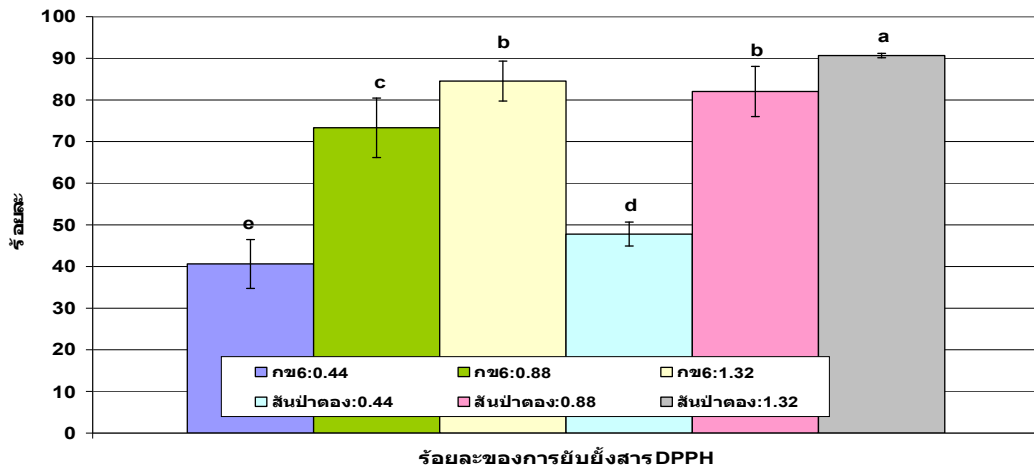
หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.40 (ก) ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ข) ปริมาณนมผง และ (ค) ความเข้มข้นชาเขียว (ปัจจัยเดียว) ต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั่วรูป



รูปที่ 4.41 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมผงและความเข้มข้นของชาเขียวต่อสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคั่วรูป (ก) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ข) ร้อยละของการยับยั้งสาร DPPH



รูปที่ 4.42 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวเหนียวและความเข้มข้นของชาเขียวต่อสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH inhibition) ของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังคั่วรูป

ผลการศึกษาศมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว โดยทดลองผันแปรปริมาณนมผง ความเข้มข้นชาเขียวและ พันธุ์ข้าวเหนียว ทดสอบสมบัติก่อนและหลังการคั้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยทดสอบความสามารถในการจับสาร DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง (Chen *et al.*, 1999) พบว่า ค่าความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์ก่อนการคั้นรูปมีค่าอยู่ในช่วง 36.25 ± 4.45 ถึง 92.51 ± 1.28 เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยเดี่ยว คือ ปริมาณนมผง ความเข้มข้นชาเขียวร้อยละและสายพันธุ์ข้าวเหนียว พบว่า เมื่อแปรปริมาณนมผงในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นและ แปรร้อยละของความเข้มข้นชาเขียวเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH (ร้อยละ) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาศมบัติในเบื้องต้นของวัตถุดิบคือนมผงและชาเขียวผงที่มีค่าความสามารถการยับยั้งสาร DPPH ร้อยละ 30.33 ± 0.47 และ 97.37 ± 0.56 ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณนมผงหรือชาเขียวผงในผลิตภัณฑ์จะทำให้สมบัติในการยับยั้งสาร DPPH เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนผลของปัจจัยร่วม พบปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมกับความเข้มข้นชาเขียว พันธุ์ข้าวเหนียวกับความเข้มข้นชาเขียว อีกทั้งยังพบปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมกับความเข้มข้นชาเขียวและพันธุ์ข้าวเหนียวในผลิตภัณฑ์หลังการคั้นรูป ค่าความสามารถในการยับยั้ง DPPH (ร้อยละ) อยู่ในช่วง 33.79 ± 0.01 ถึง 91.12 ± 0.77 โดยค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงว่า การเสริมนมผงและชาเขียวผงในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสชาเขียวช่วยเพิ่มคุณประโยชน์ของข้าวเหนียวในด้านสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งในแง่สุขภาพและช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวก่อนและหลังการคั้นรูป โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu และคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในรูปของ gallic acid equivalents ต่อสารสกัด 1 กรัม (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมสารสกัด) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสกัดด้วยสารละลายเมทานอล (methanol) เข้มข้นร้อยละ 50 คำนวณค่าจากกราฟมาตรฐาน ($y = 0.0032x + 0.0168$, $R^2 = 0.9976$) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างก่อนและหลังการคั้นรูปจะอยู่ในช่วง 3.78-10.23 และ 0.27-1.68 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมสารสกัด ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยเดี่ยวคือ ปริมาณนมผง ความเข้มข้นชาเขียว พบว่า เมื่อทดลองผันแปรปริมาณนมผงในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นและผันแปรร้อยละความเข้มข้นชาเขียวเพิ่มขึ้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมสารสกัด) ที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาศมบัติค่าความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH (ร้อยละ) แปรร้อยละความเข้มข้นชาเขียวที่

เพิ่มขึ้น จะมีค่าความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH (ร้อยละ) เพิ่มขึ้นตามไปด้วยและเมื่อพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH และปริมาณสารฟีนอลิก ทั้งหมดพบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงว่า ผลจากการทดลองถ้าปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาผล ปัจจัยร่วมของปริมาณนمผงกับร้อยละความเข้มข้นชาเขียว พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมสารสกัด) ของตัวอย่างที่มีการผันแปรปริมาณนمผงและชาเขียวเมื่อ เปรียบเทียบที่ระดับความเข้มข้นของชาเขียวเดียวกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนمผงมากขึ้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า ไม่มีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนในนมผง กับสารฟีนอลิกที่อยู่ในชาเขียวซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Arts *et al.* (2002) ซึ่งรายงานการเกิดอันตรกิริยาร่วมกันของสารฟีนอลและโปรตีนจากนมทำให้เกิดการรวมกันของ โปรตีนกับสารฟีนอลหลายตัวมีพันธะร่วมกับโมเลกุลโปรตีนเพียงตัวเดียว (multisite) และแบบ สารฟีนอล 1 ตัวมีพันธะกับหลายตำแหน่งของโปรตีนหรือโปรตีนหลายโมเลกุล (multidentate) ทำให้เกิดการบดบังพอลิฟีนอล เช่น คาเทชิน ฟาโวนอยด์ในโปรตีนนม ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิก ทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมสารสกัด) ที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสถานะ การทดลองหรือสถานะของตัวอย่างแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) เสริมนมโกลีนรสาขาเขียว

ปริมาณ นมโค	ความเข้มข้นของชา เขียว (ร้อยละ)	การทดสอบชิม					
		สี	กลิ่นรสาขาเขียว	กลิ่นรสนมโค	ความเหนียว	ความนุ่ม	การยอมรับรวม
12.5	0.44	3.00±1.37	3.32±2.46	2.98±2.13	5.56±1.87	5.00±2.46	4.65±1.82
	0.88	5.53±1.53	4.42±2.47	3.84±2.26	6.10±1.92	4.20±1.80	4.75±1.81
	1.32	6.40±1.71	5.04±2.55	3.59±2.28	5.52±2.29	5.47±2.55	4.90±2.35
25	0.44	3.01±1.76	2.97±2.13	3.48±2.14	5.50±2.44	4.94±2.09	4.71±1.62
	0.88	5.32±2.40	4.67±2.42	3.42±2.61	5.53±1.41	4.49±2.31	5.22±1.87
	1.32	7.01±1.78	5.37±2.63	3.76±2.38	5.71±2.29	4.30±2.25	5.42±1.91
37.5	0.44	2.96±1.56	3.02±2.20	4.82±2.91	5.72±2.67	4.70±2.52	4.40±1.84
	0.88	5.27±1.49	3.82±1.96	3.76±2.09	5.82±1.72	4.78±2.21	5.26±2.07

หมายเหตุ ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมจำนวน 25 คน

ตารางที่ 4.9 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสิร์มนมโกลิ่นรสชาเขียว

ปริมาณ นมผง	ความเข้มข้นของ ชาเขียว (ร้อยละ)	การทดสอบชิม					
		สี	กลิ่นรสชาเขียว	กลิ่นรสนมโค	ความเหนียว	ความนุ่ม	การยอมรับรวม
12.5	0.44	2.96±1.83	4.28±2.50	6.41±1.89	5.12±1.98	3.53±1.94	5.44±1.51
	0.88	5.81±1.45	4.23±1.84	6.67±1.93	4.80±2.73	4.29±2.08	4.85±1.92
	1.32	6.82±1.95	4.28±1.91	6.00±2.48	4.60±2.32	4.88±2.16	5.23±1.54
25	0.44	3.08±1.75	4.24±1.77	6.19±1.79	4.84±2.28	3.12±2.12	5.09±1.76
	0.88	5.37±1.70	4.63±1.82	5.95±1.74	4.62±1.95	4.80±1.81	5.20±1.11
	1.32	6.78±1.23	5.20±2.09	6.23±1.47	4.68±1.99	4.98±2.13	5.25±1.86
37.5	0.44	3.16±1.75	5.62±2.27	6.28±1.34	5.72±2.11	3.62±1.89	5.90±1.80
	0.88	5.77±1.81	4.74±2.54	6.20±1.29	4.80±2.14	4.99±2.07	5.43±1.94
	1.32	7.42±1.39	6.02±2.07	6.06±1.88	5.11±1.70	5.20±2.05	5.32±1.40

หมายเหตุ ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมจำนวน 25 คน

ตารางที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของชาเขียว และพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว) ต่อสมบัติประสาทสัมผัส
ด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว
เสริมนมโคกลิ่นรสชาเขียว

ปัจจัยเดียว		การทดสอบชิม					
		สี	กลิ่นรสชาเขียว	กลิ่นรสนมโค	ความเหนียว ^{ns}	ความนุ่ม	การยอมรับรวม ^{ns}
ความเข้มข้นชาเขียว	0.44	3.03±1.65 ^c	3.91±2.39 ^b	5.03±2.48	5.84±5.87	4.15±2.27 ^b	5.03±1.78
	0.88	5.51±1.74 ^b	4.42±2.18 ^b	4.97±2.40	5.28±2.06	4.59±2.04 ^{ab}	5.12±1.80
	1.32	6.91±1.64 ^a	5.14±2.27 ^a	5.00±2.44	5.32±2.19	4.75±2.30 ^a	5.39±1.92
พันธุ์ข้าวเหนียว	กข 6	5.06±2.32	4.17±2.45 ^b	3.78±2.40 ^b	6.04±4.89	4.61±2.31 ^a	5.06±1.99
	สันป่าตอง	5.24±2.33	4.80±2.16 ^a	6.22±1.77 ^a	4.92±2.14	4.38±2.12 ^b	5.30±1.66

หมายเหตุ ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c, ... อักษรที่แตกต่างกันอย่างในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมผงกับพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางประสาทสัมผัส
ด้านกลิ่นรสชาเขียวของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลิ่นรสชาเขียว

ปริมาณนมผง	พันธุ์ข้าวเหนียว	การทดสอบชิม
		กลิ่นรสชาเขียว
12.5	กข 6	4.26±2.56 ^b
	สันป่าตอง	4.26±2.08 ^b
25	กข 6	4.33±2.58 ^b
	สันป่าตอง	4.69±1.91 ^b
37.5	กข 6	3.92±2.21 ^b
	สันป่าตอง	5.46±2.33 ^a

หมายเหตุ ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b อักษรที่แตกต่างอย่างในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของชาเขียว (ร้อยละ) กับพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว และการยอมรับรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็ว เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

ความเข้มข้นของชาเขียว (ร้อยละ)	พันธุ์ข้าวเหนียว	การทดสอบชิม	
		ความเหนียว	การยอมรับรวม
0.44	กข 6	6.46±8.01 ^a	4.59±1.75 ^b
	สันป่าตอง	5.23±2.13 ^{ab}	5.48±1.71 ^a
0.88	กข 6	5.82±1.69 ^{ab}	5.08±1.91 ^{ab}
	สันป่าตอง	4.74±2.27 ^b	5.16±1.69 ^{ab}
1.32	กข 6	5.85±2.26 ^{ab}	5.51±2.21 ^a
	สันป่าตอง	4.80±2.00 ^b	5.27±1.59 ^a

หมายเหตุ ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b อักษรที่แตกต่างกันอย่างในแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน					
	สี	กลิ่นรสชาเขียว	กลิ่นรสนมโค	ความเหนียว	ความนุ่ม	การยอมรับโดยรวม
สี	1.00	0.958**	0.123	0.473	-0.449	0.771*
กลิ่นรสชาเขียว	0.958**	1.00	-0.013	0.30	-0.362	0.661
กลิ่นรสนมโค	0.123	-0.013	1.00	0.55	-0.453	0.158
ความเหนียว	0.473	0.300	0.550	1.00	-0.825**	0.586
ความนุ่ม	-0.449	-0.362	-0.453	-0.825**	1.00	-0.672*
การยอมรับรวม	0.771*	0.661	0.158	0.586	-0.672*	1.00

หมายเหตุ * มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) * มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 4.14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียวและการยอมรับ โดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ สันป่าตอง) เสริมนมโคกลิ่นรสชาเขียว

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน					
	สี	กลิ่นรสชาเขียว	กลิ่นรสนมโค	ความเหนียว	ความนุ่ม	การยอมรับโดยรวม
สี	1.00	0.298	-0.312	-0.521	0.937**	-0.363
กลิ่นรสชาเขียว	0.298	1.00	-0.272	0.545	0.354	0.552
กลิ่นรสนมโค	-0.312	-0.272	1.00	0.249	-0.42	-0.192
ความเหนียว	-0.521	0.545	0.249	1.00	-0.466	0.776*
ความนุ่ม	0.937**	0.354	-0.420	-0.466	1.00	-0.159
การยอมรับรวม	-0.363	0.552	-0.192	0.776*	-0.159	1.00

หมายเหตุ * มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ** มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ผลการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลิ่นรสชาเขียวที่ผ่านการคืนรูปด้วยไอน้ำร้อน โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 25 คน ใช้แบบสอบถามแบบบรรยายและสเกลให้คะแนน (Descriptive with scaling test) จากปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปริมาณนมผง ความเข้มข้นชาเขียวและสายพันธุ์ข้าวเหนียวพบว่า สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยเดี่ยวพบว่า ความเข้มข้นชาเขียวมีผลต่อสมบัติทางประสาทสัมผัส กลิ่นรสชาเขียวและความนุ่ม โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนค่าสี กลิ่นรสชาเขียวของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นตามความเข้มข้นชาเขียวที่เพิ่มขึ้นซึ่งคะแนนด้านสีและกลิ่นรสชาเขียวมีความสัมพันธ์ตามกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และคะแนนการยอมรับโดยรวมจะแปรผันตามค่าสีและแปรผกผันกับความนุ่ม (ตารางที่ 4.13) ส่วนผลของพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสชาเขียว กลิ่นรสนมโค ความเหนียว โดยข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตองให้ค่ากลิ่นรสชาเขียว กลิ่นรสนมโคที่สูงกว่าข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข 6 ขณะที่การทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข 6 มีค่าความเหนียวที่สูงกว่า ความเหนียวที่ปรากฏเป็นผลมาจากปริมาณของอะไมโลเพกตินที่เป็นองค์ประกอบของสตาร์ชในเมล็ดเป็นส่วนใหญ่ (อรอนงค์, 2547) และพบผลของปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณนมผงกับพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติสมบัตินประสาทสัมผัสด้าน กลิ่นรสชาเขียวและผลของปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของชาเขียว (ร้อยละ) กับพันธุ์ข้าวเหนียวต่อสมบัติทางประสาท

สัมผัสด้านความเหนียว และการยอมรับรวมของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีหลัก (chroma) และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ข6) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน	
	ค่าสีหลัก (chroma)	สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี
ค่าความเข้มของสี (chroma)	1.000	0.839**
สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี	0.839**	1.000

หมายเหตุ ** มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีหลัก (chroma) และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) เสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวหลังการคืนรูป

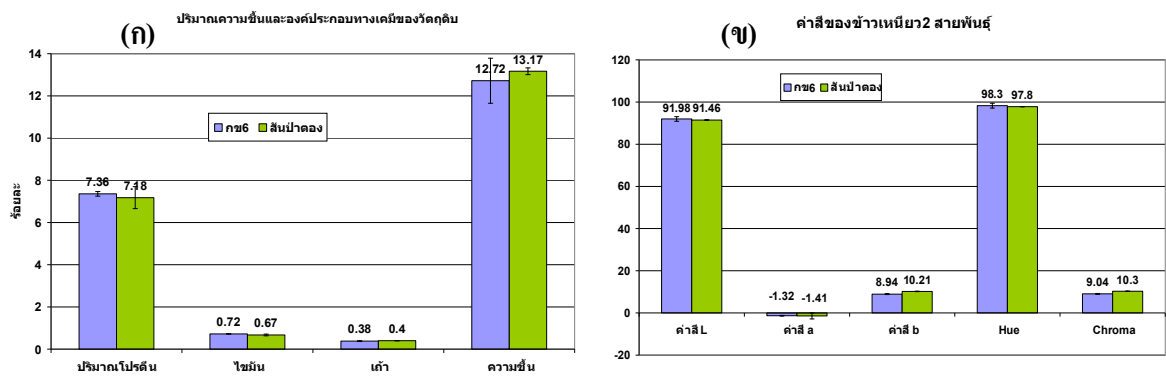
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน	
	ค่าสีหลัก (chroma)	สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี
ค่าความเข้มของสี (chroma)	1.000	0.813**
สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี	0.813**	1.000

หมายเหตุ ** มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพที่ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์และคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์แปรตามกัน นั่นคือ ผู้ทดสอบชิมประเมินความเข้มของสีของตัวอย่างได้สอดคล้องกับการวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก ลักษณะสีของตัวมีระดับความเข้มอ่อนแตกต่างกันอย่างชัดเจนซึ่งเป็นผลจากการผันแปรปริมาณชาเขียวผงในตัวอย่างที่ทดลอง

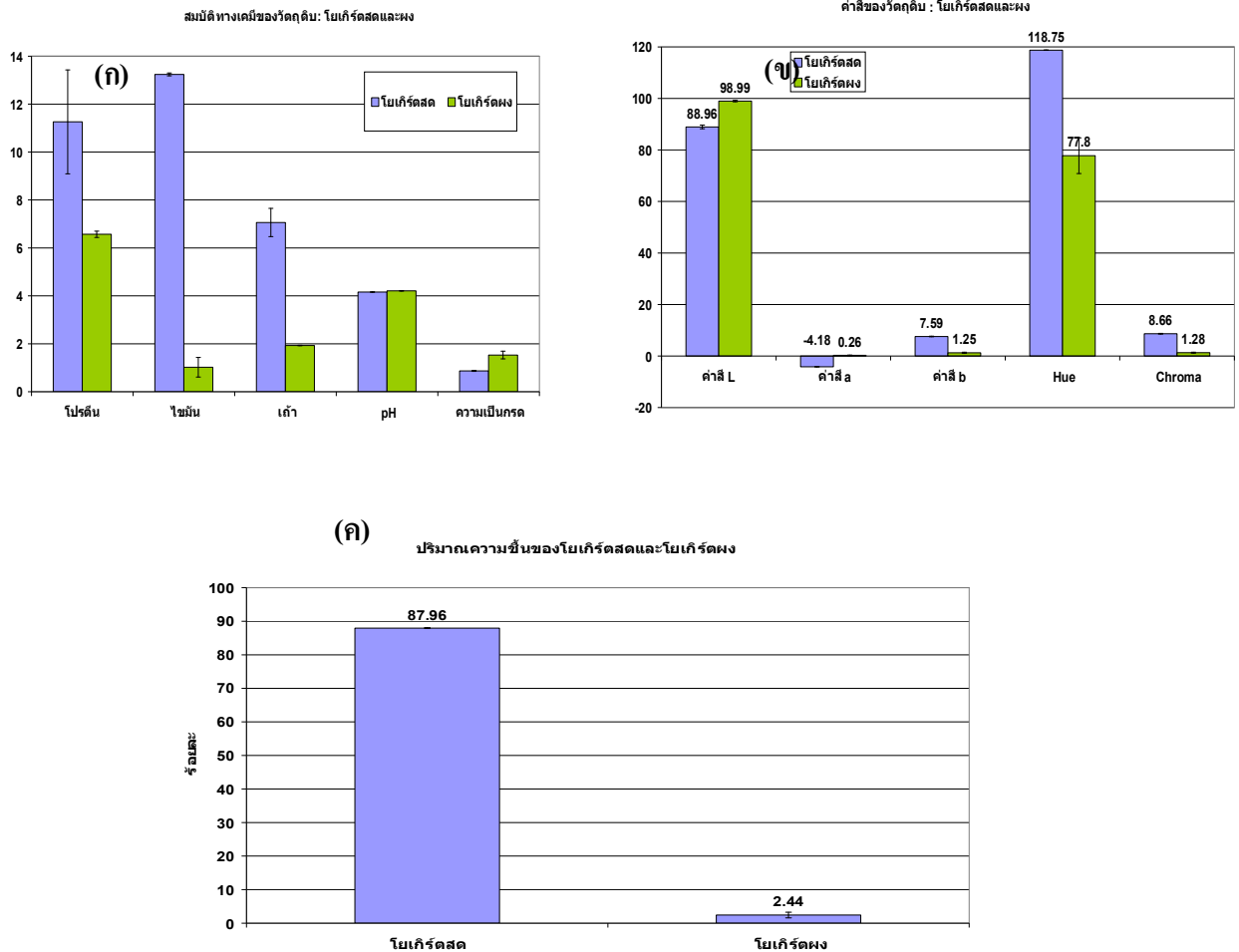
ตอนที่ 4.3 สมบัติทางเคมีกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว กลิ่นรสโยเกิร์ต

การทดลองศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบได้แก่ ข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6 และพันธุ์ สันป่าตอง) และโยเกิร์ต (โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง) แสดงผลในรูปที่ 4.43-4.44 จากนั้นทดลองหาระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม ดังแสดงผลในรูปที่ 4.45-4.48



รูปที่ 4.43 (ก) ปริมาณความชื้น ส่วนประกอบทางเคมี (dry basis) และ (ข) ค่าสีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และสันป่าตอง

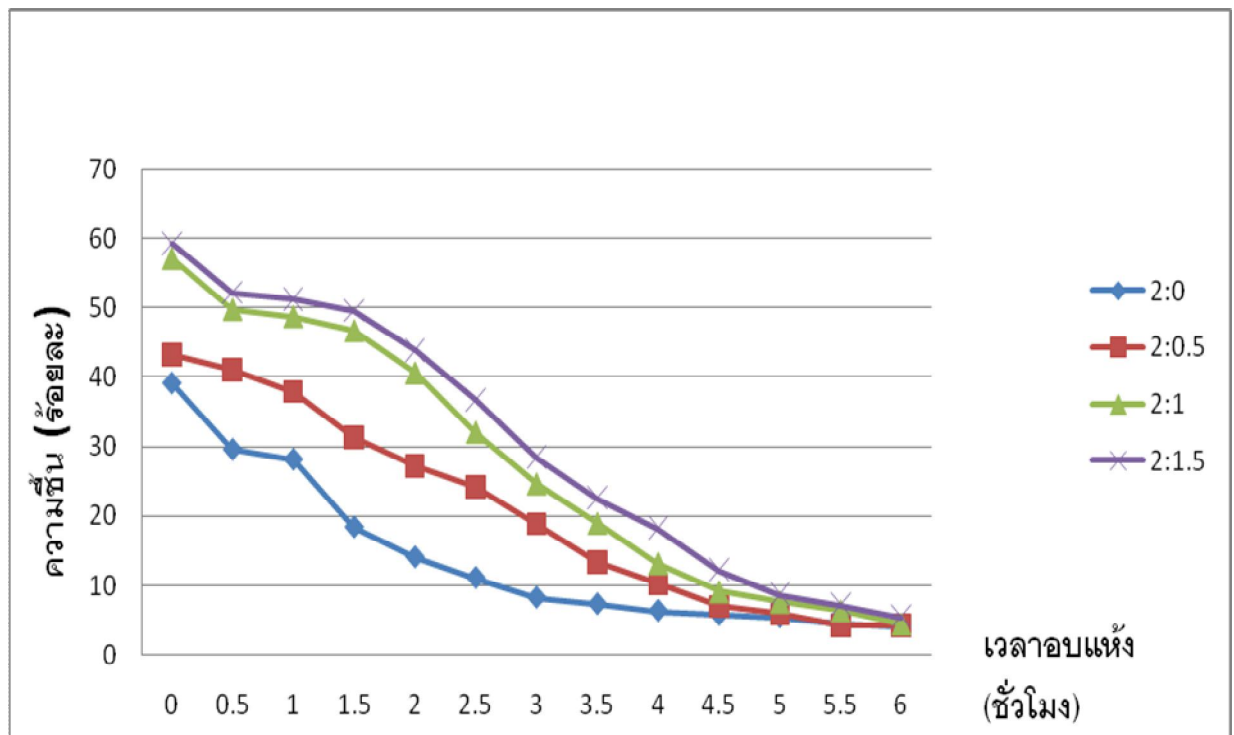
ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและค่าสีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และพันธุ์ สันป่าตอง พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 7.1-7.3 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.6-0.7 และปริมาณเถ้าร้อยละ 0.3-0.4 ปริมาณความชื้นร้อยละ 12-13 ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการรายงานส่วนประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวข้าวของกรมการข้าว (2549) ส่วนค่าสี L, a, b, Hue และ Chroma แสดงว่า เมล็ดข้าวเหนียวมีโทนสีขาว การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและค่าสีของวัตถุดิบข้าวเหนียวตั้งต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสโยเกิร์ตที่พัฒนาขึ้นมีส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร



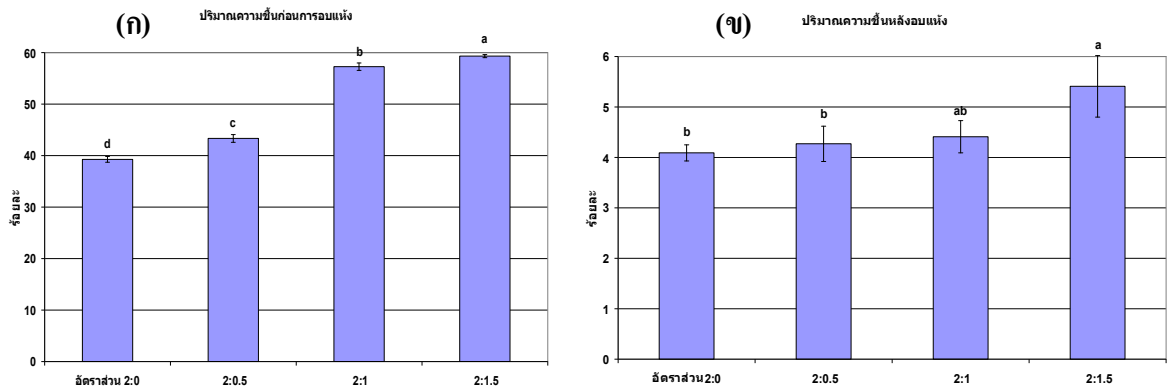
รูปที่ 4.44 (ก) ส่วนประกอบทางเคมี (Dry basis) (ข) ค่าสีและ (ค) ปริมาณความชื้นของโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า ความเป็นกรดและค่าพีเอชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของโยเกิร์ตผงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าโยเกิร์ตสด เนื่องจากการแปรรูปโยเกิร์ตผงจะมีการเติมมอลโทเดกซ์ทรินซึ่งผลิตจากแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2548) เพื่อช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคผงและช่วยในกระบวนการผลิตโยเกิร์ตผงโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) จึงทำให้โยเกิร์ตผงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงกว่าโยเกิร์ตสด ส่วนปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้าของโยเกิร์ตสดมีมากกว่าโยเกิร์ตผง โดยมีค่าปริมาณโปรตีนร้อยละ 11.26 ± 2.17 และ 6.57 ± 0.13 ตามลำดับ ปริมาณไขมันมีค่าร้อยละ 13.24 ± 0.06 และ 1.02 ± 0.41 ตามลำดับและปริมาณเถ้าร้อยละ 7.06 ± 0.59 และ 1.93 ± 0.01 ตามลำดับ

เนื่องจากโยเกิร์ตผงผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน (วิไล, 2545) อาจทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไปบางส่วน นอกจากนี้การเติมมอลโทเด็คซ์ทรินทำให้สัดส่วนปริมาณโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุเมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตของโยเกิร์ตผง มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตของโยเกิร์ตสดซึ่งไม่มีมอลโทเด็คซ์ทรินเป็นส่วนประกอบ

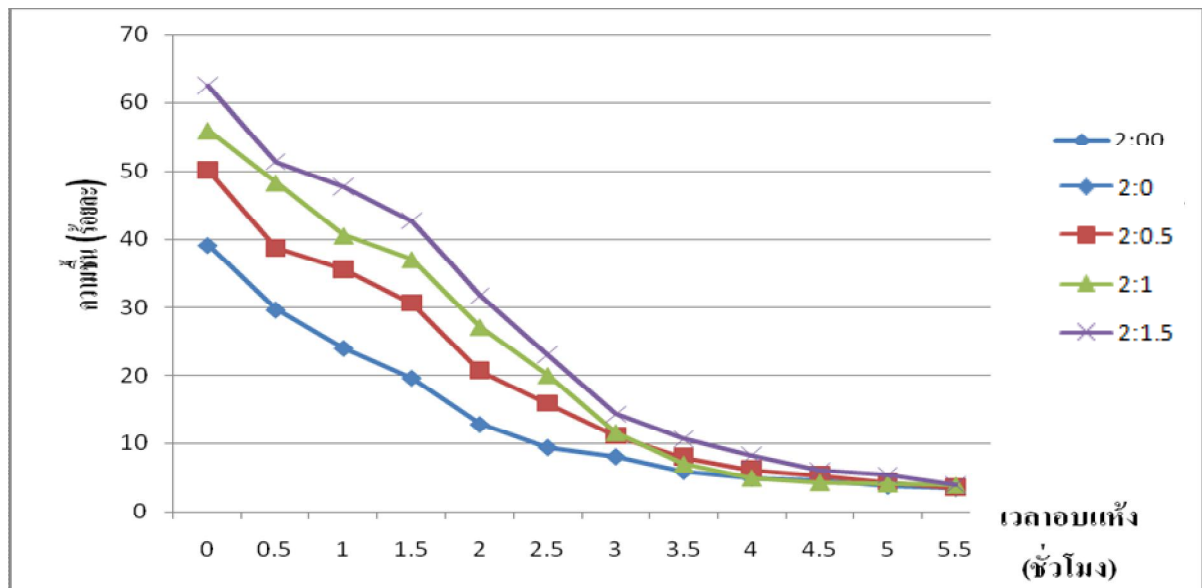


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นที่ระยะเวลาต่างๆ ของการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์ กข 6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่มีการผันแปรปริมาณโยเกิร์ตในอัตราส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

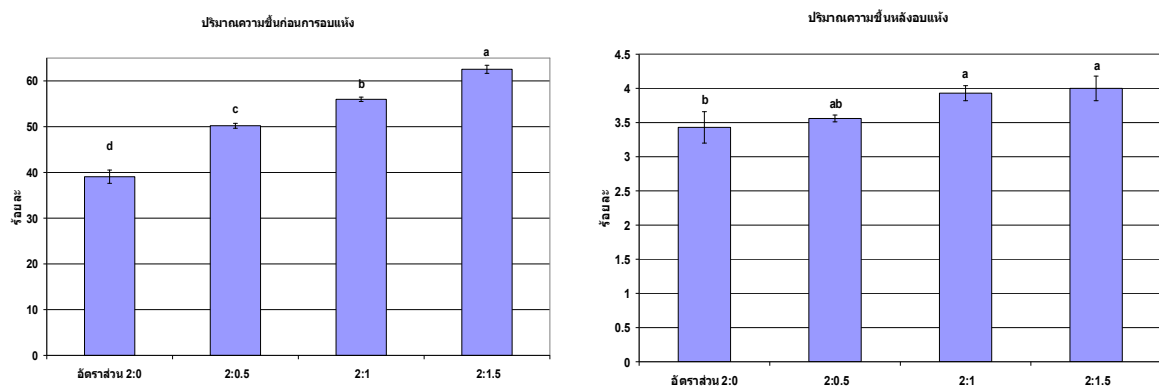


รูปที่ 4.46 ปริมาณความขึ้นก่อนการอบแห้งและหลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (กข 6) สุกเร็ว กลิ่นรสโยเกิร์ต (อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงและความชื้นของ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 หลังผ่านการนึ่งหรือก่อนการอบแห้ง มีค่าร้อยละ 38.25 ± 0.57)

ผลการทดลอง พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่แช่ในโยเกิร์ตสดมีปริมาณความขึ้นก่อนการอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตน้อย จะมีปริมาณความขึ้นน้อยตั้งแต่เริ่มอบและส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วจนคงที่ แสดงว่า ความชื้นก่อนอบส่งผลต่อความชื้นหลังอบเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากัน ส่วนความชื้นหลังการอบแห้ง พบว่า ความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ต่อโยเกิร์ตสดที่อัตราส่วนต่างๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยอัตราส่วน 2:1.5 มีปริมาณความขึ้นแตกต่างจากอัตราส่วน 2:0.5 และ 2:0 แต่ไม่แตกต่างจากอัตราส่วน 2:1 และเมื่อนำข้อมูลความชื้นที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่างปริมาณความขึ้นกับเวลา พบว่า กราฟปริมาณความขึ้นของข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตสดที่อัตราส่วนต่างๆเริ่มคงที่ที่ 6 ชั่วโมง จึงใช้เวลานี้ทำการอบแห้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองต่อโยเกิร์ตในอัตราส่วนต่างๆ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



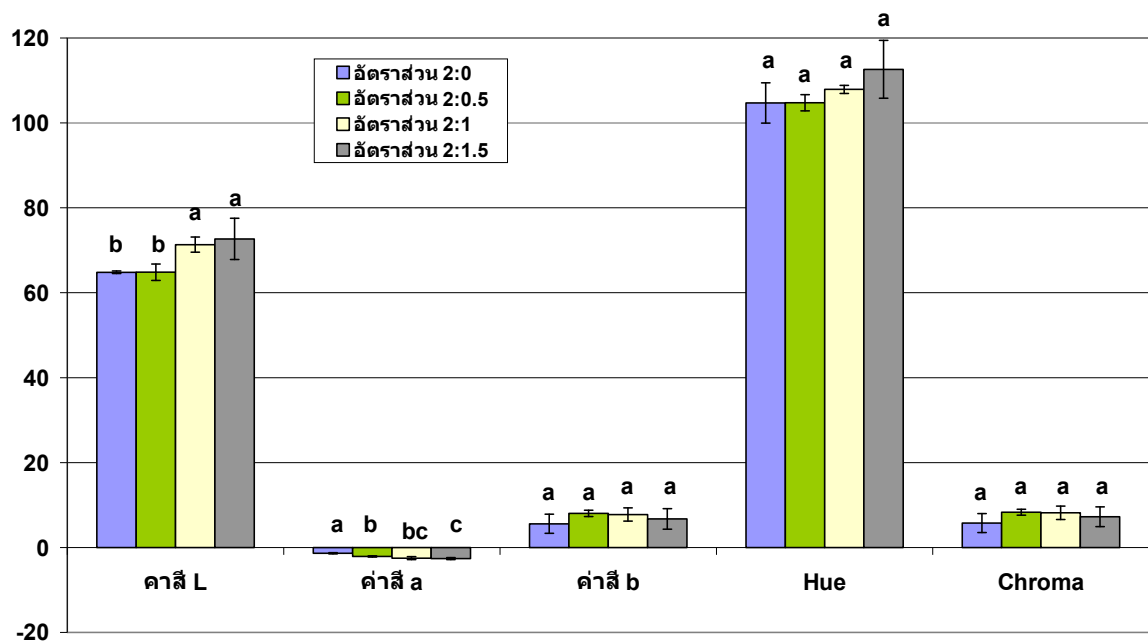
รูปที่ 4.48 ปริมาณความชื้นก่อนการอบแห้งและหลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว(สันป่าตอง) สุกเร็ว กลิ่นรสโยเกิร์ต (อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5.5 ชั่วโมง)

ผลการทดลอง พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองที่แช่ในโยเกิร์ตสดมีปริมาณความชื้นก่อนการอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตต่ำจะมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนอบต่ำกว่าที่อัตราส่วนของโยเกิร์ตสูงและส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงที่ แสดงว่า ความชื้นก่อนอบจะส่งผลต่อความชื้นหลังอบ หากความชื้นก่อนอบน้อยจะทำให้ความชื้นที่ได้เร็วขึ้น ส่วนความชื้นหลังการอบแห้ง พบว่า ความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองต่อโยเกิร์ตสดที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ประกอบกับการนำข้อมูลความชื้นที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา พบว่า กราฟปริมาณความชื้นของ

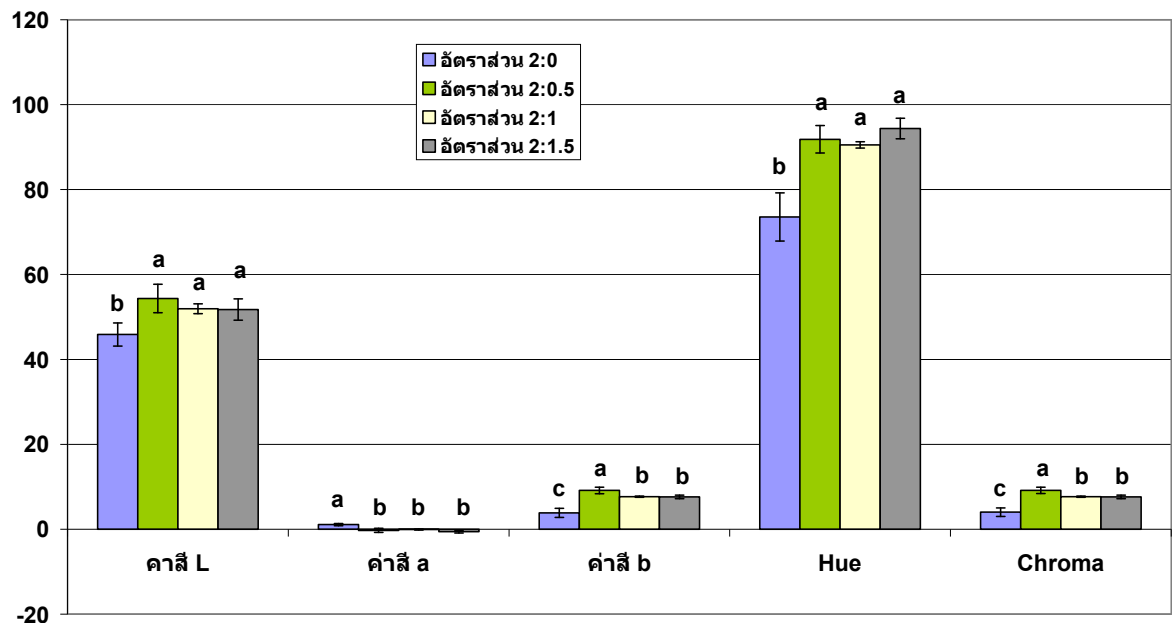
ข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตสดที่อัตราส่วนต่างๆ เริ่มคงที่ที่ 5.5 ชั่วโมง จึงใช้เวลานี้ทำการอบแห้ง ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4.3.1 ค่าสีและสมบัติประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังการคืนรูป

การทดลองทำการวัดค่าสีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสชาเขียวที่แปรรูปจากข้าวเหนียวพันธุ์กข6 และสันป่าตองและผันแปรอัตราส่วนของข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตสดก่อนและหลังการอบแห้ง ดังแสดงผลในรูปที่ 4.49-4.52 จากนั้นคืนรูปผลิตภัณฑ์โดยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนและทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกสูตรหรืออัตราส่วนของข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตที่เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด ดังแสดงผลในตารางที่ 4.17-4.21 และรูปที่ 4.53-4.55

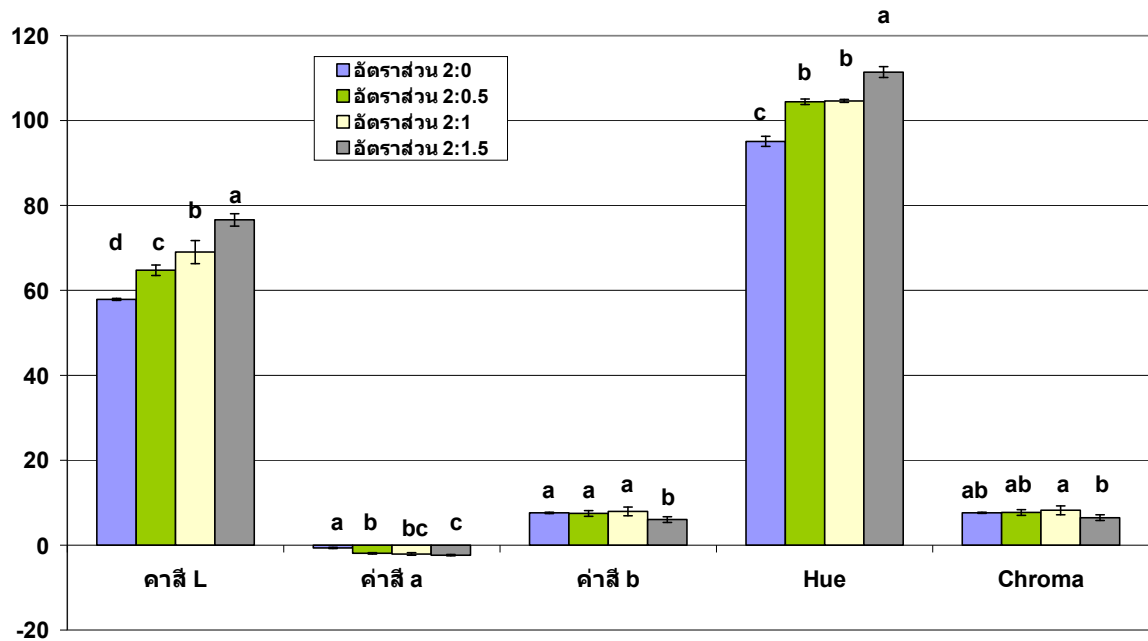


รูปที่ 4.49 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตก่อนการอบแห้ง

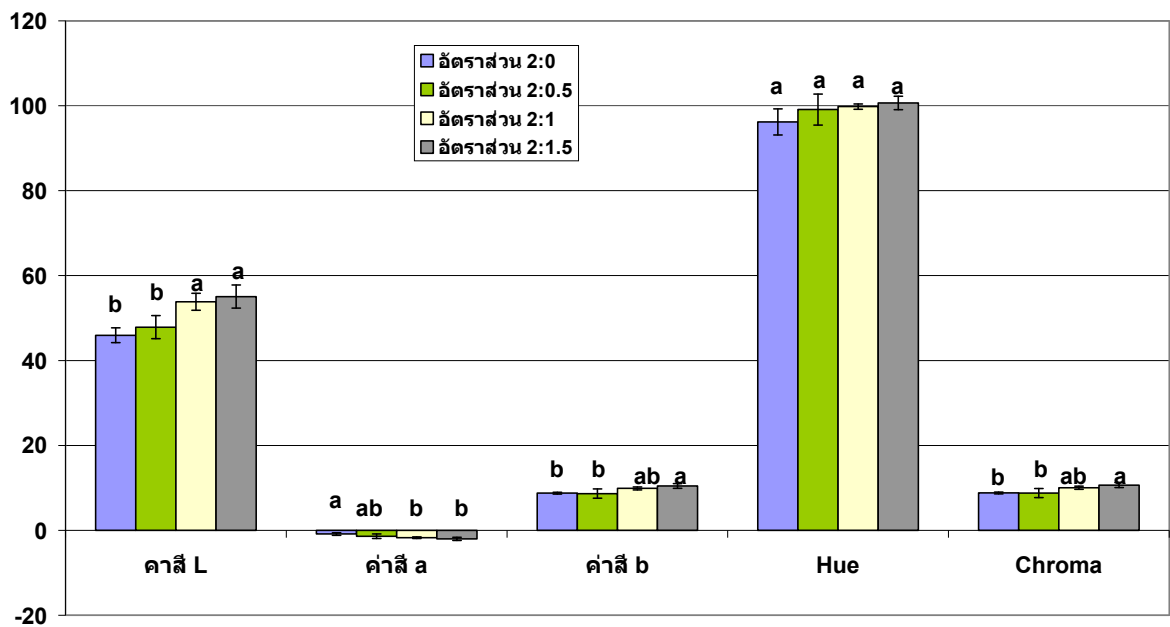


รูปที่ 4.50 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังการอบแห้ง (อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง)

ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่ใช้ข้าวพันธุ์ กข 6 พบว่า ค่าสีขาว-ค่าสีแดง-เขียวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนของโยเกิร์ตเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าสีขาวเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องจากโยเกิร์ตมีสีขาวเมื่อเสริมเข้าไปในตัวอย่างข้าวเหนียวจึงทำให้ตัวอย่างมีค่าสีขาวเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ค่าสีหลัก (Hue) และค่าความเข้มของสี (chroma) ของตัวอย่างก่อนการอบแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ในขณะที่หลังอบแห้ง ค่าสีขาว-ค่าสีแดง-เขียว ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ค่าสีหลักและค่าความเข้มของสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน โดยอาหารที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลและอาจเกิดเนื่องจากปริมาณความชื้นของตัวอย่างลดลงและโครงสร้างของข้าวเหนียวมีการหดตัวหลังการอบแห้งทำให้สีของตัวอย่างจะมีลักษณะเข้มมากขึ้น



รูปที่ 4.51 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์สันป่าตอง) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตก่อนการอบแห้ง



รูปที่ 4.52 ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียว (พันธุ์สันป่าตอง) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังการอบแห้ง
(อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5.5 ชั่วโมง)

ผลการวัดค่าสีของข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองโดยการผันแปรปริมาณโยเกิร์ตที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ค่าสีขาว-ดำ ค่าสีแดง-เขียว ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ค่าสีหลักและค่าความเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้ปริมาณโยเกิร์ตเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าสีขาวเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าสีเหลือง-น้ำเงินและค่าสีหลักแสดงสีในโทนเหลือง โดยค่าสีเหลือง-น้ำเงินมีค่ามากและค่าสีหลัก (hue) มีค่าเข้าใกล้มุม 90 องศา แสดงถึงสีเหลือง ซึ่งอาจเป็นผลของการอบทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดการเกิดสีน้ำตาลร่วมกับองค์ประกอบของนมในโยเกิร์ตทำให้ตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนของโยเกิร์ตมากมีสีออกโทนเหลืองปนน้ำตาลเข้มกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณโยเกิร์ตน้อยกว่า

ตารางที่ 4.17 สมบัติด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) กลิ่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคืนตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน

อัตราส่วน	คะแนนความชอบ				
	สี	การเกาะตัว	เนื้อสัมผัส ^{ns}	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
2:0	7.72±1.10 ^a	6.88±1.27 ^b	6.72±1.37	2.76±2.09 ^c	5.72±1.88 ^a
2:0.5	6.52±1.33 ^b	7.16±1.07 ^{ab}	5.96±1.62	3.72±1.95 ^b	5.40±1.94 ^{ab}
2:1	5.96±1.24 ^b	7.04±1.43 ^{ab}	6.32±1.60	4.36±1.84 ^b	4.88±1.67 ^b
2:1.5	5.20±1.61 ^c	7.64±1.22 ^a	6.44±1.64	5.32±2.14 ^a	4.08±1.52 ^c

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากที่ได้จากการทดลอง

a, b, c อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากผู้ทดสอบชิม จำนวน 25 คน พบว่า คะแนนด้านสี การเกาะตัว กลิ่นรสและความชอบโดยรวมของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมพบว่า ลักษณะสีของตัวอย่าง การเกาะตัวกันและกลิ่นรสโยเกิร์ตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผันแปรปริมาณโยเกิร์ตสดเพิ่มมากขึ้น (แบบสอบถามที่ใช้ดังแสดงในภาคผนวก ก) ส่วนคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับตัวอย่างที่มีการใช้ปริมาณโยเกิร์ตในอัตราส่วนต่ำสุด คือ 2:0.5 ซึ่งได้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) โดยระดับคะแนนอยู่ในช่วงเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างที่ทดสอบเป็นข้าวเหนียวที่ผ่านการเจลาตินไนซ์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคจะไม่มีการบริโภคข้าวเหนียวเดี่ยวๆ เพียงอย่างเดียว มักจะรับประทานร่วมกับอาหารชนิดอื่น และตัวอย่างที่เสริมโยเกิร์ตจะมีกลิ่นรสของโยเกิร์ตที่มีลักษณะกลิ่นรสเปรี้ยวซึ่งผู้

ทดสอบชิมส่วนใหญ่ไม่คุ้นเคย อย่างไรก็ตามการยอมรับในผลิตภัณฑ์อาจเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการประยุกต์เข้ากับผลิตภัณฑ์อาหารบางประเภท เช่น การแปรรูปเป็นขนมหวาน เป็นต้น

ตารางที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์ กข 6) กลิ่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและกินตัวด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน				
	สี	การเกาะตัว	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
สี	1.000	-0.852	0.348	-0.992**	0.947
การเกาะตัว	-0.852	1.000	-0.186	0.883	-0.896
เนื้อสัมผัส	0.348	-0.186	1.000	-0.239	0.045
กลิ่นรส	-0.992**	0.883	-0.239	1.000	-0.979*
ความชอบโดยรวม	0.947	-0.896	0.045	-0.979*	1.000

หมายเหตุ *มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและความชอบโดยรวม พบว่า คะแนนด้านสีมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับคะแนนด้านกลิ่นรส ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากแบบสอบถามให้คะแนนด้านสี 1 หมายถึง สีเหลืองมากถึงน้ำตาล และ 9 หมายถึง สีขาวนวล แสดงว่า ถ้าตัวอย่างมีสีเข้มมากขึ้นจะมีกลิ่นรสโยเกิร์ตเพิ่มมากขึ้น สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส ไม่มีความสัมพันธ์กับความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบชิม ($P > 0.05$) แสดงว่า ผู้ทดสอบชิมอาจไม่ได้ให้ความสำคัญกับสี การเกาะตัวกันและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ส่วนสมบัติด้านกลิ่นรสมีความสัมพันธ์แบบผกผันกันกับความชอบโดยรวม ($p \leq 0.05$) แสดงว่า ถ้าตัวอย่างมีกลิ่นรสของโยเกิร์ตอ่อนลงจะได้คะแนนความชอบโดยรวมเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากตัวอย่างข้าวเหนียวที่มีการเสริมโยเกิร์ตจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติเปรี้ยวซึ่งไม่ใช่รสชาติของข้าวเหนียวที่รับประทานกันตามปกติจึงทำให้ผู้ทดสอบชิมอาจยังไม่ยอมรับ

ตารางที่ 4.19 สมบัติด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว (พันธุ์สันป่าตอง) กลิ่นรส
โยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและกินตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน

อัตราส่วน ข้าวเหนียว: โยเกิร์ตสด	คะแนนความชอบ				
	สี	การเกาะตัว	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบ โดยรวม
2:0	6.60±1.35b	7.00±1.19a	4.84±1.86b	2.96±2.13b	4.84±1.62ab
2:0.5	6.00±1.55b	6.48±1.42a	4.96±1.70b	3.64±1.93b	5.16±1.70a
2:1	7.52±0.96a	6.20±1.78ab	6.48±1.48a	4.56±2.29a	5.12±2.07a
2:1.5	7.40±1.22a	5.64±2.18b	6.56±1.66a	5.16±2.43a	4.24±1.74b

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแนวดิ่งที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากผู้ทดสอบชิม จำนวน 25 คน พบว่า คะแนนด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมพิจารณาสีของผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมโยเกิร์ตอยู่ในช่วงสีขาวครีมถึงเหลืองอ่อน ส่วนสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวอย่างที่มีการใช้ปริมาณโยเกิร์ตสูงที่สุดจะมีคะแนนการเกาะตัวกันต่ำสุด ขณะที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มเหนียวปานกลาง ซึ่งสมบัติของโยเกิร์ตที่มีความเป็นกรดอาจส่งผลต่อสมบัติในการเกาะตัวของข้าวเหนียวทำให้เกิดการเกาะตัวกันได้ลดลง เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมพบว่า ตัวอย่างที่ใช้โยเกิร์ตในอัตราส่วน 2:0.5 และ 2:1 ได้รับคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมโดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วงเฉยๆ

ตารางที่ 4.20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสโยเกิร์ต (พันธุ์สันป่าตอง) ที่ผ่านการอบแห้งและคั้นตัวด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน				
	สี	การเกาะตัว	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
สี	1.000	-0.626	0.915	0.752	-0.454
การเกาะตัว	-0.626	1.000	-0.867	-0.980*	0.583
เนื้อสัมผัส	0.915	-0.867	1.000	0.947	-0.443
กลิ่นรส	0.752	-0.980*	0.947	1.000	-0.522
ความชอบโดยรวม	-0.454	0.583	-0.443	-0.522	1.000

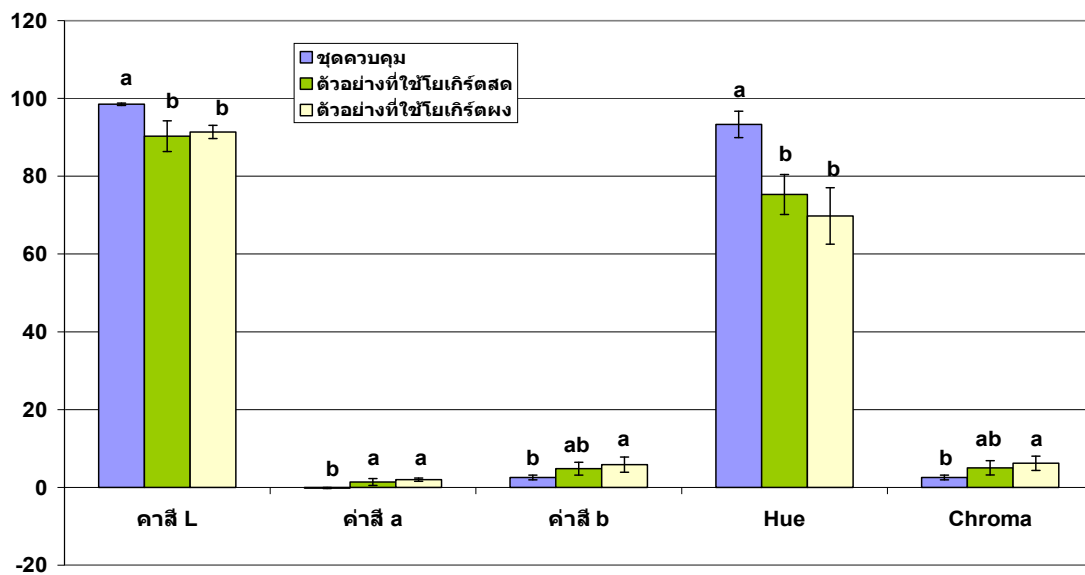
หมายเหตุ *มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและความชอบโดยรวม พบว่า สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่นรส ไม่มีความสัมพันธ์กับความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบชิม ($P > 0.05$) แสดงว่า การให้คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบชิมไม่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ แต่พิจารณาผลิตภัณฑ์โดยรวม เมื่อพิจารณาสมบัติทางประสาทสัมผัสและการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมของตัวอย่างที่ใช้ข้าวเหนียวทั้งพันธุ์สันป่าตองและพันธุ์ กข6 แล้ว พบว่าอัตราส่วนที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากผู้บริโภค คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตสดที่ 2:0.5 จึงเลือกที่อัตราส่วนนี้เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

4.3.2 ค่าสี สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส สมบัติทางประสาทสัมผัส และส่วนประกอบทางเคมีของ

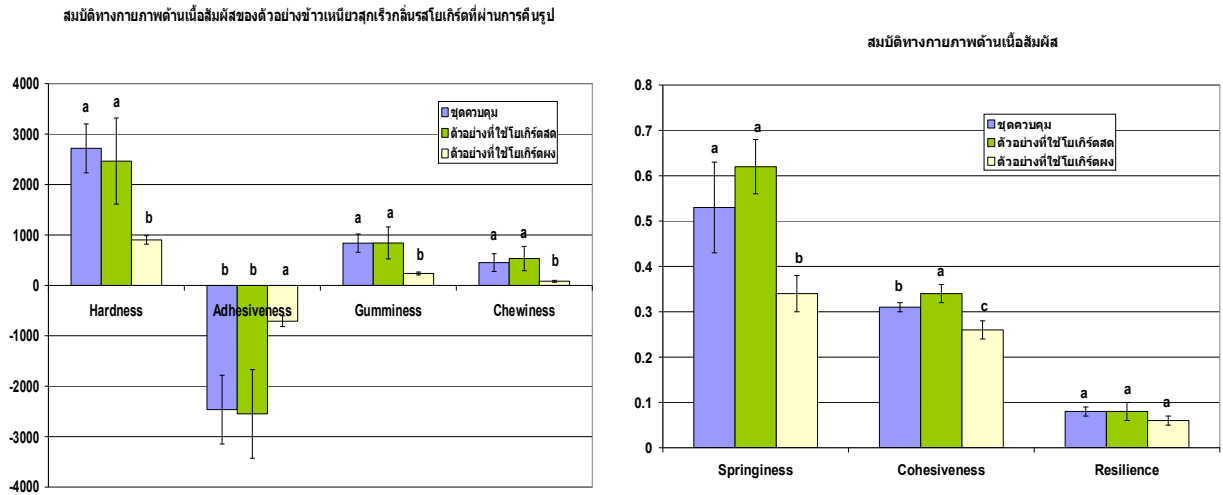
ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสโยเกิร์ตที่แปรรูปจากโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงภายหลังการคั้นรูป

การทดลองเลือกอัตราส่วนของข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตที่เหมาะสมจากการทดลองข้อที่ 4.3.1 พันแปรชนิดของโยเกิร์ตระหว่างโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงทำแห้งและคั้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน วัดค่าสี ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ด้านเนื้อสัมผัส สมบัติทางประสาทสัมผัสและวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ข้าวเหนียวที่ไม่เสริมโยเกิร์ต) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.53-4.59 และตารางที่ 4.21

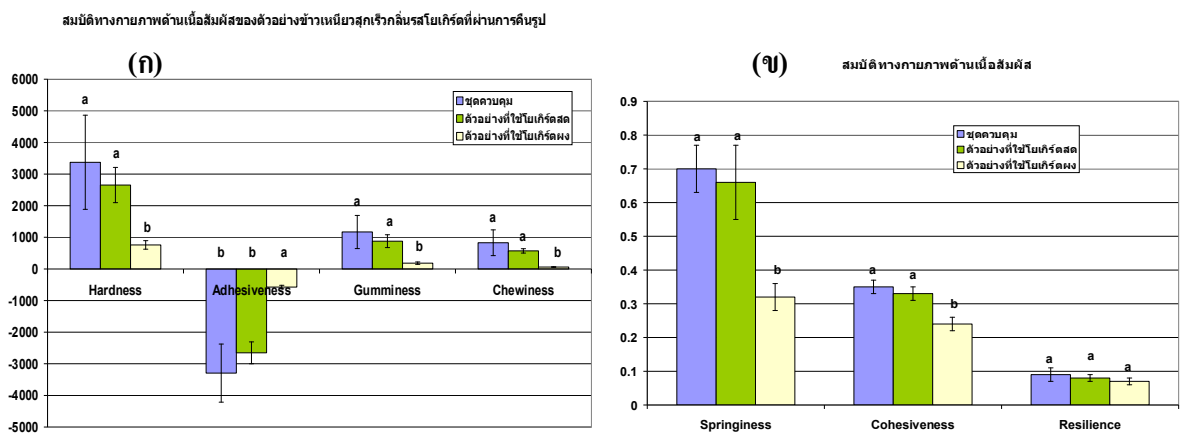


รูปที่ 4.53 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตหลังจากการคั่วด้วยไอน้ำร้อน

ผลการวัดค่าสี พบว่า ค่าสีของตัวอย่างข้าวเหนียวที่เสริมด้วยโยเกิร์ตมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสีของตัวอย่างที่ใช้โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงพบว่า มีค่าสีใกล้เคียงกัน โดยผลิตภัณฑ์ข้าวที่เสริมด้วยโยเกิร์ต ลักษณะข้าวที่ได้หลังจากการคั่วรูปนั้นจะมีสีเหลืองมากกว่าข้าวเหนียวที่ไม่ได้เสริมโยเกิร์ต ทั้งนี้อาจเกิดจากโยเกิร์ตที่เสริมเข้าไปในข้าวนั้นมีน้ำตาลเล็กน้อย ความร้อนทั้งจากการอบแห้งและการคั่วรูปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลเล็กน้อยกับโปรตีนนมทำให้เกิดสีน้ำตาลแบบปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (นิธิยา, 2548) ดังนั้นตัวอย่างข้าวเหนียวที่เสริมด้วยโยเกิร์ตจึงมีค่าสีแดง-เขียว สีเหลือง-น้ำเงินและค่าความเข้มของสีสูงกว่าตัวอย่างข้าวเหนียวที่ไม่ได้เสริมด้วยโยเกิร์ต ($p \leq 0.05$) ขณะที่ค่าสีขาว-ดำและค่าสีหลักมีค่าต่ำกว่า ($p \leq 0.05$) แสดงว่า ตัวอย่างข้าวเหนียวที่ผ่านการเสริมด้วยโยเกิร์ตภายหลังการคั่วรูปจะมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล นอกจากนี้จากการตรวจพินิจลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่ใช้โยเกิร์ตผงที่ผ่านการคั่วรูปแล้วพบว่า เมล็ดข้าวมีลักษณะเป็นมันเงาที่ผิวเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเป็นผลของสารมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีในโยเกิร์ตผง เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินมีสมบัติเป็นสารเคลือบผิวและช่วยทำให้เกิดความเป็นมันวาว



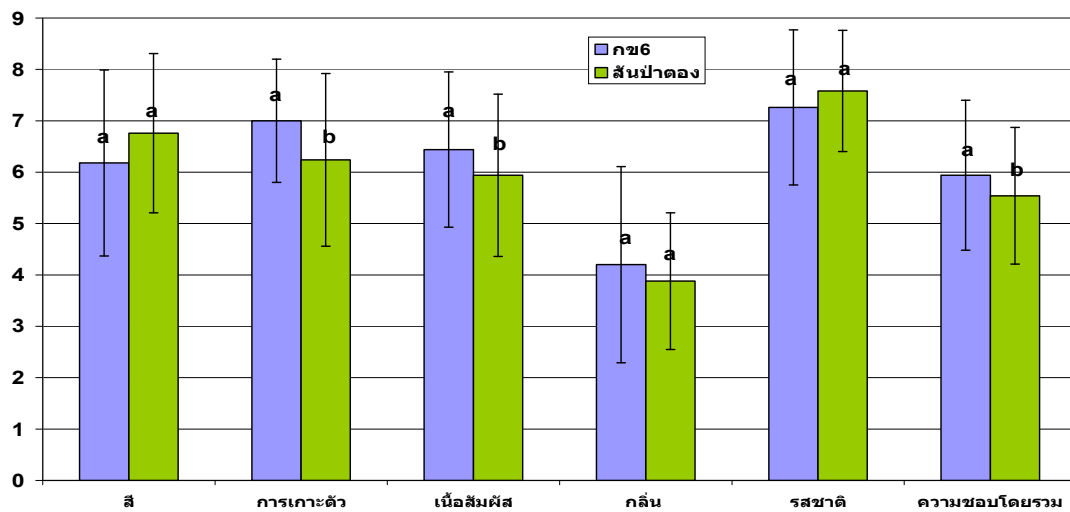
รูปที่ 4.54 สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์กข 6) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตผัดแปรชนิดของโยเกิร์ตและคั่วรูปด้วยไอน้ำร้อน



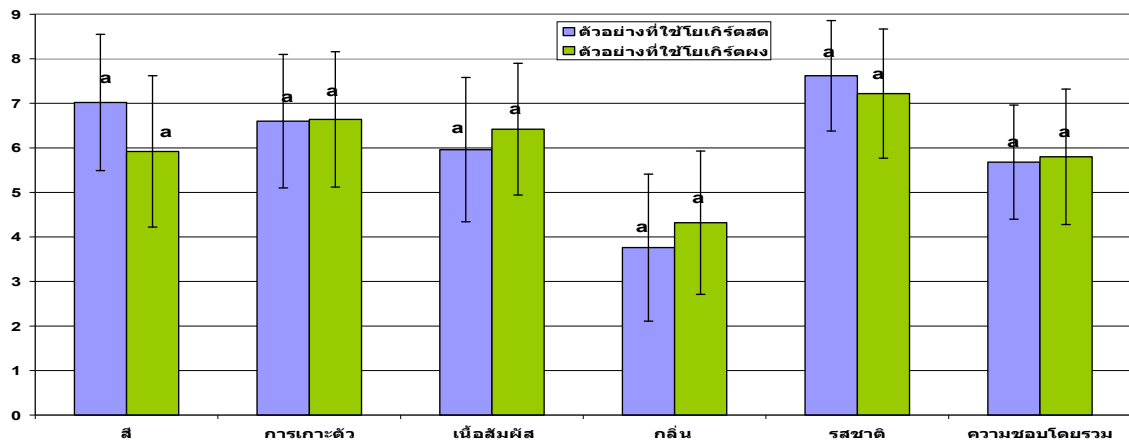
รูปที่ 4.55 สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว (พันธุ์สันป่าตอง) สุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตผัดแปรชนิดของโยเกิร์ตและคั่วรูปด้วยไอน้ำร้อน

ผลการเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วที่แปรรูปจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และพันธุ์สันป่าตองภายหลังการคั่วรูปด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ค่าความเหนียวยืดติด (Gumminess) และค่าการเคี้ยว (Chewiness) มีความแตกต่างกัน

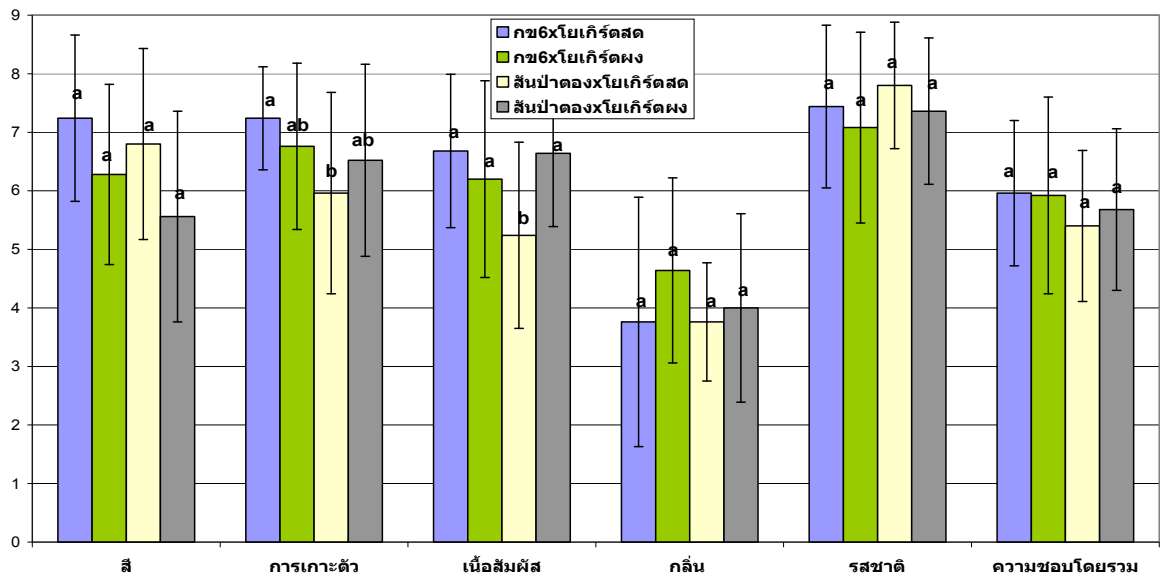
อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวที่เสริมโยเกิร์ตผงจะมีค่าความแข็ง ค่าความเหนียว ติดกัน ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเกาะติดกัน ค่าความเหนียวยึดติด และค่าการเคี้ยวต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเหนียวธรรมดาที่ไม่เสริมโยเกิร์ต (ตัวแปรควบคุม) และตัวอย่างข้าวเหนียวที่เสริมโยเกิร์ตสด แสดงว่าข้าวเหนียวที่เสริมโยเกิร์ตผงที่ได้ภายหลังการคืนรูปจะมีลักษณะค่อนข้างนุ่ม มีความยืดหยุ่น การเกาะตัวน้อยและมีเวลาในการเคี้ยวจนละเอียดสั้น ตัวอย่างข้าวเหนียวที่เสริมโยเกิร์ตสดมีลักษณะเนื้อสัมผัสต่าง ๆ ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างที่ใช้ข้าวเหนียว 2 สายพันธุ์ พบว่า ตัวอย่างที่ใช้ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองจะมีค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียวยึดติด ค่าการเคี้ยวสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 แสดงว่าตัวอย่างที่ใช้ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตองมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง เหนียว และใช้เวลาในการเคี้ยวจนละเอียดเป็นเวลากว่า ส่วนตัวอย่างที่ใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า



รูปที่ 4.56 สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลืนรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้งและคืนตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน : ผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (ปัจจัยเดียว)



รูปที่ 4.57 สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้ง และคั้นตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน : ผลของชนิดโยเกิร์ต (ปัจจัยเดียว)



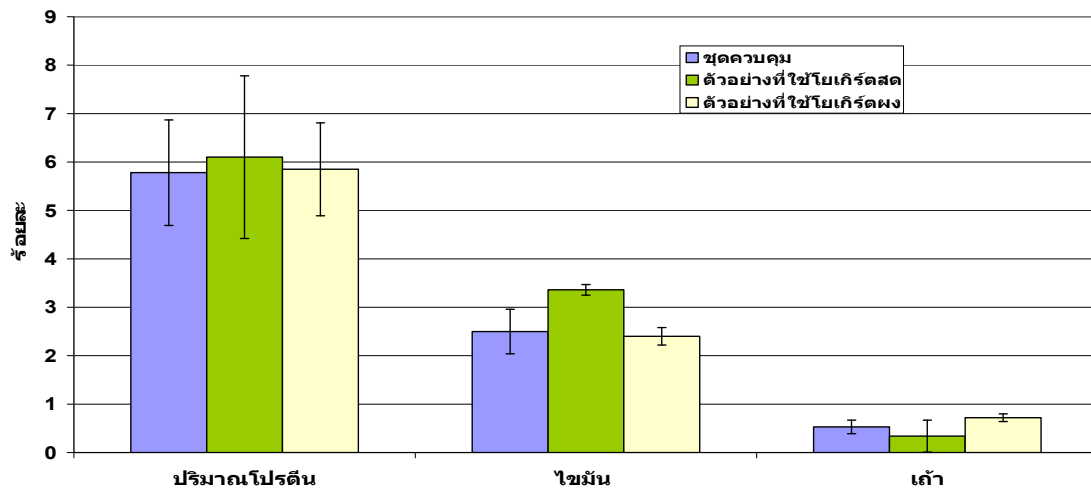
รูปที่ 4.58 สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลั่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้ง และคั้นตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน : ผลของพันธุ์ข้าวเหนียวและชนิดของโยเกิร์ต (ปัจจัยร่วม)

ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะตัว เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วกลิ่นรสโยเกิร์ตที่ผ่านการอบแห้ง และคั้นตัวด้วยการนึ่งไอน้ำร้อน

SOV	df	MS		
		การเกาะตัว	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
พันธุ์ (A)	1	14.44*	6.25*	4.00*
ชนิดโยเกิร์ต (B)	1	0.04	5.29	0.36
ผู้ทดสอบชิม	24	4.27*	3.92*	5.55*
ปัจจัยร่วม (AB)	1	6.76*	22.09*	0.64
Error	72	1.39	1.58	0.79

หมายเหตุ *แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดลองทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยทดสอบผลของพันธุ์ข้าวเหนียว (สันป่าตอง และ กข 6) และชนิดของโยเกิร์ต (โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง) และผลของปัจจัยร่วม พบว่า คะแนนด้านการเกาะตัว เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของข้าวเหนียวทั้ง 2 พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีคะแนนด้านการเกาะตัว เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากกว่าข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง ส่วนผลของชนิดของโยเกิร์ตพบว่า คะแนนด้านสี การเกาะตัว เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ส่วนผลของปัจจัยร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวเหนียวและชนิดของโยเกิร์ต พบว่า คะแนนด้านการเกาะตัว เนื้อสัมผัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนคะแนนด้านสี กลิ่นและรสชาติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) สรุปผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ว่า ตัวอย่างที่แปรรูปจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จะได้รับการยอมรับโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมมากกว่าตัวอย่างที่แปรรูปจากข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง ซึ่งมีรายงานว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 จะมีความเหนียวในขณะที่มีการดูดซับน้ำ การขยายตัวและมีการคั้นตัวที่สูงกว่าข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง (อรอนงค์, 2547)



รูปที่ 4.59 ส่วนประกอบทางเคมี (dry basis) ของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโยเกิร์ตหลังจากการคั่วด้วยไอน้ำร้อน

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงภายหลังการคั่วด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 15 นาที พบว่า ปริมาณ โปรตีนและเส้นใยใกล้เคียงกัน ในขณะที่ปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้นั้นมีความแตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ใช้โยเกิร์ตสดจะมีปริมาณไขมันมากกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ใช้โยเกิร์ตผง เนื่องจากในขั้นตอนของการอบแห้ง หากใช้เวลานาน การสูญเสียโปรตีนยิ่งเกิดขึ้นมาก อีกทั้งการคั่วด้วยความร้อนทำให้มีการสูญเสียโปรตีนได้เช่นกัน นอกจากนี้โยเกิร์ตที่เสริมเข้าไปในข้าวเหนียวนั้นมีปริมาณน้อย คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ต คือ 2: 0.5 ทำให้โปรตีนที่ได้รับเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากข้าวเหนียวที่ไม่ได้เสริมโยเกิร์ต ($P>0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ผลของวิธีการแช่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโค

และนมแพะ

1. ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีค่าสีหลัก (Hue) เท่ากับ 85.5 ± 1.03 และค่าความเข้มของสี (Chroma) เท่ากับ 9.64 ± 0.79 ส่วนประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรต ส่วนปริมาณ โปรตีนร้อยละ 7.60 ± 0.04 และมีปริมาณ ไขมันและเถ้าเพียงเล็กน้อย
2. ตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนมสดร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก่อนและหลังการทำแห้ง จะมีค่าสี L ค่าสี b ค่าสีหลักและค่าความเข้มของสีสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำนมสด ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนมสดจะมีลักษณะสีเข้มและออกโทนสีเหลืองกว่าตัวอย่างควบคุม และ ตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนมแพะมีค่าสีหลักสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำนมโค ตัวอย่างที่แช่น้ำนมแพะมีโทนสีออกขาวมากกว่าตัวอย่างที่แช่น้ำนมโค โดยตัวอย่างที่แช่นมโคมีค่าสีหลักในช่วง 60-71 และตัวอย่างที่แช่นมแพะมีค่าสีหลักในช่วง 107-114
3. ตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นข้าวเหนียวที่ผ่านการทำให้เกิดการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์โดยการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนและที่ไม่ผ่านการแช่น้ำนมสดจะมีปริมาณความชื้นตั้งต้นในช่วงร้อยละ 39-42 ส่วนตัวอย่างข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำนมสดจะมีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 43-51 และตัวอย่างที่ใช้วิธีการแช่น้ำนมสดภายหลังจากการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนจะมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคภายหลังการอบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.6-6.5 และมีค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.15-0.3 และมีปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายหลังการคืนรูป ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 37-42
4. ค่าสีของตัวอย่างภายหลังการอบแห้งจะมีค่าสี L, ค่าสี a, ค่าสี b และความเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าสี L สูงที่สุด ตัวอย่างที่มีการเสริมนมโคจะมีลักษณะสีเข้มกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเสริมนมโคและสีออกโทนเหลืองอ่อนมากกว่า ค่าสีของตัวอย่างที่เสริมนมแพะภายหลังการอบแห้งมีค่าสี L, ค่าสี b และความเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าสี L สูงที่สุด
5. ค่าสีของตัวอย่างภายหลังการคืนรูปจะมีค่าสี a ค่าสี b ค่าสีหลัก และความเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่เสริมนมโคและนมแพะมีลักษณะที่เข้มกว่าตัวอย่างควบคุมและสีออกโทนเหลืองอ่อน

6. ตัวอย่างที่เสริมนมโคจะมีปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เสริมนมโค ($p \leq 0.05$) และตัวอย่างที่เสริมนมแพะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

ตอนที่ 2 สมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียว

1. วัตถุดิบข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และ สันป่าตองมี สมบัติทางกายภาพและเคมีใกล้เคียงกัน ในส่วนผงชาเขียวมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ร้อยละ 97.37 ± 0.56 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 124.26 ± 1.24 มิลลิกรัมต่อกรัม
2. อัตราส่วนข้าวเหนียวต่อน้ำนมชาเขียวที่อัตราส่วน 1:0.5 เป็นอัตราที่มีการดูดซับน้ำนมชาเขียวได้สูงและใช้อุณหภูมิในการทำแห้งลมร้อน 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ 3.5 ชั่วโมง
3. ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีความแน่นแข็งและความเหนียวยึดติดสูง ซึ่งเป็นลักษณะของข้าวเหนียวที่ดีกว่าข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง ในการทดสอบทางสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความแข็ง ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมนมโคกลั่นรสชาเขียวให้ผลที่ใกล้เคียงกัน
4. ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากนมโคกลั่นรสชาเขียวที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ ข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ที่ปริมาณนมผง 37.5:100 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นชาเขียวร้อยละ 1.32 ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH เท่ากับร้อยละ 92.51 ± 1.28 และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 10.23 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัม
5. จากการศึกษาศสมบัติทางกายภาพ เคมี และสมบัติทางประสาทสัมผัส พบว่า ข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ที่ปริมาณนมผง 37.5:100 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นชาเขียวร้อยละ 1.32 มีลักษณะที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากนมโคกลั่นรสชาเขียว

ตอนที่ 3 สมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็ว กลิ่นรสโยเกิร์ต

1. ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และพันธุ์สันป่าตองมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เถ้า ความชื้น และค่าสีขาว-ดำ (L) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาสมบัติโดยทั่วไปของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 พบว่าเป็นข้าวเหนียวที่มีความนุ่มเหนียวและมีคุณภาพในการรับประทานมากกว่าพันธุ์สันป่าตอง

2. โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงมีสมบัติด้านเคมีและทางกายภาพที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) พบว่า โยเกิร์ตผงมีปริมาณโปรตีน, ไขมัน, เกลือและความชื้นน้อยกว่าโยเกิร์ตสด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต, pH, ความเป็นกรดมากกว่าโยเกิร์ตสด ($p \leq 0.05$)
3. การหาเวลาการอบแห้งของข้าวเหนียวหลังจากการนึ่งและเสริมสารอาหารจากโยเกิร์ตที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อศึกษาหาปริมาณความชื้นของการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน พิจารณาจาก Drying curve หาเวลาที่ความชื้นคงที่ พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ใช้เวลาการอบแห้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง ใช้เวลาการอบแห้ง 5.5 ชั่วโมง
4. การหาค่าสีก่อนและหลังการอบแห้งในทุกอัตราส่วน พบว่า หลังการอบแห้ง มีผลต่อค่าสีของข้าวเหนียว ทำให้ข้าวมีสีที่คล้ำลงและอัตราส่วนที่มีโยเกิร์ตสูงมีผลทำให้ข้าวมีสีเหลืองมากกว่าข้าวที่มีอัตราส่วนโยเกิร์ตต่ำ
5. การทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิม เพื่อหาการยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และพันธุ์สันป่าตอง พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับอัตราส่วนข้าวเหนียวต่อโยเกิร์ตสดที่อัตราส่วน 2:0.5 มากที่สุด
6. การทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อเปรียบเทียบการยอมรับของผู้บริโภคของข้าวเหนียว 2 พันธุ์ที่เสริมสารอาหารจากโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงที่อัตราส่วน 2:0.5 พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับข้าวเหนียวพันธุ์ทั้ง 2 พันธุ์ทั้งที่เสริมสารอาหารจากโยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผงไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$)
7. ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่ผ่านการคืนรูปด้วยวิธีการนึ่ง พบว่า ข้าวที่เสริมโยเกิร์ตผงมีลักษณะค่อนข้างนุ่ม มีความยืดหยุ่น การเกาะตัวน้อย และมีเวลาในการเคี้ยวข้าวจนละเอียดสั้น ส่วนข้าวเหนียวที่เสริมโยเกิร์ตสดมีค่าความเกาะติดกันสูงกว่าข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการแช่โยเกิร์ตสดและโยเกิร์ตผง ($p \leq 0.05$)
8. การทดสอบด้านส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของผลิตภัณฑ์ภายหลังการคืนรูป พบว่า มีคุณค่าทางอาหารไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ยกเว้น ปริมาณไขมัน โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 เสริมโยเกิร์ตสดและเสริมโยเกิร์ตผง มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.10 ± 1.68 และ 5.85 ± 0.96 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากนมโคกลั่นรสชาเขียวและผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากโยเกิร์ต ควรเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทและ

ป้องกันแสง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงควรมีการศึกษาใน ส่วนของอายุการเก็บรักษาต่อไป

2. ควรมีการศึกษาและพัฒนาลักษณะของผลิตภัณฑ์ ให้เมล็ดข้าวหลังอบแห้งมีการเกาะติดกัน น้อยลง และลดการแตกหักของเมล็ดข้าว
3. การเกลี่ยข้าวบนตะแกรงเพื่อทำการอบแห้งในเตาอบนั้น ควรเกลี่ยข้าวเหนียวให้กระจาย ตัวบางๆ และสม่ำเสมอทั่วทั้งตะแกรง เพื่อให้เกิดการอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ และได้ ความชื้นหลังอบคงที่เท่ากัน

บรรณานุกรม

- กรมการข้าว. (2549). *ความรู้เกี่ยวกับข้าว*. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.ryt9.com/s/bmnd/699476> (26 ธันวาคม 2552)
- ชัยญารักษ์ ศิริเลิศ. (2549). *การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร*. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 3(1): 6-13.
- นงนภัส ดวงดี. (2551). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. โครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- ประสูติ สิทธิสรวง. (2527). *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับข้าว*. กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วิชา ชิติประเสริฐ. (2544). *ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์: ข้าว*. สถาบันวิจัยข้าวและสำนักคุ้มครองพันธุ์พืชแห่งชาติ กรมวิชาการเกษตร.
- วุฒิชัย นาครักษาและสุภาภรณ์ ชัยญะวานิช. (2548). *การปรับปรุงภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ*. วารสารสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ, 37(2): 125-142.
- วิไล รังสาตทอง. (2545). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 4. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2548). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง นมเปรี้ยว ฉบับที่ 289*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา www.tisi.go.th (25 ธันวาคม 2552)
- นิธิยา รัตนประพนธ์. (2548). *เคมีนมและผลิตภัณฑ์นม*. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alferez, M.J.M., Lopez-Aliaga, I., Nestares, T., Diaz-Castro, J., Barrionuevo, M., Ros, P.B. and Campos, M.S. (2006). Dietary goat milk improves iron bioavailability in rats with induced ferropenic anaemia in comparison with cow milk. *International Dairy Journal*, 16: 813–821.
- Ahromrit, A., Ledward, D.A. and Niranjana, K. (2006). High pressure induced water uptake characteristics of Thai glutinous rice. *Journal of Food Engineering*, 72: 225-233.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*, Gaithersburg: AOAC INTERNATIONAL.
- Arts, M.J.T.J., Haenen, G.R.M.M., Wilms, L.C., Beetstra, S.A.J.N., Heijnen, C.G.M., Voss, H.P. and Bast, A. (2002). Interactions between flavonoids and proteins: Effect on the total antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(5): 1184–1187.

- Adesegun, S.A., Fajana, A., Orabueze, Cl. and Cooker, H.A.B. (2007). Evaluation of antioxidant properties of *Phaulopsis fascisepala* C.BC.I. (Acanthaceae). *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 4: 1-5.
- Bourne, M.C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32: 62-66.
- Ceballos, L.S., Morales, E.R., Adarve, G.T., Castro, J.D., Martinez, L.P. and Sampelayo, M.R.S. (2009). Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and analyzed by identical methodology. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 322–329.
- Chen, Y., Wang, M.F., Rosen, R.T. and Ho, C.T. (1999). 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging active compounds from *Polygonum multiflorum* Thunb. *Journal of Natural Products*, 47: 2226-2228.
- Deeth, H.C. and Tamime, A.Y. (1981). Yogurt Nutritive and Therapeutic Aspects. *Journal of Food Protection*, 55: 80-91.
- Deepa, N., Kaur, C., Singh, B. and Kapoor, H.C. (2006). Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Composition and Analysis*, 19: 572-578.
- Fellows, P.J. (2000). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (2nd Edition). Woodhead Publishing.
- Erba, D., Riso, P., Bordoni, A., Foti, P., Biagim, P.L. and Testolin, G. (2005). Effectiveness of moderate green tea consumption on antioxidative status and plasma lipid profile in humans. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 16(3): 144–149.
- Guanghou, S. and Leong, L.P. (2005). Screening and Identification of Antioxidants in Biological Samples Using High-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry and Its Application on *Salacca edulis* Reinw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (4): 880-886.
- Haenlein, G.F.W. (2001). Past, present, and future perspectives of small ruminant dairy research. *Journal of Dairy Science*, 84: 2097–2115.
- Haenlein, G.F.W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 51: 155–163.
- Hara, Y. (2001). *Green Tea: Health Benefits and Applications*. Marcel Dekker: New York.
- Kohlwey, D.E. (1994). New methods for the evaluation of rice quality and related terminology. In W.E. Marshall and J.I. Wadsworth (eds.), *Rice Science and Technology*. Marcel Dekker: New York.
- Luh, B. S. (1991). *Rice: Utilization* Vol. II. AVI Book. Von Nostrand Reinhold, New York.

- Mukhtar, H. and Ahmad, N. (2000). Tea polyphenols: prevention of cancer and optimizing health. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71 (6 Suppl.): 1698S–1702S.
- Smewing, J. (1999). Hydrocolloids. In: A.J. Rosenthal, Editor, *Food Texture Measurement and Perception*, Aspen Publishers, Gaithersburg, MD.
- Stangl, V., Lorenz, M. and Stangl, K. (2006). The role of tea and tea flavonoids in cardiovascular health. *Molecular Nutrition and Food Research*, 50(2): 218–228.
- Swinkels, J.J.M. (1985). Sources of starch, its chemistry and physics. In G.M.A. van Beynum and J.A. Roels (eds.), *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekker: New York.
- Walstra, P., Wouters, J.T.M., and Geurts, T.J. (2006). *Dairy science and technology*. Taylor & Francis.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ลักษณะของผลิตภัณฑ์



รูปภาพผนวก ก 1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากนมโคกลั่นรสชาเขียว
ก่อนการขึ้นรูป



รูปภาพผนวก ก2 ลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากนมโคกลั่นรสชาเขียว
หลังการขึ้นรูปด้วยไอน้ำ

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. การวัดสีระบบ Hunter

เป็นการวัดค่าสี L ค่าสี a และค่าสี b ของผลิตภัณฑ์ โดยค่า L เป็นค่าสีขาว-ดำ (Lightness) a เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (redness/greenness) และ b เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness)

L คือ ค่าสีขาว-ดำ มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a คือ ค่าสีแดงและสีเขียว a มีค่าบวกเป็นสีแดง

a มีค่าลบเป็นสีเขียว

b คือค่าสีเหลืองและน้ำเงิน b มีค่าบวกเป็นสีเหลือง

b มีค่าลบเป็นสีน้ำเงิน

2. การวัดปริมาณน้ำอิสระ

ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab, Modal series 3, USA) ปริมาณน้ำอิสระมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณน้ำอิสระมีความสำคัญต่อการเน่าเสียของอาหารและการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ เมื่อน้ำอิสระในปริมาณที่สามารถทำปฏิกิริยาต่างๆได้

3. การวัดคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA-Xt Plus, Stable Micro System, English)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ภาชนะอบความชื้น (Moisture can)
2. ที่คีบภาชนะ (Tong)
3. ช้อนตักสาร (Spectula)
4. โถดูดความชื้น (Dessicator)

เครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้า (Hot air oven, Beschickung, Model 100-800)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Analytical balance, Sartorius, Model A120s, Germany)

วิธีวิเคราะห์

1. อบภาชนะอบความชื้นพร้อมฝาที่ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (W_1)

2. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ใส่ในกระป๋องดูความชื้นที่อบและชั่งน้ำหนักแล้ว (W_2)
3. นำกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาโดยเปิดฝาทิ้งไว้ที่ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. นำกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาทิ้งจากตู้อบ โดยปิดฝาทันทีและทำให้เย็นในโถดูความชื้น เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
5. นำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งครั้ง 2 ติดต่อกันไม่เกิน 2 กรัม) (W_3)

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น ร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_2 - W_1)} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้น (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_3 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธีเคลดาล์ (Kjeldahl Method, AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ขวดเคลดาล์ (Kjeldahl Method) ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
4. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ขวดน้ำกลั่น
6. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร

เครื่องมือ

1. ชุดกลั่นโปรตีน (Distillation Apparatus)
2. ชุดย่อยโปรตีน (Digestion unit)
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Analytical balance; Sartorius : Model A120s, Germany)
4. ตู้ดูดควัน (Hood)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric Acid, H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 98 (w/v)
2. ค่ะตะลิตส์ผสมอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ปราศจากไนโตรเจน เข้มข้นร้อยละ 3.5 โซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulfate, Na_2SO_4)
3. เม็ดเคือด (Glass beat)
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เข้มข้นร้อยละ 40 (w/v)
5. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) เข้มข้น 0.1 N
6. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) ประกอบด้วย เมทิลเรด (Methyl red) เข้มข้นร้อยละ 0.2 (w/v) ในแอลกอฮอล์ ผสมกับโบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) เข้มข้นร้อยละ 0.2 (w/v) ในแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 1 : 1
7. กรดบอริก เข้มข้นร้อยละ 4 (w/v)

วิธีวิเคราะห์

1. ตัวอย่างที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม (W) ถ่ายตัวอย่างลงในหลอดย่อยโปรตีนทำ blank ควบคู่ไปด้วย
2. เติมค่ะตะลิตส์ผสม 8 กรัม
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร โดยเอียงหลอดย่อยโปรตีนและค่อยๆ รินกรดลงข้างๆหลอด เพื่อล้างตัวอย่างที่อาจอยู่ข้างๆหลอด และค่อยๆ เขย่าตัวอย่างเบาๆ
4. นำไปย่อยที่ชุดย่อยโปรตีนใช้โปรตีนใช้เวลาย่อยประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งสารละลายจึงปิดชุดย่อย รอจนกระทั่งสารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
5. นำสารละลายที่ได้ต่อกับเครื่องกลั่นโปรตีน โดยนำขวดรูปชมพู่ที่มีกรดบอริก 4 % จำนวน 50 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ผสมลงไป 6-10 หยด
6. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 ให้มากเกินพอ 60 มิลลิลิตร ถ้าปริมาณต่างมากเกินพอ สารละลายจะมีสีดำ และถ้ายังไม่เกิดสีดำไม่เติมเพิ่มอีก 5-10 มิลลิลิตร
7. ทำการกลั่น เริ่มจาก blank ตามด้วยตัวอย่าง
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกจนได้จุดยุติค่อยสังเกตสีชมพูที่เกิดขึ้น และสารละลายสีเทาอมม่วง

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{(V_a - V_b) \times N.H_2SO_4 \times 1.4007}{W}$$

V_a = ปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b = ปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

$N.Na_2SO_4$ = ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก (โมล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ปริมาณโปรตีน ร้อยละของน้ำหนัก = ปริมาณไนโตรเจน ร้อยละของน้ำหนัก $\times$ แฟกเตอร์
แฟกเตอร์ข้าว 5.95

3. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีวิเคราะห์

นำผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ในตัวอย่างมาหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ร้อยละ) = $100 - (\text{ปริมาณความชื้น} + \text{ปริมาณโปรตีน} + \text{ปริมาณไขมัน} + \text{ปริมาณเถ้า})$

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ถ้วยกระป๋องเคลือบ
2. ตะเกียงเบนเสน
3. เดซิเคเตอร์ (Dessicator)

เครื่องมือ

1. เตาเผาไฟฟ้า
2. เตาให้ความร้อน
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Analytical balance; Sartorius : Model A120s, Germany)

วิธีวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระป๋องเคลือบในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (W_1) และใส่ตัวอย่างในถ้วยกระป๋องเคลือบชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม

2. นำไปเผาด้วยเตาให้ความร้อน โดยเพิ่มความร้อนเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนตัวอย่างไหม้เกรียมและเผาจนหมดควัน
3. นำไปเผาคือในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว ทำให้เย็นในเคชเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่ได้ (W3)

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด ร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{(W3 - W1)}{(W2 - W1)} \times 100$$

W1 = น้ำหนักของถ้วยกระป๋องเคลือบ(กรัม)

W2 = น้ำหนักของถ้วยกระป๋องเคลือบและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W3 = น้ำหนักของถ้วยกระป๋องเคลือบและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

5. การวิเคราะห์สารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5.1 การวัดความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH (Deepa *et al.*, 2006)

การวัดความสามารถในการยับยั้งสาร DPPH เป็นการวัดความสามารถของสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะสามารถยับยั้งสาร DPPH ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Analytical balance; Sartorius : Model A120s, Germany)
2. เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge; Hermle : Model Z 200 A)
3. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV Spectrophotometer; Biomate-5 : Model Lamda 35, England)
4. ไมโครปิเปต
5. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (GFL, Germany)

สารเคมี

5. เมทานอล เข้มข้นร้อยละ 50
6. DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl hydrate: Fluka, Germany)

วิธีวิเคราะห์

1. บดตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 จำนวน 10 มิลลิลิตร ทำการสกัดสาร 1 ชั่วโมง
2. นำสารสกัดที่ได้มาปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
3. นำส่วนใสออก จากนั้นล้างตะกอนที่เหลือด้วยเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 จำนวน 10 มิลลิลิตร
4. ทำการสกัดซ้ำ 3 ครั้ง
5. นำสารสกัดที่ได้ไประเหยที่อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส ให้เหลือปริมาตร 20 มิลลิลิตร
6. นำสารที่ผ่านการระเหยแล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมา 100 ไมโครลิตร
7. เติมน้ำละลาย DPPH ที่ละลายในเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 จำนวน 3.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร

วิธีคำนวณ

$$\text{Antioxidant activity} = \frac{\text{Abs.Control} - \text{Abs.Sample}}{\text{Abs.Control}} \times 100$$

5.2 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) (Guanghou and Leong, 2005)

อุปกรณ์

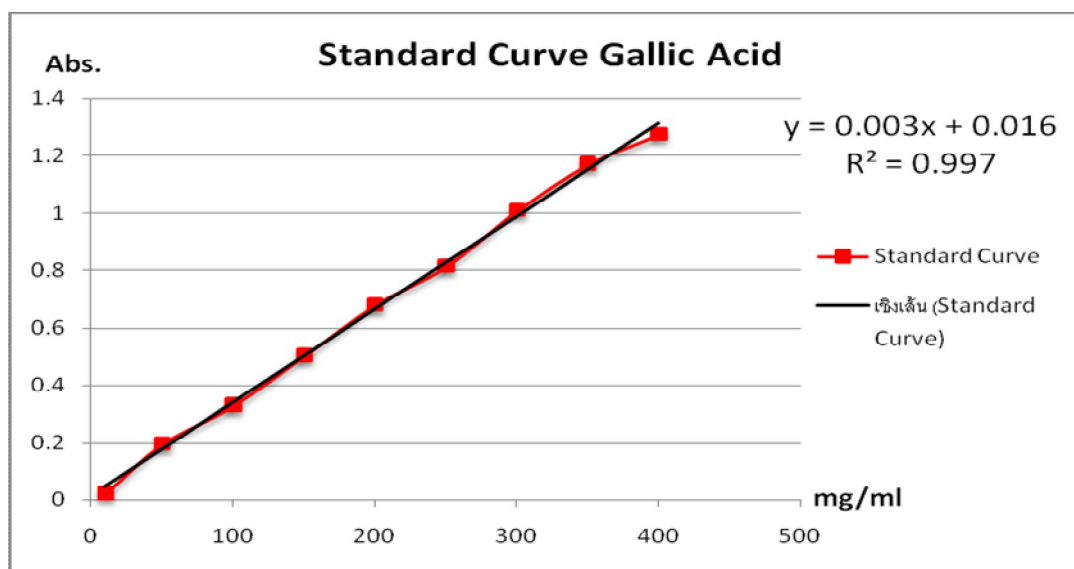
1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Analytical balance; Sartorius : Model A120s, Germany)
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV Spectrophotometer; Biomate-5 : Model Lamda 35, England)
3. ไมโครปิเปต

สารเคมี

1. Gallic acid (Fluka, Spain)
2. Folin-Ciocalteu reagents (Merck, Germany)
3. Sodium carbonate 7.5%

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. เตรียม Stock solution ของสารละลาย Gallic acid ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2. ปรับความเข้มข้นของสารละลาย Gallic acid จาก stock solution ให้มีระดับความเข้มข้นเป็น 10, 50, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างที่แต่ละความเข้มข้นมา 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagents ที่ผ่านการเจือจางด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10 ในปริมาตร 1.8 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
4. เติมสารละลาย Sodium carbonate เข้มข้นร้อยละ 7.5 จำนวน 1.2 มิลลิลิตร
5. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร
7. นำค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย Gallic acid ที่ความเข้มข้นต่างๆ มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นทำให้ได้สมการเส้นตรงและนำมาคำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่มีในตัวอย่าง



รูปภาคผนวก ข1 แสดง Standard curve gallic acid



รูปภาคนวท ข 2 สารเคมีที่ใช้ในการทำกราฟมาตรฐาน

- A คือ Stock solution gallic acid
- B คือ สารละลาย Folin-Ciocalteu reagents (1:0)
- C คือ Sodium carbonate เข้มข้นร้อยละ 7.5



A B C D E F G H I

รูปภาคนวท ข 3 ลักษณะสีของกราฟมาตรฐาน

- A คือ หลอดควบคุม
- B คือ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- C คือ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- D คือ ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- E คือ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- F คือ ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- G คือ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- H คือ ความเข้มข้น 350 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- I คือ ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างโดยนำตัวอย่าง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
2. นำสารละลายตัวอย่างมา 100 ไมโครลิตร

3. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagents ที่ผ่านการเจือจางด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10 ในปริมาตร 1.8 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
4. เติมสารละลาย Sodium carbonate เข้มข้นร้อยละ 7.5 จำนวน 1.2 มิลลิลิตร
5. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร
7. เทียบกราฟมาตรฐาน รายงานค่าต่อหน่วย GAE/1000 กรัม



รูปภาคผนวก ข 4 ตัวอย่าง 1 กรัมสกัดในน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ 5 นาที



รูปภาคผนวก ข 5 การวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด หลังจากตั้งไว้ 1 ชั่วโมง

วิธีคำนวณ (Adesegun *et al.*, 2007)

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน $y = 0.0032x + 0.0168$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

0.0032 คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ

X คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณ

0.0168 คือ ค่าคงที่ของสมการ(จุดตัดแกน y)

GAE (Gallic acid Equivalent)

$$T = \frac{C \times V}{M}$$

T คือ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

X, C คือ ค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

V คือ ปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

M คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีหน่วยเป็นกรัม

คำนวณค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง เช่นเดียวกันในทุกตัวอย่าง ทำให้ได้ค่า x นำไปแทนในสมการข้างต้นเพื่อคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่มีในตัวอย่าง ซึ่งต้องมาคำนวณให้อยู่ในหน่วยมิลลิกรัมของตัวอย่าง

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัส ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมอาหารจากนมโคกลิ่นรสชาเขียว

ผู้ทดสอบ..... วันที่

คำชี้แจง ตัวอย่างที่ท่านได้รับคือ ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมอาหารจากนมโคกลิ่นรสชาเขียว โปรดทำการประเมินตัวอย่าง

ดังกล่าวตามลักษณะที่ให้ไว้ข้างล่าง และทำเครื่องหมาย **I** ลงในจุดที่ท่านคิดว่าเหมาะสมต่อการอธิบายลักษณะนั้นๆ ของตัวอย่าง

สีของผลิตภัณฑ์

	อ่อน		เข้ม
กลิ่นรสชาเขียว	----- -----		
ไม่สามารถรับได้เลย			เด่นชัด
กลิ่นรสนม	----- -----		
ไม่สามารถรับได้เลย			เด่นชัด
ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเหนียว	----- -----		
ไม่เหนียว			เหนียว
ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง	----- -----		
แข็ง			นุ่ม
การยอมรับโดยรวม	----- -----		
ไม่ชอบมากที่สุด			ชอบมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ขอบคุณ

แบบทดสอบในเชิงพรรณนา (Structure Scoring)

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

คำชี้แจง: ตัวอย่างที่ท่านได้รับคือ ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสุกเร็วเสริมสารอาหารจากโยเกิร์ต โปรดทำการประเมินตัวอย่างโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนที่ท่านคิดว่าเหมาะสมต่อการอธิบายลักษณะนั้นๆ

ลักษณะที่ทดสอบ	คะแนนที่ได้	รหัสตัวอย่าง			
สีของผลิตภัณฑ์					
- สีขาวนวลถึงสีครีม - สีเหลืองปานกลางถึงอ่อน - สีเหลืองมากถึงสีน้ำตาล	7 – 9 6 – 4 1 – 3				
การเกาะตัวของเมล็ดข้าว					
- เกาะตัวกันมากถึงมากที่สุด - เกาะตัวกันน้อยถึงปานกลาง - ร่วนถึงไม่เกาะตัวกัน	7 – 9 6 – 4 1 – 3				
ลักษณะเนื้อสัมผัส					
- เหนียวนุ่มมากถึงมากที่สุด - เหนียวนุ่มน้อยถึงปานกลาง - แข็งมากถึงแข็ง	7 – 9 6 – 4 1 – 3				
กลิ่น					
- กลิ่นโยเกิร์ตมากถึงมากที่สุด - กลิ่นโยเกิร์ตอ่อนถึงปานกลาง - ไม่มีกลิ่นถึงกลิ่นโยเกิร์ตอ่อนมาก	7 – 9 6 – 4 1 – 3				
รสชาติ					
- เปรี้ยวน้อยที่สุดถึงรสชาติไม่เปรี้ยว - เปรี้ยวปานกลางถึงรสชาติเปรี้ยวน้อย - เปรี้ยวมากที่สุดถึงรสชาติเปรี้ยวมาก	7 – 9 6 – 4 1 – 3				
ความชอบโดยรวม					
- ชอบปานกลางถึงชอบมากที่สุด - ไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย - ไม่ชอบมากที่สุดถึงไม่ชอบปานกลาง	7 – 9 6 – 4 1 – 3				

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณ