

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำนมข้าวจากข้าวกล้องหอมนิล

STUDY ON PRODUCTION OF RICE MILK
FROM BLACK BROWN RICE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AI-M-053-261

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำนมข้าวจากข้าวกล้องหอมนิล

**STUDY ON PRODUCTION OF RICE MILK
FROM BLACK BROWN RICE**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2016-AI-M-053-261

**STUDY ON PRODUCTION OF RICE MILK
FROM BLACK BROWN RICE**

FROM BLACK BROWN RICE



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2016-AI-M-053-261



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษากระบวนการผลิตน้ำนมข้าวจากข้าวกล้องหอมนิล
STUDY ON PRODUCTION OF RICE MILK FROM BLACK BROWN RICE

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐริดา บำเพ็ญเพียร

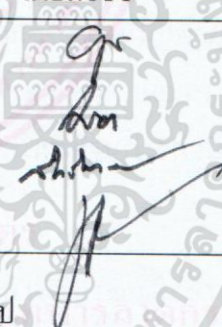
รหัสประจำตัว 57608013

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ยุพร พิชกมูทร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ยุพร พิชกมูทร	
ผศ.ดร. โสรยา เกิดพิบูลย์	
ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์	
รศ. เขวาลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 9 ธันวาคม 2559 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 23 เดือน ๑๒ พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันข้าวจากข้าวกล้องหอมนิล
นักศึกษา	นางสาวณัฐริดา บำเพ็ญเพียร
รหัสประจำตัว	57608013
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ยุพร พิชกมุทร

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันข้าวจากข้าวกล้องหอมนิล มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตน้ำมันข้าวจากข้าวกล้องหอมนิลร้อยเปอร์เซ็นต์ ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา โดยเริ่มจากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องหอมนิล พบว่า ข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณโปรตีนสูง (ร้อยละ 10.27) ปริมาณอะไมโลสร้อยละ 17.72 และปริมาณแอนโทไซยานิน 5.22 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมนิลด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมนิลมีค่าความหนืดสูงสุด ค่า Breakdown และค่า Setback ต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วมีค่าความหนืดสูงที่สุดมากกว่าแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่ผ่านการคั่ว

การผลิตน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลได้ทำการศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล เตรียมโดยนำแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วในปริมาณร้อยละ 3 4 และ 5 (w/w) มาผสมกับน้ำ 500 กรัม ใส่ในหม้อสแตนเลสและปิดฝาให้สนิท จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยวางในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 – 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 50 และ 60 นาที ด้วยการวางแผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design พบว่า ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำสมการ โมเดลมาใช้ในการทำนายสถานะในการเตรียมน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลให้มีความหนืดอยู่ในช่วงความหนืดของเครื่องดื่มจากธัญพืชและเมล็ดถั่วที่มีขายตามท้องตลาด โดยความหนืดที่ต้องการ ประกอบด้วย ความหนืดต่ำ (11.81 cP) ความหนืดปานกลาง (16.30 cP) และความหนืด

สูง (20.80 cP) เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ชิมเลือกน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลความหนืดต่ำ ซึ่งใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลร้อยละ 3 (w/w) ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 40 นาที โดยให้การยอมรับน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลอยู่ระดับชอบปานกลาง จากนั้นนำน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ได้มาทำการศึกษานิเวศและปริมาณของสารให้ความคงตัวที่เหมาะสม เพื่อพัฒนาคุณภาพ โดยเติมสารให้ความคงตัว 3 ชนิด ได้แก่ คาร์ราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม ในปริมาณร้อยละ 0.025 0.050 และ 0.075 (w/w) พบว่า ชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าความหนืด ค่าความข้น เฟอร์เซนต์การแยกชั้น และค่าสีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือแซนแทนกัมร้อยละ 0.025 (w/w) ทำให้ความคงตัวของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลเพิ่มขึ้น รวมทั้งเมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เติมสารให้ความคงตัวทั้งสองชนิดและน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่เติมสารให้ความคงตัวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับแซนแทนกัม พบว่าการใช้แซนแทนกัมทำให้ความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีค่าสูงกว่าน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่เติมสารให้ความคงตัวมาก ดังนั้นจึงเลือกน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.025 (w/w) มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า pH ค่าความหนืด ค่าความข้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่เฟอร์เซนต์การแยกชั้น ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตอยู่ที่ร้อยละ 92.47 0.08 0.20 0.04 0.10 และ 7.11 ตามลำดับ

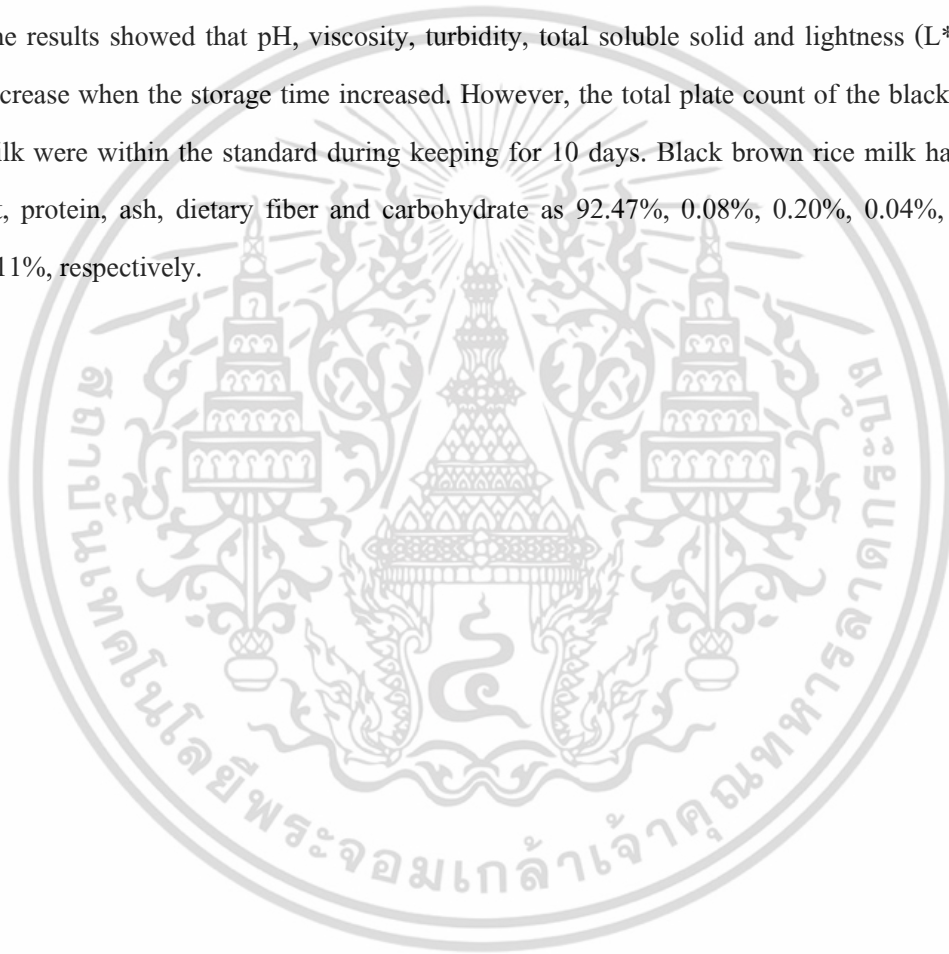
Thesis	Study on production of rice milk from black brown rice
Student	Miss. Nutthida Bamphenphian
Student ID.	57608013
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2016
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Yuporn Peuchkamut

ABSTRACT

Study on production of rice milk from black brown rice was done. The objective was to produce black brown rice milk from hundred percent of Homnil black brown rice. The chemical composition and rheological properties of the black brown rice was elucidated prior to produce black brown rice milk. The protein content of the black brown rice was around two times of ordinary jasmine rice. Moreover, the black brown rice contained 5.22 mg/100g of anthocyanin. The peak, breakdown and setback viscosities determined from the Barbender of black brown rice flour were significantly less than those of Surin jasmine rice flour. However, roasted black brown rice flour had peak viscosity higher than that of the black brown rice flour without roasting.

The response surface methodology was used to design the effect of roasted black brown rice flour (3%, 4% and 5% w/w) and heating time (40, 50 and 60 minutes) on the qualities of the black brown rice milk. The black brown rice milk production started from mixed the rice flour with water in the stainless steel pot and closed the lid. The mixtures was heated by placing the pots in the hot water at 85 - 90 °C till reached the assign times prior to add 5% (w/w) sugar. Then the mixtures were heated more 5 minutes before packed into the sterilized bottle and cooled down. The result from the central composite design found that the rice flour quantity and heating time affected to viscosity, lightness (L*), redness (a*), yellowness (b*), turbidity and total soluble solid significantly ($p \leq 0.05$). The equation models that could predict all these responses were established with coefficient (R^2) were around 0.9800 - 0.9981. Moreover, the model was used to find the condition for preparing the black brown rice milk with subjected to the sensory evaluation. The sensory result found that the panelists preferred the black brown rice milk that prepared from the rice flour 3% and heating time of 40 minutes.

The effect of stabilizers as carrageenan, carboxymethyl cellulose and xanthan gum on the qualities of the black brown rice milk was further studied. The result showed that the addition of carboxymethyl cellulose or xanthan gum at 0.025% (w/w) improved the stability of the black brown rice milk significantly. Sensory evaluation showed that the preference scores of the both black brown rice milk were not significantly different. However, in the present study, carboxymethyl cellulose was chosen for the further study because it did not drastically affect the viscosity of the black brown rice milk. The shelf-life of the black brown rice milk was also studied. The black brown rice milk were kept for 10 days at 4 °C to examine their quality changes. The results showed that pH, viscosity, turbidity, total soluble solid and lightness (L*) tended to decrease when the storage time increased. However, the total plate count of the black brown rice milk were within the standard during keeping for 10 days. Black brown rice milk had moisture, fat, protein, ash, dietary fiber and carbohydrate as 92.47%, 0.08%, 0.20%, 0.04%, 0.10% and 7.11%, respectively.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จขึ้นได้ด้วยความกรุณาของท่านอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศศ.ดร.ยุพร พิษกมฺุทร ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษา ที่เป็นประโยชน์ต่อข้าพเจ้าในการทำวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเป็นรูปเล่มสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ศศ.ดร. โสธยา เกิดพิบูลย์ ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์ และ รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกเรื่องเสมอมา

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ธุรการในงานเอกสารต่างๆ ที่ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และเป็นกำลังใจ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษาและผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไป เนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

ณัฐธิดา บำเพ็ญเพียร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว	3
2.1.1 โครงสร้างของข้าว	3
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว	4
2.2 ข้าวกล้องหอมนิล	7
2.2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหอมนิล	8
2.2.2 คุณประโยชน์ของข้าวกล้องหอมนิล	9
2.2.3 สีของข้าวกล้องหอมนิล	10
2.3 การพาสเจอร์ไรซ์	14
2.3.1 วัตถุประสงค์การพาสเจอร์ไรซ์	14
2.3.2 วิธีการพาสเจอร์ไรซ์	15
2.4 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าว	15
2.4.1 แนวโน้มทางการตลาดของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ	16
2.4.2 การผลิตเครื่องดื่มจากข้าว	17
2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเครื่องดื่มจากข้าว	18
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตซุปรหรือเครื่องดื่ม จากข้าว	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	33
3.1 วัสดุคืบ	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล	33
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์	33
3.4 สารเคมี	34
3.5 อาหารเลี้ยงเชื้อ	35
3.6 สถานที่ทำการทดลอง	35
3.7 วิธีการดำเนินงาน	36
3.7.1 การศึกษาคุณภาพของข้าวกล้องหอมนิล	36
3.7.2 การเตรียมแป้งข้าวกล้องหอมนิลคั่ว	36
3.7.3 การเตรียมน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล	36
3.7.4 การศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อน ที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล	37
3.7.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่มี ความหนืดแตกต่างกัน	38
3.7.6 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะ ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล	39
3.7.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในระหว่าง การเก็บรักษา	39
3.7.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล	40
3.7.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพของข้าวกล้องหอมนิล	41
4.2 ผลการศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มี ต่อคุณลักษณะของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล	45
4.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืด แตกต่างกัน	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	52
4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่าง การเก็บรักษา	57
4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	74
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	80
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์	94
ภาคผนวก ง การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	96
ภาคผนวก จ กระบวนการผลิตน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	97
ประวัติผู้เขียน	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหอมนิลเปรียบเทียบกับข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 1	9
2.2	โครงสร้างและการดูดกลืนแสงสูงสุดของแอนโทไซยานิน	12
3.1	สภาวะปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนในการเตรียมน้ำ นมข้าวกล้องหอมนิล โดยใช้แผนการทดลองแบบ Response Surface Methodology	37
4.1	องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณอะไมโลส และปริมาณแอนโทไซยานิน ของข้าวกล้องหอมนิลเปรียบเทียบกับข้าวสังข์หยดและข้าวขาวดอกมะลิ 105	42
4.2	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 14 วิเคราะห์ ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์	45
4.3	ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิล และระยะเวลาการให้ความร้อน และค่าตอบสนอง ที่วิเคราะห์ได้	46
4.4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลา การให้ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	47
4.5	สมการ โมเดลทำนายค่าตอบสนองต่างๆ ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลจากการใช้วิธี Response Surface Methodology	48
4.6	ค่าความหนืดของเครื่องดื่มจากธัญพืชและเมล็ดถั่วที่มีขายตามท้องตลาด	50
4.7	การทำนายสภาวะการผลิตน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืดต่างๆ	51
4.8	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีค่าความหนืด ต่างกัน	51
4.9	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความหนืด (cP) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	53
4.10	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความข้น (NTU) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 0 ของการเก็บ	53
4.11	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความข้น (NTU) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 5 ของการเก็บ	54
4.12	ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การแยกชั้น (%) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	55
4.14 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าสีแดง (a^*) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	55
4.15 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าเหลือง (b^*) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	56
4.16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในสถานะต่างๆ	57
4.17 ค่า pH ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน	58
4.18 ค่าความหนืด เปรอร์เซ็นต์การแยกชั้น และค่าความขุ่น ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล ในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน	59
4.19 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสี เหลือง (b^*) ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน	60
4.20 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน	61
4.21 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำ ข้าวกล้องอกหอมนิล	62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	3
2.2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน	4
2.3 ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกติน	5
2.4 โครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิน	11
2.5 โครงสร้างแอนโทไซยานินที่พบมากในพืช	12
2.6 โครงสร้างของโปรแอนโทไซยานิน	14
2.7 กระบวนการผลิตน้ำนมข้าว	18
2.8 โครงสร้างของแคลป้า-คาร์ราจีแนน, ไอโอตา-คาร์ราจีแนน และ แลมบ์ดา-คาร์ราจีแนน	20
2.9 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	21
2.10 โครงสร้างของแซนแทนกัม	22
2.11 ลักษณะการพองตัวของเม็ดแป้งและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายแป้ง	24
2.12 จุดที่สำคัญในการวัดโดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์อะไมโลกราฟ	26
2.13 กราฟการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	27
4.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวทั้งสามชนิดที่วิเคราะห์ได้จาก เครื่องบราเบนเดอร์	44
4.2 แผนภาพคอนทัวร์แสดงผลของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความ ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพด้านต่างๆ ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล	49
4.3 ลักษณะปรากฏของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในขวดแก้วที่ระยะเวลาการเก็บรักษา ต่างกัน	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ข้าวเป็นอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก กว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชาวเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่าคนในภูมิภาคอื่นๆ (Ashish และคณะ, 2012) ประเทศไทยถือเป็นประเทศหนึ่งที่ปลูกข้าวมากเป็นอันดับต้นของเอเชีย นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีการปรับปรุงสายพันธุ์ข้าวอยู่ตลอดเวลา ทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพ คุณค่าทางโภชนาการสูง ด้านทานโรคและแมลง ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และผลผลิตสูง (กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2559)

ข้าวเป็นอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย และยังเป็นแหล่งอาหารที่ดีของวิตามิน ไบโอฟลาวิน และไนอาซิน (ประสิทธิ์, 2553) ซึ่งเป็นวิตามินที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น จากที่นิยมบริโภคข้าวขาวที่ผ่านการขัดสี มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหันมาบริโภคข้าวที่ผ่านการขัดสีน้อยมากขึ้น เช่น ข้าวซ้อมมือ ข้าวแดง และข้าวกล้อง โดยเฉพาะ “ข้าวกล้องหอมนิล” ซึ่งเป็นข้าวที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์ ทำให้ข้าวกล้องหอมนิลมีกลิ่นหอม รสชาติดี คุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย อีกทั้งยังมีสารแอนโทไซยานินและโปรแอนโทไซยานิน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิตามินซีและอี โดยจะช่วยต้านอนุมูลอิสระ ลดอาการอักเสบ ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและโรคมะเร็ง เป็นต้น (Stüntzing และ Carle, 2004 ; Chen และคณะ, 2016)

ปัจจุบันการค้าข้าวในตลาดโลกมีการแข่งขันมากขึ้น รวมถึงมาตรการกีดกันการนำเข้าของประเทศต่างๆ ทำให้ราคาข้าวไม่แน่นอน การนำข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ข้าวเม่า เส้นก๋วยเตี๋ยว ไอศกรีม น้มนมข้าว เป็นต้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหา และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้นอีกด้วย สำหรับการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์น้มนมข้าวเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมูลค่าตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเติบโตสูงขึ้น และมีช่องว่างทางการตลาดอยู่มาก โดยมูลค่าทางการตลาดของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมีมูลค่า 9.3 หมื่นล้านบาท (ไทยโพสต์, 2555) จึงเป็นโอกาสอันดีที่จะนำข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ น้มนมข้าว อีกทั้งน้มนมข้าวยังเป็นอาหารสุขภาพที่เหมาะสมสำหรับคนทุกวัย อุดมไปด้วยวิตามินและ โยอาหาร และยังสามารถใช้ดื่มทดแทนนมวัวได้เป็นอย่างดี (อริยาภรณ์ และคณะ, 2550) และได้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวในรูปแบบบรรจุกระป๋อง ขวดแก้ว และกล่องที่ผ่านการฆ่าเชื้อแบบ UHT (Durand และคณะ, 2003) เพื่อสะดวกในการบริโภคและมีอายุการเก็บรักษานาน

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวที่วางขายตามท้องตลาด ส่วนมากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบชนิดต่างๆ อาทิเช่น ถั่วเหลือง งาคำ ลูกเดือย และเมล็ดบัว อยู่ในปริมาณมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวที่ได้มีเนื้อสัมผัส รสชาติ และกลิ่นรสของข้าวเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นการสูญเสียเอกลักษณ์ของน้ำนมข้าว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวกล่องหอมชนิดมีจุดประสงค์ในการใช้ข้าวกล่องหอมชนิดเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งเป็นข้าวที่ให้กลิ่นหอม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ไม่ใช่ธัญพืชหรือถั่วอื่นๆ โดยศึกษากระบวนการผลิตน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิดที่เหมาะสม ตลอดจนศึกษาคูณลักษณะทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวกล่องหอมชนิดที่มีคุณภาพ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเหมาะที่จะนำไปพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาคูณภาพของข้าวกล่องหอมชนิด
2. เพื่อศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล่องหอมชนิดและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิด
3. เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิด
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิดในระหว่างการเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยจะครอบคลุมเนื้อหาที่สำคัญของกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิด และศึกษาคูณลักษณะของน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิดที่เหมาะสม โดยการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ รวมถึงการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวกล่องหอมชนิด เพื่อให้ได้น้ำนมข้าวกล่องหอมชนิดที่มีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเหมาะที่จะนำไปพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรม

บทที่ 2

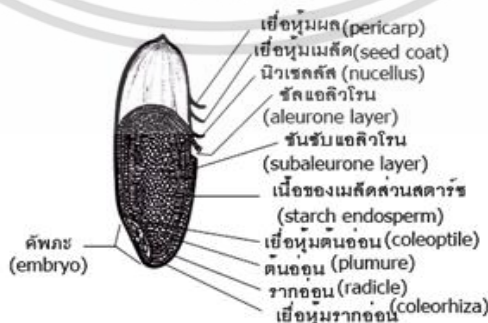
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าวเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์มาก ประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นหลักโดยเฉพาะชาวเอเชีย ดังนั้นข้าวจึงปลูกกันมากในเอเชียและใช้บริโภคในเอเชียประมาณร้อยละ 90 โดยในปี 2558 ประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกข้าวทั้งหมด 65 ล้านไร่ และสามารถผลิตข้าวสารได้ 18.76 เมตริกตัน ซึ่งถือว่าเป็นประเทศที่สามารถผลิตข้าวสารได้เป็นอันดับ 6 ของโลก รองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ และเวียดนาม (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2559)

2.1.1 โครงสร้างของข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือกประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (hull) และเนื้อผล (caryopsis grain) ในส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดหรือเกลบบมีเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบ โดยเกลบบจะถูกกำจัดออกระหว่างการสีข้าว (ชาญ, 2536) เมื่อสีเอาชั้นเกลบบออกจะได้ข้าวกล้องหรือส่วนเนื้อผลมีส่วนประกอบเรียงลำดับจากชั้นนอกถึงชั้นใน คือ เยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) นิวเคลลัส (nucellus) เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) คัพภะ (embryo) และเนื้อเมล็ดหรือเนื้อข้าว (endosperm) ซึ่งในส่วนนี้ประกอบด้วย ส่วนชั้นซับแอลิวโรน (subaleurone layer) และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อเมล็ด (starchy endosperm) ซึ่งมีอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) เป็นส่วนประกอบหลักอยู่รวมเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) ประมาณร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ (อรอนงค์, 2550)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

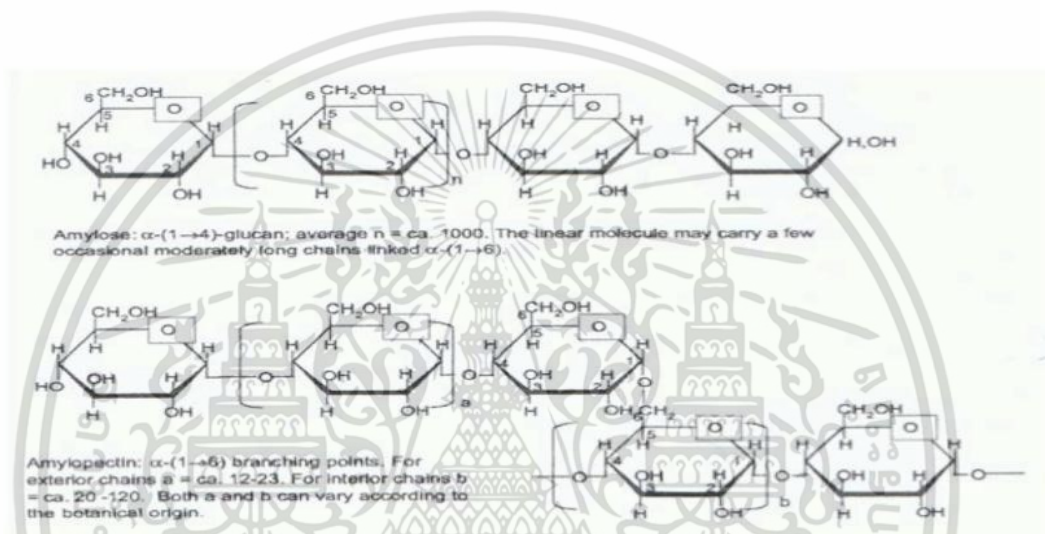
ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

2.1.2.1 คาร์โบไฮเดรต

สตาร์ช เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากที่สุดในเนื้อเมล็ดของข้าว (ประมาณร้อยละ 90) จึงมีผลต่อคุณภาพของข้าวมาก โดยโมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วย พอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะ คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งโมเลกุลทั้งสองจะจัดเรียงตัวกันแน่นจนเป็นเม็ดสตาร์ช โดยมีโครงสร้างลักษณะเป็นรัศมีจากจุดกลางแบบกิ่งผลึก โดยบางส่วนจะอยู่ร่วมกับลิพิด (อรอนงค์, 2550)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

ที่มา: Tester และคณะ (2004)

อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic linkage และอาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985) อะไมโลสในเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน และมีค่าระดับขั้นของพอลิเมอร์ไรเซชัน (degree of polymerization, DP) แตกต่างกันด้วยตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเม็ดสตาร์ช อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพกติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous region) และส่วนผลึก (crystalline region) โครงสร้างของอะไมโลสมีทั้งแบบสายเดี่ยวและสายคู่ เมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คล้ายตัวหรือม้วนบางช่วง (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) นอกจากนี้ โครงสร้างของอะไมโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลด้วย ซึ่งถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6,500 - 160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็งแรง (double helix) ส่วนอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 จะมีโมเลกุลเป็นลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจง และอาจมีบางส่วนละลายได้ (Whistler และ Daniel, 1984)

อะไมโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสสายสั้นที่มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 10 - 60 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glycosidic linkage (กลีแวนรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) โครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินจะประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ สาย A (A chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure) สาย B (B chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า และสาย C (C chain) ซึ่งเป็นสายแกนที่ประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ แสดงดังภาพที่ 2.3 ในอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วย สาย C หนึ่งสายเท่านั้น สำหรับอะไมโลเพกตินของเมล็ดสตาร์ชข้าว สายส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80 - 90 จะประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยวๆ และสายที่เหลืออีกร้อยละ 10 - 20 จะเป็นส่วนเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม (กลีแวนรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะ โครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกติน

ที่มา: Martin และ Smith (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีมาจากรองจากสตาร์ช ส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มและคัพพะ จึงทำให้ข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนอยู่ถึงร้อยละ 7.1 - 8.3 ขณะที่ข้าวสารมีโปรตีนเพียงร้อยละ 6.3 - 7.1 (Juliano, 1993) โปรตีนในข้าวจำแนกออกเป็น 4 ชนิด ตามสมบัติทางการละลาย คือ อัลบูมิน (albumin) มีปริมาณร้อยละ 3.8 - 8.8 ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำหรือน้ำเกลือเจือจาง โกลบูลิน (globulin) มีปริมาณร้อยละ 9.6 - 10.8 ละลายในน้ำเกลือ ส่วนโพรลามิน (prolamin) มีปริมาณร้อยละ 2.6 - 3.3 เป็นโปรตีนที่ละลายในเอทานอลเข้มข้น และกลูเตลิน (glutelin) มีปริมาณร้อยละ 66 - 78 ละลายในน้ำซึ่งมีกรดหรือด่างเล็กน้อย (Cagampang และคณะ, 1966) โปรตีนในข้าวมีกลูเตลินเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ออริเซนิน (Oryzenin) โปรตีนเกาะอยู่ที่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ช เมื่อเกิดเจลาตินในเซชันโปรตีนจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับแป้ง ทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และความเหนียวของข้าวสุกต่ำกว่าข้าวที่ไม่มีโปรตีน (Hamaker และ Griffin, 1993) ทั้งยังทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard' reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ข้าวมีสีเหลืองคล้ำ (Hamaker, 1994)

2.1.2.3 ไขมัน

ไขมัน พบมากในส่วนของเยื่อหุ้มและคัพพะ ทำให้ในข้าวกล้องมีไขมันอยู่ถึงร้อยละ 1.6 - 2.8 ส่วนในข้าวสารมีเพียงร้อยละ 0.3 - 0.5 (Juliano, 1993) ไขมันในข้าวประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) กลูโคลิพิด (glycolipids) และฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ตำแหน่งของไขมันในข้าวแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ไขมันที่แทรกอยู่ร่วมกับโปรตีนในชั้นแอลิวโรน และบริเวณผิวเม็ดสตาร์ชเรียกไขมันพวกนี้ว่า non-starch lipids (Morrison, 1981) หรือ free lipid (Kitahara และคณะ, 1994) กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่ที่ผิวของสตาร์ชทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) และอีกกลุ่มหนึ่ง คือ ไขมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชเรียกไขมันพวกนี้ starch lipids (Morrison, 1981) หรือ bound lipid อาจแทรกอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชหรือทำพันธะอยู่ในเกลียวของโมเลกุลอะไมโลส เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-lipid complex) ซึ่งมีผลทำให้ความสามารถในการพองตัวและค่าการละลายลดลง (Davies และคณะ, 1980)

2.1.2.4 วิตามิน

วิตามินในข้าวนั้นส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน และคัพพะมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนของเมล็ดข้าว (endosperm) ดังนั้นข้าวกล้องที่ถูกขัดสีจนเป็นสีขาวเป็น “ข้าวสาร” มักจะมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย (Juliano, 1993) โดยวิตามินที่อยู่ในข้าวมีดังนี้

- 1.) พวกที่มีอยู่น้อยมากหรือเกือบไม่มีอยู่เลย ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินดี และวิตามินบี 12
- 2.) พวกที่มีอยู่บ้าง (ปริมาณเล็กน้อย) ได้แก่ วิตามินบี 1 และวิตามินบี 2
- 3.) พวกที่มีอยู่มากพอสมควร ได้แก่ ไนอาซินหรือนิโคตินิก แอซิด (พี-พีแฟกเตอร์, วิตามินบี 5)

2.1.2.5 แร่ธาตุ

แร่ธาตุในข้าวนั้นส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของเปลือก เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน และคัพพะ (Juliano, 1993) โดยแร่ธาตุที่อยู่ในข้าวมีดังนี้

- 1.) กลุ่มที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวมากพอสมควร ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) แมกนีเซียม (Mg) และโพแทสเซียม (K) โดยที่ฟอสฟอรัสที่พบจะอยู่ในรูปแบบที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นส่วนใหญ่
- 2.) กลุ่มที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเพียงเล็กน้อย ได้แก่ แคลเซียม (Ca) คลอรีน (Cl) ซิลิกอน (Si) และเหล็ก (Fe) ซึ่งปริมาณของเหล็กและแคลเซียมมีน้อยกว่าความต้องการของร่างกายมนุษย์
- 3.) กลุ่มแร่ธาตุอื่น ได้แก่ อลูมิเนียม (Al) แมงกานีส (Mn) โซเดียม (Na) และสังกะสี (Zn) มีอยู่ในเมล็ดข้าวเพียงเล็กน้อย

2.2 ข้าวกล้องหอมนิล

ข้าวกล้องหอมนิล (Homnil or Black brown rice) หรือเรียกอีกชื่อว่าข้าวกล้องสีนิล มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. โดยข้าวกล้องหอมนิลเป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์มาจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวดำคันเดี่ยของประเทศจีน ซึ่งข้าวกล้องหอมนิลจะมีลักษณะเมล็ดใส เรียวยาว มีสีม่วงเข้มหรือสีดำธรรมชาติ รสชาติหวาน เนื้อเหนียวนุ่ม เมื่อบริโภคแล้วจะรู้สึกอิ่มท้องนาน เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นสีม่วงอ่อน และมีกลิ่นหอม นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แรกกอได้ดี และไม่ไวต่อแสง (อริยาภรณ์ และคณะ, 2550) แต่เป็นพันธุ์ข้าวที่ยังไม่ได้รับความนิยมในการปลูกจากเกษตรกรมากนัก เนื่องจากข้าวหอมชนิดนั้นไม่ใช่พันธุ์ข้าวเศรษฐกิจและมีราคาสูงกว่าข้าวชนิดอื่น รวมทั้งมีการดูแลรักษาได้ค่อนข้างยาก

2.2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหอมนิล

ข้าวกล้องหอมนิล จัดเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะยังคงเหลือเยื่อหุ้มเมล็ด จมูกข้าว และเนื้อข้าวที่มีคุณค่าอาหารครบสมบูรณ์ มีประโยชน์ต่อร่างกายสูง โดยมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 12.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 70 ปริมาณอะไมโลสร้อยละ 16 (อภิชาติ, 2544) มีปริมาณสาร 2-acetyl-1-pyrroline ปานกลาง ร่วมกับสารหอมระเหยจำเพาะพวก cyclohexanone ในปริมาณมาก มีแคลเซียม 4.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปริมาณธาตุเหล็กประมาณ 2.25 – 3.25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และธาตุสังกะสีประมาณ 2.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณสาร antioxidation สูง ประมาณ 293 ไมโครโมลต่อกรัม ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีม่วงเข้มประกอบไปด้วยสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) โพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) ไบโอฟลาโวนอยด์ (bioflavonoids) และวิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และตีผสมอาหารตามธรรมชาติ (บริษัท สีนิดไรซ์ จำกัด, 2553)

ในส่วนของรำและจมูกข้าว มีวิตามินอี วิตามินบี และกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ในส่วนของรำมีน้ำมันรำข้าวร้อยละ 18 เป็นองค์ประกอบ ซึ่งร้อยละ 80 เป็นชนิด C 18 : 1 และ C 18 : 2 เหมือนกับน้ำมันที่ได้จากถั่วเหลืองและข้าวโพด และพบว่ามีสารโอเมก้า 3 (omega 3) ประมาณร้อยละ 1 - 2 รำข้าวมีปริมาณเส้นใย digestible fiber สูงถึงร้อยละ 10 จากข้อมูลทางโภชนาการนับได้ว่าข้าวกล้องหอมนิลเป็นข้าวที่มีศักยภาพในการนำมาแปรรูปทางอุตสาหกรรมอาหารสูง เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวกล้องหอมนิล รวมทั้งขนมขบเคี้ยวต่างๆ (บริษัท สีนิดไรซ์ จำกัด, 2553)

เมื่อนำข้าวกล้องหอมนิลมาเปรียบเทียบกับข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 1 พบว่า ข้าวกล้องหอมนิลมีโปรตีน ธาตุเหล็ก สังกะสี สูงกว่าข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 1 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องหอมนิลเปรียบเทียบกับข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 1

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวกล้องหอมนิล *	ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 **	ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 1 **
โปรตีน (ร้อยละ)	12.56	7.06	8.12
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	3.26	0.99	1.03
สังกะสี (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	2.90	2.66	2.33
แคลเซียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	4.20	8.59	8.71

ที่มา: * อภิชาติ (2544)

** คัดแปลงจากบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง(ประเทศไทย)จำกัด สาขาเชียงใหม่ (2549)

2.2.2 คุณประโยชน์ของข้าวกล้องหอมนิล

การบริโภคข้าวกล้องหอมนิลจะได้คุณค่าทางอาหารหลายอย่าง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีนช่วยเสริมสร้างซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารอื่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่มากเป็นส่วนใหญ่ในข้าวกล้อง คือ วิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินบี 1 (thiamin) ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ช่วยในขบวนการเปลี่ยนแปลงในร่างกายนให้เป็นพลังงานและช่วยในการทำงานของระบบประสาทในการบังคับกล้ามเนื้อ (เทอดศักดิ์, 2542) วิตามินบี 2 (riboflavin) ช่วยป้องกันโรคปากนกกระชอกและช่วยในการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน ไนอาซิน (niacin) ช่วยในการทำงานของระบบผิวหนังและระบบประสาท นอกจากวิตามินแล้วข้าวกล้องยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกาย คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ส่วนในจมูกข้าวยังมีวิตามินอี เซเลเนียม และแมกนีเซียม ประกอบอยู่ด้วย แร่ธาตุต่างๆเหล่านี้ช่วยเสริมสร้าง การทำงานในระบบต่างๆของร่างกาย ส่วนใยอาหารซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน (polysaccharides) ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีอยู่มากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้อง เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะผ่านกระเพาะและลำไส้เล็กได้ง่าย เนื่องจากน้ำย่อยไม่สามารถย่อยเส้นใยอาหารได้ทั้งหมดจึงถูกขับออกมา และช่วยพาลิ่งที่ตกค้างอยู่ในลำไส้ออกไปเป็นกากอาหาร ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการท้องผูก และช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ด้วย นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีบทบาทในการช่วยป้องกันโรคเบาหวาน โรคไขมันในเส้นเลือด โรคท้องผูก และโรคมะเร็งลำไส้ (บรรจบ, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทบาทข้าวกล้องหอมนิลต่อโรคเบาหวาน การรับประทานคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ระบบย่อยจะใช้เวลาในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นกลูโคส กลูโคสที่ได้จะเข้าไปในร่างกายอย่างช้าๆ เป็นอัตราเร็วที่พอดีกับการสร้างอินซูลินของร่างกาย ดังนั้นการรับประทานข้าวกล้องจึงมีผลต่ออัตราความเร็วในการย่อย โดยอัตราความเร็วในการย่อยข้าวกล้องจะพอดีกับอัตราความเร็วในการผลิตอินซูลิน ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างการรับประทานกับการใช้น้ำตาลของร่างกาย ไม่ทำให้ตับอ่อนทำงานหนักเกินไป (บรรจบ, 2554)

บทบาทข้าวกล้องหอมนิลต่ออาการท้องผูก ข้าวกล้องมีเส้นใยอาหารสูง ทำให้กากอาหารมีมากขึ้น โดยเส้นใยอาหารในอุจจาระจะช่วยอุ้มน้ำเอาไว้ ทำให้อุจจาระมีลักษณะนิ่ม ถูกขับออกมานอกร่างกายได้ง่าย และยังช่วยกระตุ้นการบีบตัวของลำไส้ ทำให้ขับถ่ายออกมาตรงตามเวลา (บรรจบ, 2554)

บทบาทข้าวกล้องหอมนิลในการควบคุมไขมันในเส้นเลือด เส้นใยอาหารในข้าวกล้องสามารถดูดซับไขมันในลำไส้ ทำให้ไขมันมีโอกาสซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้น้อย (เทอดศักดิ์, 2542)

บทบาทข้าวกล้องหอมนิลต่อมะเร็งลำไส้ เส้นใยอาหารในข้าวกล้องสามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ ทั้งนี้มะเร็งลำไส้ใหญ่เกิดได้จากการรับประทานอาหารเนื้อสัตว์ที่มีโปรตีนและไขมันสูง ไม่มีเส้นใยอาหาร ซึ่งเนื้อสัตว์ส่วนใหญ่จะค้างอยู่ในลำไส้ ไม่สามารถย่อยสลายได้หมด เมื่อโปรตีนและไขมันถูกน้ำย่อยก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นยางเหนียวๆติดกับลำไส้ใหญ่ อีกทั้งไขมันในเนื้อสัตว์จะเรียกเอาน้ำดีออกมาย่อยจึงอุ้มน้ำดีไว้ด้วย กรดน้ำดีนี้จะเป็นอาหารของแบคทีเรียส่งผลให้แบคทีเรียสร้างสารก่อมะเร็ง ซึ่งพบว่าทำให้เกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ ดังนั้นการรับประทานข้าวกล้องซึ่งมีเส้นใยอาหารจะทำให้ขับถ่ายได้สะดวก สามารถป้องกันมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ (เทอดศักดิ์, 2542)

บทบาทของข้าวกล้องหอมนิลต่อการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทและระบบภูมิคุ้มกันโรคที่สมบูรณ์ เนื่องจากในข้าวกล้องจะมีวิตามินบี 6 เป็นโคเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอาหารให้เกิดพลังงาน และกระบวนการสร้างสารภายในร่างกาย มีความจำเป็นต่อการสร้างน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร อีกทั้งร่างกายจำเป็นต้องใช้วิตามินบี 6 ในการสร้างแอนติบอดีและเม็ดเลือดแดง (เทอดศักดิ์, 2542)

2.2.3 สีของข้าวกล้องหอมนิล

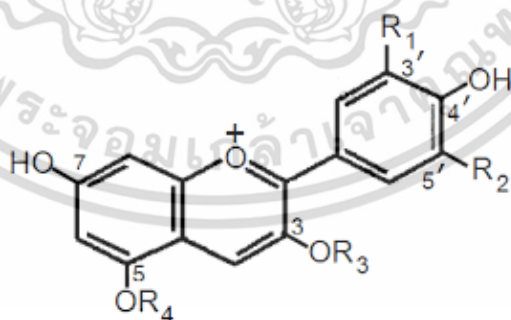
สีข้าวกล้องแสดงออกที่เนื้อเยื่อชั้น pericarp ส่วน endosperm ของข้าวทุกชนิดมีสีขาว ทั้งนี้ สีข้าวกล้องมีสีต่างๆกัน ตั้งแต่ขาวแดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงถึงเกือบดำ สีข้าวกล้องถูกควบคุมโดยยีนหลายคู่ โดยข้าวกล้องหอมนิลจะมีสีม่วงเข้มจนเกือบดำ ซึ่งเป็นสีของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รงควัตถุที่อุดมไปด้วยแอนโทไซยานินและโปรแอนโทไซยานินที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ผนังทวูติ และคณะ (2555) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโปรแอนโทไซยานินและแอนโทไซยานินจากข้าวสี 4 ชนิด โดยใช้ตัวทำละลาย 6 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น, ร้อยละ 1 ของกรดเกลือในน้ำกลั่น, เอทานอล, ร้อยละ 1 ของกรดเกลือในเอทานอล, อะซิโตน และร้อยละ 1 ของกรดเกลือในอะซิโตน พบว่า การสกัดข้าวหอมนิลด้วยร้อยละ 1 ของกรดเกลือในน้ำกลั่นมีปริมาณแอนโทไซยานินที่มากที่สุดอยู่ที่ 1.149 mg/ml และการสกัดข้าวหอมนิลด้วยร้อยละ 1 ของกรดเกลือในอะซิโตนมีปริมาณโปรแอนโทไซยานินที่มากที่สุดอยู่ที่ 10.384 mg ECG/mg ของสารสกัด

2.2.3.1 แอนโทไซยานิน (anthocyanin)

แอนโทไซยานิน (anthocyanin) จัดเป็นรงควัตถุธรรมชาติที่ให้สี ชมพู แดง ม่วง และน้ำเงิน ซึ่งจัดเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) มีโครงสร้างหลักเป็น $C_6C_3C_6$ เป็นรงควัตถุที่ละลายอยู่ใน vacuolar sap ของพืช สามารถละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทชนิดไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล (non-hydroxyl solvent) เช่น อะซิโตน (acetone) เบนซีน (benzene) คลอโรฟอร์ม (chloroform) และอีเทอร์ (ether) เป็นต้น (ทิพวดี, 2550)

แอนโทไซยานินเป็นอนุพันธ์ polyhydroxyl และ polymethoxyl ของสารฟลาวิลีียม (flavylium) หรือ 2 - phenylbenzopyrylium โมเลกุลประกอบด้วยแอนโทไซยานินหรือที่เรียกว่า อะไกลโคโคน (aglycone) ซึ่งจับตัวกับน้ำตาลด้วยพันธะ β - glycosidic ดังภาพที่ 2.4 และมักจับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของโครงสร้างแอนโทไซยานิน (ทิพวดี, 2550)



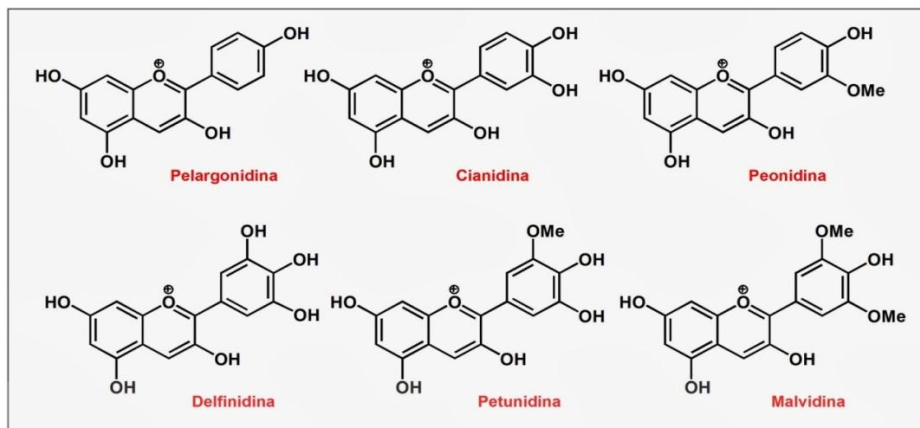
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Jadwiga (2002)

โดยแอนโทไซยานินมีอยู่หลายชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบมากในพืช ได้แก่

pelargonidin cyanidin delphinidin peonidin petunidin และ malvidin ดังแสดงในภาพที่ 2.5

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างแอนโทไซยานินที่พบมากในพืช

ที่มา: Gustavo (2014)

ซึ่งมีความแตกต่างกันที่โครงสร้างและจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลหรืออาจมีหมู่ของน้ำตาล เช่น ไชโรส อาราบิโนส และแรมโนส มาเกาะที่บริเวณอะไกลโคนที่แตกต่างกัน โดยแอนโทไซยานินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่หมู่ R₂, R₃, และ R₅ และมีการดูดกลืนแสงที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างและการดูดกลืนแสงสูงสุดของแอนโทไซยานิน

Anthocyanin	R ₂	R ₃	R ₅	λ _{vis-max} (nm)
Pelargonidin	H	H	H	520
Cyanidin	H	OH	H	535
Delphinidin	H	OH	OH	546
Peonidin	H	OCH ₃	H	532
Petunidin	H	OCH ₃	OH	543
Malvidin	H	OCH ₃	OCH ₃	542
Pelargonidin 3-glucoside	Glc	H	H	516
Cyanidin 3-glucoside	Glc	OH	H	530
Delphinidin 3-glucoside	Glc	OH	OH	543
Peonidin 3-glucoside	Glc	OCH ₃	H	536
Petunidin 3-glucoside	Glc	OCH ₃	OH	546
Malvidin 3-glucoside	Glc	OCH ₃	OCH ₃	546

ที่มา: Stintzing และ Carle (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

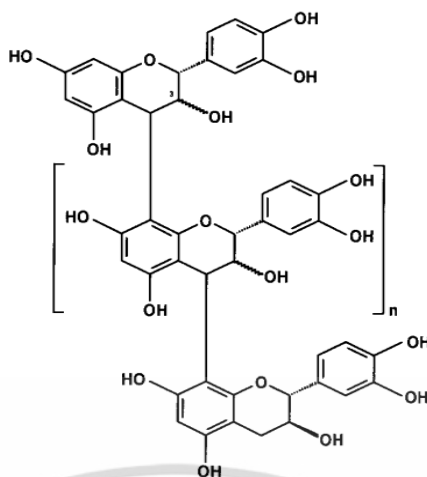
สำหรับรงควัตถุกลุ่มแอนโทไซยานินที่พบในข้าวมีสีส่วนใหญ่ คือ cyanidin-3-glucoside รองลงมาคือ peonidin-3-glucoside นอกจากนี้อาจพบ cyanidin-3-gentiobioside, cyanidin-3-rhamnoside, cyanidin-3,5-diglucoside, cyanidin-3-rhamnoglucoside, malvidin-3-galactoside, peonidin-3-rhamnoglucoside และ delphinidin ซึ่งจะพบในปริมาณน้อย และในข้าวต่างชนิดจะมีปริมาณแอนโทไซยานินที่แตกต่างกัน

แอนโทไซยานิน เป็นสารให้สีธรรมชาติในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีความแตกต่างกันทั้งทางเภสัชวิทยาและชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่า สามารถลดอาการอักเสบ (anti-inflammatory) โดยเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) และกระดูกอ่อน (cartilage) จึงลดการทำลายจากอนุมูลอิสระอันตรายที่สำคัญ ได้แก่ DPPH \cdot , O $_2^{\cdot-}$, OH \cdot , O $_2$ และ H $_2$ O $_2$ (Changlian และคณะ, 2006) นอกจากนี้ยังช่วยปกป้องหลอดเลือด (vasoprotective) โดยการขยายหลอดเลือดและกระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ลดคอเลสเตอรอลในเลือดโดยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (lipid peroxidation) (Francis, 2002) ลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งและต้านไวรัส (Zhao และคณะ, 2009)

2.2.3.2 โพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin)

โพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ดังมีสูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.6 ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง ซึ่งเป็นสาระสำคัญที่ช่วยปกป้องพืชจากองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจนและแสงแดด โดยทั่วไปโพรแอนโทไซยานิดินจะมีมากในเปลือกไม้และเปลือกเมล็ดพืช เมื่อโพรแอนโทไซยานิดินรวมตัวกันจะอยู่ในรูปของ “โอลิโกเมอร์โพรแอนโทไซยานิดิน” (oligomeric proanthocyanidin) หรือเรียกย่อๆว่า OPC และเมื่อรับประทานเข้าไปในร่างกายจะเปลี่ยนเป็นสารสีแดงชื่อแอนโทไซยานิดิน (ไทยไบโอ, 2558)

สารโพรแอนโทไซยานิดิน มีสมบัติเป็นสาร antioxidation ได้ดีกว่าวิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีน (beta-carotene) สารโพรแอนโทไซยานิดินยังไปจับกับอนุภาคของกัมมันตภาพรังสี ทำให้เซลล์ในร่างกายทำงานได้อย่างปกติ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันโรคหัวใจ และโรคความดันโลหิตสูง นอกจากนี้ยังยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง เต้านม ปอด กระเพาะอาหาร และเม็ดเลือดขาว และป้องกันไวรัส HSV-1 รวมถึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ reverse transcriptase ในไวรัส HIV (ช่อทิพา และคณะ, 2556)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของโปรแอนโทไซยานิน

ที่มา: Nakamura และคณะ (2003)

2.3 การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization)

การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) เป็นการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน การฆ่าเชื้อวิธีนี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ก่อโรค รวมทั้งจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย จัดเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและทำให้อาหารปลอดภัยต่อการบริโภค ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อต้องไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส

2.3.1 วัตถุประสงค์การพาสเจอร์ไรซ์ (ทิพาพร, 2558)

วัตถุประสงค์ของการพาสเจอร์ไรซ์แบ่งออกตามค่า pH ของอาหาร เป็นอาหารที่มีค่า pH มากกว่า 4.6 และอาหารที่มีค่า pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.6

2.3.1.1 อาหารที่มีค่า pH มากกว่า 4.6

การพาสเจอร์ไรซ์ทำเพื่อฆ่าจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียบางส่วนอาจเหลือรอดจากการพาสเจอร์ไรซ์ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้การถนอมอาหารแบบอื่นควบคู่ไปด้วย เพื่อป้องกันการเน่าเสีย คือ ทำให้อยู่ภายใต้สภาวะที่การเจริญของจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่เป็นไปได้น้อยที่สุด การถนอมอาหารที่ใช้ควบคู่กับการพาสเจอร์ไรซ์ ได้แก่

- การใช้ความเย็น
- การลดค่าออกเทอร์แอคติวิตี เพื่อทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การเติมน้ำตาล การเติมเกลือ เป็นต้น

- การปรับกรด (acidification) เช่น การใช้กรดเพื่อปรับค่า pH ของหมักไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหมัก (fermentation) โดยใช้จุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบในอาหาร เช่น เปลี่ยนแลคโตสหรือน้ำตาลนมไปเป็นกรดแลคติก ซึ่งทำให้อาหารคงตัวมากขึ้น

2.3.1.2 อาหารที่มีค่า pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.6

การพาสเจอร์ไรซ์อาหารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่แล้วทำเพื่อทำลายเซลล์ปกติ (vegetative cell) เนื่องจากเป็นสถานะที่ไม่เหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคและการงอกของสปอร์ ในกรณีของน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น มะนาว การพาสเจอร์ไรซ์ทำเพื่อทำลายยีสต์หรือรา ส่วนพวกเครื่องดื่มที่ได้จากการหมัก เช่น ไวน์หรือเบียร์ การพาสเจอร์ไรซ์ทำเพื่อทำลายพวกยีสต์แปลกปลอม (wild yeast)

2.3.2 วิธีการพาสเจอร์ไรซ์ (ชมพูนุช และปรัชญา, 2554)

วิธีการพาสเจอร์ไรซ์มี 2 วิธี คือ

2.3.2.1 อุณหภูมิต่ำ - เวลานาน (low temperature - long time ; LTLT)

วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ 63 - 66 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อผ่านความร้อนโดยใช้เวลามากกว่าที่กำหนดแล้ว ต้องเก็บอาหารไว้ในที่เย็น ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส กรรมวิธีนี้นอกจากจะทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคแล้ว ยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ย่อยไขมันชนิดไลเปส ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดกลิ่นหืนในน้ำมันด้วย

2.3.2.2 อุณหภูมิสูง - เวลาสั้น (high temperature - short time ; HTST)

วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าวิธีแรก แต่ใช้เวลาน้อยกว่า คือ อุณหภูมิ 71 - 72 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 15 วินาที อาหารที่ผ่านความร้อนแล้วจะได้รับการบรรจุลงกล่องหรือขวด โดยวิธีปราศจากเชื้อ แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส

2.4 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าว

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวหรือน้ำนมข้าวมีการผลิตและบริโภคมายาวนานในหลายประเทศ เช่น จีน ฮองกง และไต้หวัน โดยใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ว่า "Rice Milk" (Lin และคณะ, 1988) และทางประเทศแถบอเมริกาใต้ เช่น เวเนซุเอล่า ซึ่งมีผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนี้เป็นเครื่องดื่มพื้นบ้านมีการผลิตมาตั้งแต่สมัยโบราณ และนิยมบริโภคกันมาก โดยเรียกชื่อผลิตภัณฑ์ว่า "Chicha de Arroz (Rice Chicha)" (Guerra และคณะ, 1981) ในสหรัฐอเมริกาที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจำหน่าย โดยใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ว่า “Non - Dairy Rice Drink” และประเทศไทยเองมีการผลิต เครื่องดื่มจากข้าวออกจำหน่ายเช่นกัน โดยใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ว่า “น้ำนมข้าวยาจู” (young rice milk)

สำหรับการผลิตเครื่องดื่มจากข้าวหรือน้ำนมข้าวมีการใช้วัตถุดิบในการผลิตหลายชนิด เช่น ข้าวเจ้า สามารถใช้ได้ทั้งชนิดที่เป็นข้าวกล้องและข้าวสาร ซึ่งผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าว โดยทั่วไปจะมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าในน้ำนมวัว ในระยะหลังมานี้จึงมีการปรับปรุงการผลิตโดย เติมพืช เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง และลูกเดือย เป็นต้น และโปรตีนจากสัตว์ เช่น น้ำนมวัว และ หางนมผง เป็นต้น ลงไปในผลิตภัณฑ์ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ (อรุวรรณ, 2545)

2.4.1 แนวโน้มทางการตลาดของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

เครื่องดื่มจากข้าวหรือน้ำนมข้าวจัดเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ซึ่งแนวโน้มทางการตลาด ของอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพนั้น จากผลสำรวจของ Euromonitor International (2012) พบว่า มูลค่าตลาดของอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วยอัตราเติบโตเฉลี่ย ร้อยละ 6 - 7 ต่อปี และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2560 มูลค่าตลาดอาจสูงถึง 1 ล้านล้านเหรียญสหรัฐ โดยที่ประเทศยักษ์ใหญ่อย่างจีน บราซิล และสหรัฐอเมริกา ครองอันดับ 1 ถึง 3 ของประเทศที่มีการ บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพสูงที่สุดตามลำดับ ขณะที่ประเทศไทยอยู่ในอันดับ 19 ของโลก และเป็นรองเพียงประเทศอินโดนีเซียเพียงชาติเดียวในกลุ่มประเทศอาเซียน (สำนักงานนวัตกรรม แห่งชาติ, 2557)

จากการประเมินตลาดของอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2558 ที่มาแรง ยังคงเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารและเครื่องดื่มฟังก์ชันแนล (functional foods & drinks) รองลงมา คือ อาหารที่มาจากธรรมชาติและดีต่อสุขภาพ (naturally healthy foods) วิตามินและ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (vitamins and dietary supplements) ผลิตภัณฑ์จากสมุนไพร (herbal products) และผลิตภัณฑ์ที่ช่วยในการควบคุมน้ำหนัก (weight management products) (ไทยรัฐ, 2558) โดยคาดว่าจะมีมูลค่าตลาดสูงถึง 9.3 5.3 3.8 1.4 และ 0.9 หมื่นล้านบาท ตามลำดับ (ไทยโพสต์, 2555) จากมูลค่าและช่องว่างการตลาดที่ยังคงมีอยู่ค่อนข้างมาก จึงเป็น โอกาสอันดีที่จะนำวัตถุดิบทางการเกษตรที่หาได้ในประเทศ โดยเฉพาะข้าวซึ่งถือเป็นวัตถุดิบทาง การเกษตรที่สำคัญ มาผลิตและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ถือเป็น การช่วยเพิ่มมูลค่า ให้กับสินค้าอาหารและเกษตรของไทย และยังสามารถส่งออกรายได้กลับสู่ประเทศได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การผลิตเครื่องดื่มจากข้าว

การผลิตเครื่องดื่มจากข้าวหรือน้ำนมข้าวมีการใช้วัตถุดิบในการผลิตหลายชนิด โดยทั่วไปที่นิยม ได้แก่ เมล็ดข้าวและแป้งข้าว จึงทำให้มีวิธีการผลิตน้ำนมข้าวที่แตกต่างกัน

2.4.2.1 เมล็ดข้าว มีวิธีผลิต คือ นำข้าวผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม (สามารถผสมธัญพืชเพิ่มได้) ใส่ลงในเครื่องทำน้ำนมถั่วเหลืองอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องจะทำการต้มและปั่นในตัวเครื่องเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระชอนหรือผ้าขาวบาง จากนั้นนำน้ำที่ได้มาเติมน้ำตาลทรายและดื่มม่าเชื้อ จะได้น้ำนมข้าว (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2553)

2.4.2.2 แป้งข้าว มีวิธีการผลิตหลักๆ ดังนี้

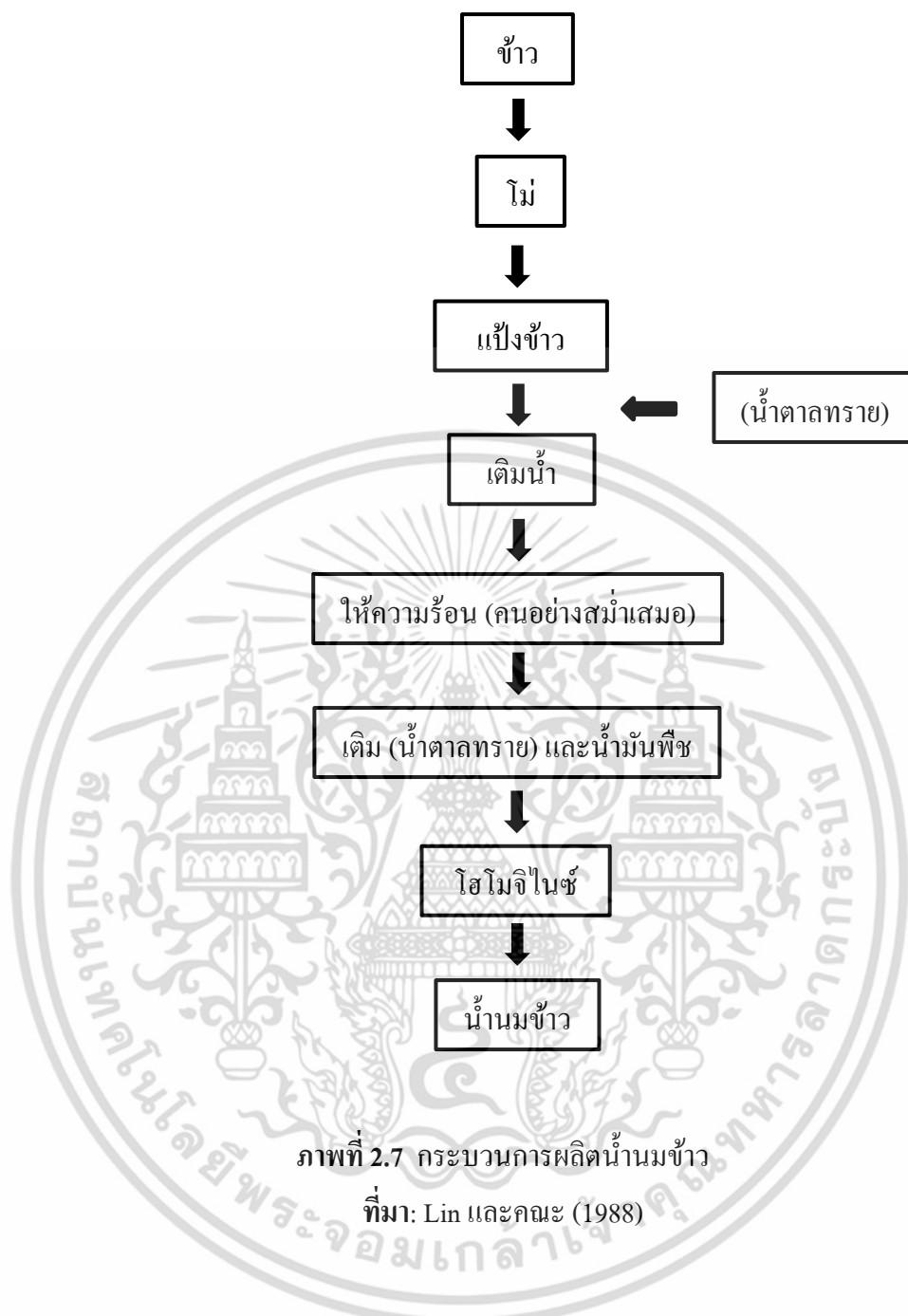
1.) การเตรียมแป้ง ซึ่งทำได้ 2 วิธี ได้แก่

- โม่แห้ง (dry milling) ทำได้โดยนำข้าวมาผ่านระบบการทำความสะอาดแบบแห้ง แล้วเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้งเป็นผง ร้อนผ่านเครื่องร่อนให้มีขนาดสม่ำเสมอ ข้อดีของวิธีโม่แห้ง คือ แป้งไม่สูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำได้ในระหว่างการโม่ แต่จะมีข้อเสีย คือ แป้งจะค่อนข้างหยาบ สิ่งเจือปนสูง และอายุการเก็บรักษาสั้น (อรอนงค์, 2550)

- โม่เปียก (wet milling) ทำได้โดยนำข้าวมาแช่ในน้ำ เพื่อให้เมล็ดข้าวนิ่ม โม่ได้ง่ายขึ้น จากนั้นนำข้าวและน้ำในปริมาณที่เหมาะสมมาโม่ด้วยเครื่องโม่ไฟฟ้า แล้วจึงนำไปผ่านเครื่องแยกน้ำออกจากแป้ง หลังจากนั้นนำไปผ่านเครื่องตีแป้งและทำการอบแป้งพร้อมทำการร่อนแป้ง จนได้เป็นแป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยวิธีโม่เปียกมีข้อดี คือ แป้งมีความละเอียดและสิ่งเจือปนน้อย (อรอนงค์, 2550) แต่จะมีข้อเสีย คือ แป้งจะสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำได้และสูญเสียค่าการกำจัดของเสีย

2.) กระบวนการผลิต

นำแป้งที่ได้จากการโม่ข้างต้นมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม และคนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาให้ความร้อนเบื้องต้น โดยคนอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นเติมน้ำตาลทรายที่ละลายแล้วในอัตราส่วนที่เหมาะสม (อาจเติมน้ำตาลทรายก่อนนำไปให้ความร้อน) และเติมน้ำมันพืช แล้วนำมาผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่อง high speed mixer หรือเครื่อง homogenizer จะได้น้ำนมข้าว (Lin และคณะ, 1988) ดังภาพที่ 2.7



2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเครื่องดื่มจากข้าว

โดยทั่วไปสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของเครื่องดื่มจากข้าวมีผลมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน อาทิเช่น ขนาดอนุภาค สารให้ความคงตัว การเกิดเจลลาติโนเซชัน พฤติกรรมทางความหนืด และการเกิดริโทเรเดชัน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของเครื่องดื่มจากข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.1 ขนาดอนุภาค (particle size)

การบดเป็นการลดขนาดอนุภาคขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าว เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากคุณลักษณะของเครื่องดื่มจากข้าวควรมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่เรียบเนียน (smoothness) ในขณะที่เดียวกันควรเกิดความรู้สึกถึงแรงต้านของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้รับความรู้สึกจากองค์ประกอบของอาหาร แรงต้านดังกล่าวเกิดจากขนาดมวลของสาร ความหนาแน่น และการกระจายตัวของอนุภาค ประโยชน์ของการลดขนาด คือ การเพิ่มอัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาณของวัตถุดิบ ทำให้มีขนาดเหมาะสมตามบทบาท และทำให้ผลิตภัณฑ์รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันดีขึ้น (Hids และคณะ, 1997)

2.4.3.2 สารให้ความคงตัว (stabilizer)

สารให้ความคงตัว (stabilizer) คือ สารที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร เพื่อทำให้อาหารมีความคงตัว โดยสารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเป็นพวกไฮโดรคอกอลอยด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวตลอดการเก็บรักษา โดยปกติมักใช้ในปริมาณต่ำ โดยใช้ความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0.05 - 0.5 สารให้ความคงตัวที่ดีควรมีความสามารถในรักษาความคงตัวให้แก่ผลิตภัณฑ์ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ ถูกต้องตามกฎหมาย สามารถละลายน้ำได้ง่ายในน้ำเย็น มีความหนืดต่ำ เมื่อละลายน้ำและไม่ทำให้เกิดเจล (Kaufman และ Garti, 1984) ทั้งนี้ปริมาณที่ใช้ต้องเหมาะสม หากน้อยเกินไปจะไม่สามารถป้องกันการตกตะกอนได้ แต่หากใช้ปริมาณมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูงเกินความต้องการของผู้บริโภค สารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ในอาหาร ได้แก่ คาร์ราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม เป็นต้น

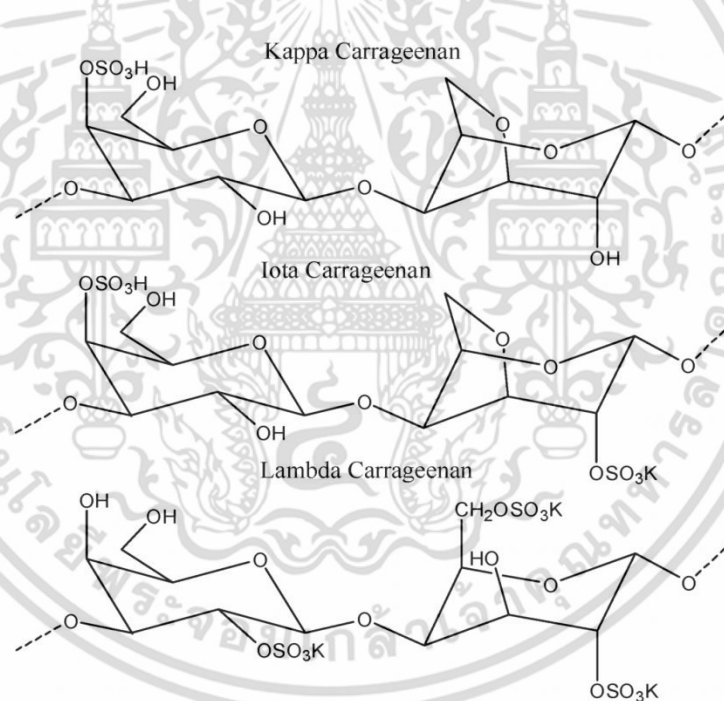
1.) คาร์ราจีแนน (carrageenan)

คาร์ราจีแนน (carrageenan) เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตเป็นทางการค้า ได้แก่ *Euchema cottonii* และ *E. spinosum* มีโครงสร้างหลักเป็นกาแลคโตสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glycosidic linkage และเป็น sulphated polysaccharides ซึ่งคาร์ราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่ม ester sulphate และจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ แคปปา, ไอโอตา และแลมบ์ดา ซึ่งคาร์ราจีแนนทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์หลักที่ซ้ำๆ กันหลายหน่วย (คุยฎี และน้องนุช, 2555)

โดยแคปปา - คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked galactose มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6 anhydro-D-galactose (3,6 AG) ซึ่งแคปปา - คาร์ราจีแนน จะมีความไวต่อโพแทสเซียม และสามารถตกตะกอนแยกออกมาจากคาร์ราจีแนนชนิดอื่นได้โดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ (นิธิยา, 2549)

ไอโอตา - คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked galactose มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6-AG มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 โดยไอโอตา - คาร์ราจีแนน จะมีความไวต่อแคลเซียม (นิธิยา, 2549)

แลมบ์ดา - คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked galactose ซึ่ง มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 ประมาณร้อยละ 70 และ 1,4-linked galactose มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 6 โดยแลมบ์ดา - คาร์ราจีแนน ไม่ไวต่อโพแทสเซียม (นิธิยา, 2549)



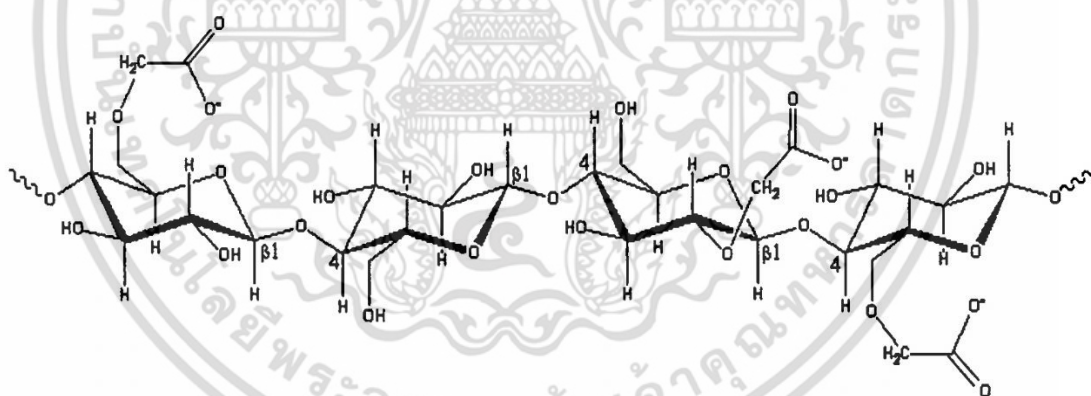
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของแคปปา-คาร์ราจีแนน, ไอโอตา-คาร์ราจีแนน และแลมบ์ดา-คาร์ราจีแนน
ที่มา: Kadajji และ Betageri (2011)

คาร์ราจีแนนทุกชนิดละลายได้ในน้ำร้อน ส่วนในน้ำเย็นแคปปา - คาร์ราจีแนน และไอโอตา - คาร์ราจีแนน จะไม่ละลายน้ำ (ยกเว้นที่เป็นเกลือโซเดียม) แต่จะละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส คาร์ราจีแนนที่อยู่ในสารละลายในน้ำจะมีโครงสร้างเป็น random coil เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิด polymer network เป็น 3 มิติ แต่ละสายของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point เมื่อปล่อยให้เย็นลงอีก จะมีการเกาะตัวของ junction point มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัว เจลแคปปา - คาร์ราจีแนนจะเกิดเจลที่เปราะ แดงง่าย ส่วนไอโอตา - คาร์ราจีแนน จะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น สำหรับแลมบ์ดา - คาร์ราจีแนน ละลายได้ในน้ำเย็นและมีสมบัติไม่เกิดเป็นเจล (นิธิยา, 2534)

2.) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose ; CMC)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose ; CMC) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสประเภทหนึ่ง ที่เกิดจากการปรับปรุงโครงสร้าง โดยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโครงสร้างของเซลลูโลสถูกแทนที่ด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (-OCH₂COOH) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถละลายน้ำได้หากอยู่ในรูปของเกลือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเกลือ เช่น เกลือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethyl cellulose salt) อาจมีชื่อเรียกว่า cellulose gum หรือ sodium cellulose glycolate จัดอยู่ในพวก anionic cellulose ether (ชามาศ, 2555)



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

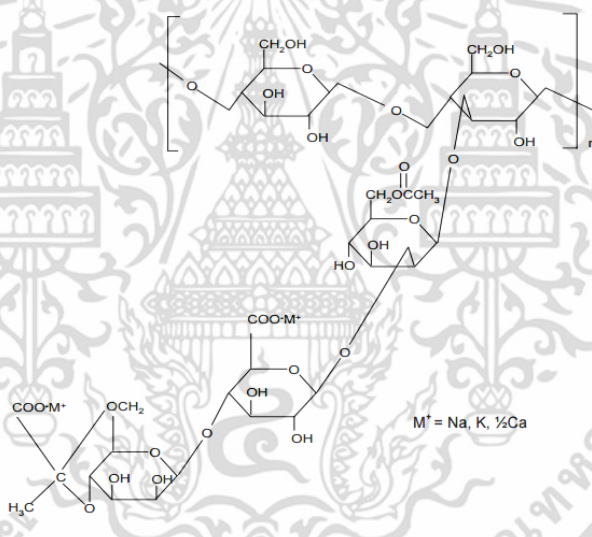
ที่มา: Martin (2016)

โดยทั่วไปสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จะมีความคงตัวที่ pH ช่วงกว้าง 4 - 10 แต่จะให้ค่าความหนืดสูงสุดและมีความคงตัวดีที่สุดที่ pH 7 - 9 ความหนืดของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะลดลง เมื่อ pH ลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้า pH ต่ำกว่า 3 อาจทำให้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อยู่ในรูปกรดอิสระตกตะกอน และถ้า pH สูงกว่า 10 จะทำให้สารละลายมีความหนืดลดลง และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส สามารถละลายได้ในน้ำร้อนและน้ำเย็น (นิธิยา, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) แซนแทนกัม (xanthan gum)

แซนแทนกัม (xanthan gum) สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์ คือ *Xanthomonas campestris* หลังจากกระบวนการหมักแล้วจะนำมาตกตะกอนด้วย isopropyl alcohol แยกเอาแซนแทนกัมออกมาทำให้แห้งแล้วคให้ละเอียด แซนแทนกัมหรือเรียกชื่อทางการค้าว่า Keltol มีโครงสร้างเป็น heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วย glucose, mannose และ glucuronic acid ในอัตราส่วน 2.8 : 3 : 2 มีหมู่ acetyl ประมาณร้อยละ 4.7 และ pyruvic acid ประมาณร้อยละ 3 โดย glucose ต่อกับ mannose ด้วยพันธะ β -1,4 และ mannose ที่เป็นสายแขนงต่อกับสายหลักด้วยพันธะ 1,2 หรือ 1,3 ส่วน glucuronic acid ต่อด้วยพันธะ β -1,2 แซนแทนกัมไม่มีคุณสมบัติเป็น gelling agent แต่สามารถเกิด elastic thermo-reversible gel ได้เมื่อรวมกับ โคลด์สตีปิ้งกัม และเมื่อรวมกับกัวร์กัมจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง (คุชฎี และน้องนุช, 2555)



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของแซนแทนกัม

ที่มา: Sharma และคณะ (2006)

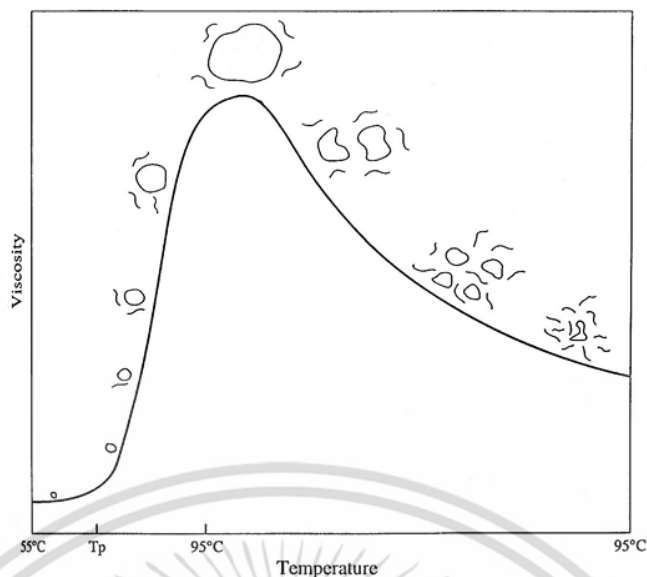
แซนแทนกัม ละลายได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ มีความคงตัวสูงต่อความร้อนและ pH ความหนืดของสารละลายแซนแทนกัมจะคงที่ถึงแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0 - 100 องศาเซลเซียส หรือ pH จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 1-13 ก็ตาม นอกจากนั้นสารละลายแซนแทนกัมยังมีคุณสมบัติเป็น pseudoplastic ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่น ลักษณะปรากฏ และความรู้สึกเมื่ออาหารอยู่ในปาก (mouthfeel) (นิธิยา, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.3 เจลาตินเซชัน (gelatinization)

การเกิดเจลาตินเซชันของสตาร์ชเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชในน้ำที่ได้รับความร้อนและมีการกวนหรือคน ทำให้โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในเม็ดสตาร์ช เกิดการคลายตัวยอมให้โมเลกุลของน้ำแทรกผ่านเข้าไปภายในเป็นผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ของผสมที่ได้จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นและใสมากขึ้น

การเกิดเจลาตินเซชันของเม็ดแป้ง แบ่งได้ 3 ระยะ ดังภาพที่ 2.11 คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (micelles) ยึดหยุ่นได้อย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือการเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า เกิดเจลาตินเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้เริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนถึงระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นลงจะเกิดเจล การเกิดเจลาตินเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น โดยความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างการเจลาตินเซชันจะเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะไมโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเจลาตินเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน และการจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)



ภาพที่ 2.11 ลักษณะการพองตัวของเม็ดแป้งและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายแป้ง

ที่มา: BeMiller และ Whistler (1996)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลลิตินในเซชัน นอกจากอุณหภูมิแล้วยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีอยู่ด้วย เช่น

ผลของน้ำตาล น้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง (ประมาณร้อยละ 50) จะไปลดการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการเกิดเจลลิตินในเซชัน โดยน้ำตาลจะแย่งน้ำจากแป้ง เนื่องจากน้ำตาลจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่จำนวนมาก จึงดูดซึมน้ำได้ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัวถูกจำกัด ทำให้แป้งสุกยากขึ้น สังเกตจาก gelatinization temperature range จะกว้างขึ้น ผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งจะน้อยมากในสารละลายที่มีน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 5 และ 20 โดยน้ำหนักน้ำ (Osman, 1967) นอกจากนี้ น้ำตาลประเภท disaccharide จะมีผลต่อการพองตัว และการเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้งมากกว่าน้ำตาลประเภท monosaccharide (Fennema, 1996)

ผลของเกลือ เกลือจะมีผลเช่นเดียวกับน้ำตาล โดยลดการพองตัวของเม็ดแป้งในการเกิดเจลลิตินในเซชัน แต่เกลือจะมีผลมากกว่าน้ำตาล โดยพบว่าเกลือร้อยละ 0 - 6 โดยน้ำหนักของน้ำ สามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลลิตินในเซชัน (Osman, 1967)

ผลของไขมัน ไขมันประเภทไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดฝ้าย ในปริมาณร้อยละ 9 - 12 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลกระทบต่อ peak viscosity แต่มีผลทำให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิด peak viscosity ลดลง เพราะไขมันไม่อิ่มตัวจะไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลส เช่น การเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้งข้าวโพดจะมี peak viscosity อยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

92 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเติมไขมันไม่อิ่มตัวลงไปร้อยละ 9 - 12 โดยน้ำหนัก จะมี peak viscosity อยู่ที่ 82 องศาเซลเซียส (Osman, 1967)

ผลของกรด อาหารโดยทั่วไปซึ่งมี pH 4 - 7 จะมีผลกระทบต่อการศึกษาเจลลิตินในเซชันน้อยในระหว่างการให้ความร้อน แป้งที่มี pH ต่ำกว่า 4 กรดจะมีผล โดยทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์ของเม็ดแป้ง โดยจะตัดพันธะไกลโคซิดิกของแป้ง ทำให้เกิดเป็น โมเลกุลสั้นๆ มากขึ้น พบว่า peak viscosity จะลดลง (Osman, 1967)

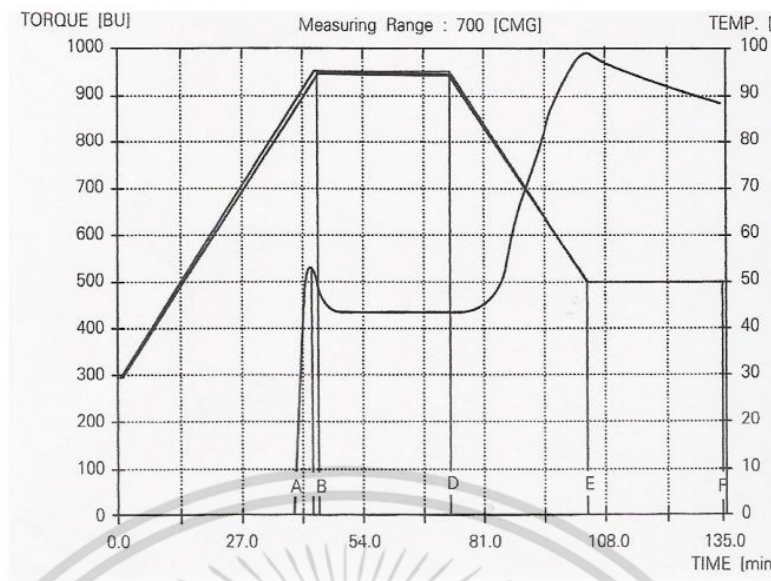
2.4.3.4 พฤติกรรมทางความหนืด

เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าช่วงอุณหภูมิเจลลิตินในเซชัน เม็ดสตาร์ชแต่ละเม็ด จะเกิดเจลลิตินในเซชันและพองตัวเต็มที่อย่างอิสระ โมเลกุลของแป้งที่อมน้ำเต็มที่นี้จะแยกตัวออกจากร่างแหของพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ช แล้วกระจายตัวสารละลายรอบๆ ทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวแตกได้ง่ายขึ้นมีการผสมที่รุนแรง ความหนืดน้ำแป้งที่เกิดขึ้นเนื่องจากสมบัติของเม็ดสตาร์ชที่พองตัวแล้วยังขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาภายในระหว่างโมเลกุลของแป้งสายสั้นๆ ที่ละลายน้ำ ออกมากับส่วนของเม็ดสตาร์ชที่กระจายตัวอยู่ โดยทั่วไปความหนืดของน้ำแป้งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงยอดสูงสุดแล้วลดลงอย่างช้าๆ ขณะที่ให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆ (ผาณิต, 2549) ต่อมาเมื่อลดอุณหภูมิลง ทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นไปอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2550)

การติดตามพฤติกรรมทางความหนืดของแป้งนิยมใช้เครื่องบราเบนเดอร์ อะไมโลกราฟ (brabender amylograph) และเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (rapid visco analyser ; RVA)

1.) เครื่องบราเบนเดอร์อะไมโลกราฟ (brabender amylograph)

เครื่องบราเบนเดอร์อะไมโลกราฟ (brabender amylograph) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลาย หลักการทำงาน คือ การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้ร้อน จนถึงขั้นการทำให้เย็น ติดตามผลและแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ได้หน่วยความหนืดเป็น brabender unit (BU) สามารถเปลี่ยนเป็น centipoise ได้ โดยเทียบความหนืดของสารละลายแป้งสุกร้อยละ 5 ความหนืด 500 BU เท่ากับ 2,700 centipoise (Brautlecht, 1953) ความหนืดค่าต่างๆ (ภาพที่ 2.12) จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะที่สำคัญของแป้งแต่ละชนิด ดังนี้



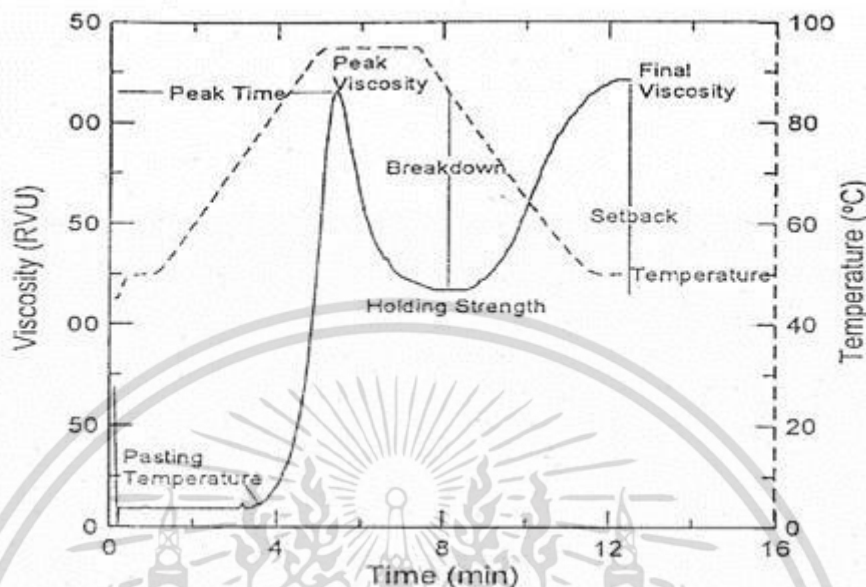
ภาพที่ 2.12 จุดที่สำคัญในการวัดโดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์อะไมโลกราฟ
 ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2550)

- จุด A = ความหนืดเริ่มเกิดเจลาติไนซ์
- จุด B = ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นความหนืดสูงสุดในช่วงให้ความร้อน เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่
- จุด C = ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความยากง่ายในการหุงต้ม
- จุด D = ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของเม็ดแป้ง
- จุด E = ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการเกิดริโทรเกรเดชัน เนื่องจากการทำให้เย็น
- จุด F = ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำแป้งสุกที่ผ่านการหุงต้ม และทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว

2.) เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (rapid visco analyser)

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (rapid visco analyser) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน คุณสมบัติพิเศษ คือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ ทำให้สามารถหาลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting curve) ได้ภายในเวลาสั้น (13 นาที) เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า (ผาณิต, 2549)



ภาพที่ 2.13 กราฟการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
ที่มา: Cozzolino (2016)

ค่าที่เครื่องแสดงผล อ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์ในหน่วยร้อยละหรือ RVU ดังนี้

Peak Time (นาที) = เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด

Pasting Temperature (°C) = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรืออุณหภูมิที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ใน 20 วินาที

Peak Temperature (°C) = อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (peak)

Peak Viscosity (RVU) = ความหนืดที่ความหนืดที่จุดสูงสุด

Holding Strength (RVU) = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น

Breakdown (RVU) = ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืด

ต่ำสุด

Final Viscosity (RVU) = ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง

Setback Form Peak (RVU) = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (peak)

Setback Form Trough (RVU) = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับ

ความหนืดต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.5 รีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

เมื่อสารละลายแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติโนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กระจัดกระจายหลุดออกมา มีผลทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงหรือเก็บรักษาไว้ โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายจะไม่เสถียร และเพื่อทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น โมเลกุลจึงพยายามจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นร่างแหสามมิติที่แข็งแรง โดยโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดซึมน้ำเข้ามาอีก ความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Sajilata และคณะ, 2006) เมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงไปอีกลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาภายนอกเจล เรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน แต่เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เจลขุ่น โดยโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะมีบทบาทในการเกิดรีโทรเกรเดชันแตกต่างกันไป ซึ่งอะไมโลสเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วและเกิดในระยะแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะสายตรง โมเลกุลจึงสามารถรวมตัวกันใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบมีความเสถียรเพิ่มขึ้น ส่วนอะไมโลเพกตินมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันระยะยาว โดยจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้าอาจใช้เวลาหลายวันหรือสัปดาห์ เนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพกตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านที่ทำให้รวมตัวได้ยากกว่า (ศันสนีย์, 2548)

การเกิดรีโทรเกรเดชันมีผลต่อคุณภาพ การยอมรับ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เมื่อเกิดรีโทรเกรเดชันทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับของผู้บริโภคต่ำลง เช่น การสูญเสียความชื้นหนืดและการตกตะกอนของซอสและซูปต่างๆ ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง เป็นต้น แต่ในบางผลิตภัณฑ์การเกิดรีโทรเกรเดชันเป็นสิ่งที่ต้องการให้เกิดขึ้นในบางผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากธัญพืช และกระบวนการผลิตขึ้นมันฝรั่งสุกแห้ง ใช้วิธีคืนรูป – เยือกแข็ง (freeze - thaw) เป็นต้น (ศันสนีย์, 2548)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตซูปหรือเครื่องดื่มนมจากข้าว

สมฤดี (2540) ศึกษาสูตรและกระบวนการผลิตเครื่องดื่มนมเลียนแบบนมจากปลายข้าว โดยใช้ปลายข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่างกัน 3 พันธุ์ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวขาวตาแห้ง 17 และข้าว กข 25 พบว่า เครื่องดื่มนมเลียนแบบนมที่ผลิตโดยใช้ปลายข้าวขาวดอกมะลิ 105 อัตราส่วน แป้ง : น้ำ เท่ากับ 1 : 14 (โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิในการให้ความร้อนเบื้องต้น 65 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที ปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 2.50 และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 3.00 เป็นสูตรที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ หลังจากนั้นนำมาโฮโมจิไนซ์และพาสเจอร์ไรซ์ พบว่า การโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 4 bar 1 รอบ และ 1 bar 1 รอบ ทำให้เครื่องดื่มนมมีความเป็นเนื้อเดียวกันและความคงตัวดี และพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพียงพอที่ทำให้เครื่องดื่มนมมีปริมาณ จุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของนมพาสเจอร์ไรซ์ และทำการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ โดยการเติมโซเดียมเคซีนทรอยล์ 3.00 และใช้ RECODAN - RS VEG® (ประกอบด้วย mono-diglycerides sodium alginate carrageenan และ guar gum) ร้อยละ 0.18 (โดยน้ำหนัก) เพื่อปรับปรุงลักษณะปรากฏด้านความคงตัว พบว่า เครื่องดื่มนมมีความคงตัวดีไม่เกิดการแยกชั้นของ ตะกอน องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มนมชนิดนี้ พบว่า มีความชื้นร้อยละ 87.53 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 6.84 โปรตีนร้อยละ 2.79 ไขมันร้อยละ 2.28 เยื่อใยร้อยละ 0.18 และเถ้าร้อยละ 0.38

อรวรรณ (2545) ศึกษากระบวนการแปรรูปเครื่องดื่มนมจากน้ำนมข้าวกล้อง น้ำนมถั่วเหลือง และรำข้าวบรรจุกระป๋อง โดยใช้ข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันบดละเอียด พบว่า กระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมในการผลิต เครื่องดื่ม คือ เครื่องดื่มที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนของน้ำนมข้าวกล้อง : น้ำนมถั่วเหลือง เท่ากับ 3 : 1 ปริมาณรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันบดละเอียดร้อยละ 1.0 และอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อในรีทอร์ต 115 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที หรือที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) เท่ากับ 3 นาที โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตดังกล่าวเป็นสูตรที่ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดในด้านสี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า สี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับ โดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ *Costridium botulinum*

จุฬารณณ์ และรติดา (2551) ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มนมเพื่อสุขภาพจากข้าวแดง 2 พันธุ์ คือ ข้าวมันปูและข้าวสังข์หยด โดยใช้สัดส่วนของปริมาณแป้งข้าวแต่ละชนิดต่อปริมาณน้ำ เป็น 1 : 30 และ 1 : 40 แล้วใช้ส่วนผสมของซูโครสซีรัปและฟรักโทสซีรัป (แปรอัตราส่วนเป็น 100 : 0 80 : 20 และ 60 : 40) ในการปรับความหวานของเครื่องดื่มนมให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดเป็น 7.9 และ 11 ° Brix สำหรับสารที่ใช้เติมเพื่อทำให้เครื่องดื่มน้ำมีลักษณะปรากฏดีไม่แยกชั้น ได้ทดลองใช้เจลแลนกับและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต เครื่องดื่มจากข้าวแดงทั้งสองชนิด ประกอบด้วยการใช้แป้งข้าวแดงต่อน้ำในสัดส่วน 1 : 40 ใช้ส่วนผสมของซูโครสซีรัปและฟรักโทสซีรัปในอัตราส่วน 60 : 40 ในการปรับความหวานให้มี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในเครื่องดื่มเป็น 9 ° Brix สารที่ทำให้เครื่องดื่มมีความคงตัว ซึ่งใช้ได้ผลดีคือ เจลแลนกับร้อยละ 0.03 แต่การเติมเจลแลนกับมีผลทำให้เครื่องดื่มมีความข้นหนืด มากเกินไปจึงต้องเจือจาง โดยใช้สัดส่วนของแป้งต่อน้ำเป็น 1 : 60 จึงจะได้เครื่องดื่มที่มีความ ข้นหนืดใกล้เคียงกับเมื่อใช้สัดส่วน 1 : 40 ก่อนเติมเจลแลนกับ

ฤทธิรุทร (2553) ศึกษาผลของการลดขนาด การให้ความร้อน และสารให้ความคงตัวต่อ คุณภาพของเครื่องดื่มข้าวกล้องอกผสมน้ำมะเข็มน้ำ พบว่า การแช่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และบดข้าวด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้า โดยใช้อัตราส่วนข้าวกล้อง อกต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 28 ที่สภาวะการให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที และใช้ คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.06 ทำให้เครื่องดื่มข้าวกล้องอกมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด ความหนืดน้อย แต่ปริมาณสาร GABA สูง และไม่เกิดการแยกชั้นตลอดระยะเวลาการเก็บ 4 วัน จากนั้นศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวกล้องอกผสมน้ำมะเข็มน้ำ โดยศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปริมาณน้ำมะเข็มน้ำร้อยละ 4 - 12 นมผงร้อยละ 2.29 - 4.29 และคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.06 - 0.14 จากการยืนยันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต เครื่องดื่มข้าวกล้องอกผสมน้ำมะเข็มน้ำ คือ น้ำมะเข็มน้ำร้อยละ 4 นมผงร้อยละ 4.29 และ คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.08 พบว่า ผู้บริโภคมีระดับคะแนนความชอบเล็กน้อย

เพ็ญพิมพ์ (2553) ศึกษาการพัฒนาเครื่องดื่มข้าวกล้องอกจากข้าวกล้องหอมชนิด โดยใช้ ข้าวกล้องหอมชนิดอกที่เพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ทดแทนข้าวกล้องอกขาว ดอกมะลิ 105 ในสูตรพื้นฐานที่ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 โดยนำข้าวกล้องอกขาวดอกมะลิ 105 ข้าวกล้องอกหอมชนิด ถั่วเหลืองที่แช่น้ำค้างคืน งาขาวคั่ว และน้ำ ตามสูตรที่กำหนด ใส่ลงใน เครื่องทำนํานมถั่วเหลืองอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องจะทำการต้มและปั่นในตัวเครื่องเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำข้าวกล้องอกที่ได้มากรองผ่านกระชอนกรองหรือผ้าขาวบาง 2 ครั้ง แล้วทำการต้ม เป็นเวลา 20 นาที เติมน้ำตาลทรายขาวและบรรจุขวด หลังจากนั้นนำเครื่องดื่มข้าวกล้องอกที่ได้ มาวิเคราะห์ พบว่า การทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่พบความแตกต่างทางสถิติในด้านลักษณะ ปรากฏ สี และกลิ่นระหว่างสูตรข้าวกล้องอกหอมชนิดและข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่ด้านรสชาติและ ความชอบโดยรวมพบว่าสูตรพื้นฐานข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ค่าสูงกว่าสูตรข้าวกล้องอกหอมชนิดอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนสูตรที่ใช้ข้าวกล้องอกหอมชนิดไม่พบความแตกต่างทางสถิติของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอมนิลที่ร้อยละ 100 ซึ่งใช้ข้าวกล้องหอมนิลร้อยละ 6.21 ถั่วเหลืองร้อยละ 1.24 งาขาวคั่วร้อยละ 1.24 น้ำตาลทรายขาวร้อยละ 4.35 และน้ำร้อยละ 86.96 ประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 0.83 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 9.58 ไขมันร้อยละ 0.96 โยอาหารร้อยละ 0.08 และกากบ่า 0.65 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

สุกทิพย์ และคณะ (2555) ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพบางประการของซูปที่ผลิตจากข้าวกล้องและข้าวฮาง โดยการบดข้าวกล้องและข้าวฮางให้มีขนาด 100 ไมครอน จากนั้นนำแป้งข้าวกล้องและข้าวฮางมาต้ม โดยให้ความร้อนใน water bath ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วทำการคนหลังจากให้ความร้อนนาที่ที่ 3 และ 10 หลังจากนั้นคนทุกๆ 10 นาที จนครบ 60 นาที แล้วทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใน water bath เป็นเวลา 30 นาที ในอัตราส่วนแป้งข้าวต่อน้ำ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 หลังจากนั้นนำมาตรวจสอบสี ความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัสของซูปข้าว ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณสัดส่วนน้ำส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัสของซูปลดลงเล็กน้อย ซูปที่ผลิตจากข้าวกล้องมีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ความหนืด และค่าลักษณะเนื้อสัมผัสที่สูงกว่าซูปที่ผลิตจากข้าวฮาง

จุฑามาศ และเจติมพล (2558) ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำแป้งต่อน้ำที่ 1 : 20 1 : 30 และ 1 : 40 ทำโดยการสกัดน้ำแป้งที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบางสองชั้นจนได้น้ำแป้งข้าวหอมนิล จากนั้นศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความหวาน sucrose syrup 60 ° Brix และ banana syrup 60 ° Brix ที่ระดับความเข้มข้น 7 และ 9 ° Brix และปริมาณสารให้ความคงตัวด้วยเจลาตินร้อยละ 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวต่อน้ำ คือ 1 : 30 และจากการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้พบว่า sucrose syrup 7 ° Brix ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และการใช้เจลาตินร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนัก) ส่งผลให้เครื่องดื่มมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

Lee และ Rhee (2003) ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมของเครื่องดื่มข้าวผสมเมล็ดสน โดยนำเครื่องดื่มมาให้ความดันในการไฮโมจิไนซ์ (0 19.6 และ 29.4 เมกะปาสกาล) และ pH (5.5 6.5 และ 7.5) ที่แตกต่างกัน และทำการเก็บรักษาที่ 3 อุณหภูมิ (4 25 และ 40 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 วัน พบว่า เครื่องดื่มที่ pH 6.5 มีค่า pH ลดลงเล็กน้อย หลังจากการให้ความร้อนอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับ pH อื่น ค่าความหนืดของเครื่องดื่มไฮโมจิไนซ์ด้วยความดัน 29.4 เมกะปาสกาล มีการเปลี่ยนแปลงมาก ในขณะที่ความหนืดเครื่องดื่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไฮโมจิเนสด้วยความดัน 19.6 เมกะปาสกาล มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 และ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความคงตัวของสารแขวนลอยในทุกตัวอย่าง พบว่า มีความคงตัวที่ดี โดยรวมสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มนมข้าวผสมเมล็ดคสน ไ้แก่ เครื่องดื่มนมข้าวผสมเมล็ดคสนที่เตรียมจาก pH 6.5 และความดันในการไฮโมจิเนสที่ 19.6 เมกะปาสกาล ทำให้เห็นได้ว่า pH ความดันในการไฮโมจิเนส และอุณหภูมิการเก็บรักษามีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องดื่มนมข้าวผสมเมล็ดคสน

Durand และคณะ (2003) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคและความคงตัวของนมวัว นมข้าวโอ๊ต นมข้าว และนมถั่วเหลือง ที่ผลิตด้วยกระบวนการ ultra-heat treatment (UHT) ความคงตัวของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ความคงตัวในตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีระดับความคงตัวและชนิดของการเกิดตะกอนที่แตกต่างกัน โดยมีความสัมพันธ์ความคงตัวของตัวอย่างดังนี้ นมข้าว << นมข้าวโอ๊ต < นมถั่วเหลือง < นมวัว ส่วนขนาดอนุภาคจะมีความสำคัญมากต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ โดยถ้าขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันและโปรตีนมีขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์จะมีความคงตัว แต่ถ้าขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันและโปรตีนมีขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์จะเกิดการแยกชั้นอย่างรวดเร็ว ความคงตัวของผลิตภัณฑ์จะน้อย จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่มีความคงตัวมากที่สุดจะเป็นนมวัวที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1 ข้าวกล้องหอมนิล สายพันธุ์มะลิสีสุรินทร์ 7 จังหวัดสุรินทร์ เก็บเกี่ยวเดือน ตุลาคม (2558)
- 3.1.2 น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ตราวังขนาย
- 3.1.3 ข้าวหอมมะลิสุรินทร์ ตลาดเกรียงไกร จังหวัดกรุงเทพฯ

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล

- 3.2.1 กระทะทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 เซนติเมตร
- 3.2.2 เครื่องบดแบบเข็ม (Hosokawa Alpine รุ่น ALPINE 160-Z, Germany)
- 3.2.3 เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (vacuum sealer)
- 3.2.4 ถุงสุญญากาศ (vacuum bag) ขนาดกว้าง 7 × 11 นิ้ว
- 3.2.5 หม้อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ลึก 11.50 เซนติเมตร
- 3.2.6 เครื่องปั่นมือถือ (Buono รุ่น Buo-153263, China)
- 3.2.7 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.2.8 ลังถึง
- 3.2.9 เตาแก๊ส
- 3.2.10 นาฬิกาจับเวลา
- 3.2.11 ขวดแก้วฟาส์คอก ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 3.2.12 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 3.2.13 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์

- 3.3.1 เครื่องวัดความหนืดของแป้ง Brabender รุ่น Viscograph-E, Germany
- 3.3.2 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น LVDV- III Ultra Rheometer, USA
- 3.3.3 เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-400, Japan
- 3.3.4 เครื่องวัดความขุ่น Lovibond รุ่น TurbiCheck, Germany

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5	เครื่อง Hand refractometer ดิจิตอล	Atago รุ่น PAL-1 ,Japan
3.3.6	เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง-	Mettler Toledo รุ่น FEP-20, Switzerland
3.3.7	เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง	UV- spectrophotometer รุ่น UV1601, Japan
3.3.8	เครื่องบดแบบเข็ม	Hosokawa Alpine รุ่น ALPINE 160-Z , Germany
3.3.9	เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน	Heidolph รุ่น MR Hei-Standard, Germany
3.3.10	อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	Memmert รุ่น WNB 7, Germany
3.3.11	เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	Ohaus รุ่น PA4102, USA
3.3.12	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Sartorius รุ่น TE214S, Switzerland
3.3.13	เตาเผา	Nabertherm รุ่น LT40/11/B170, Germany
3.3.14	ตู้อบลมร้อน	Memmert รุ่น UM 400, Germany
3.3.15	ชุดวิเคราะห์ไขมัน	Gerhardt รุ่น s306AK, Germany
3.3.16	ชุดวิเคราะห์โปรตีน	Gerhardt รุ่น Vapodest30s, Germany
3.3.17	ชุดย่อยโปรตีน	Gerhardt รุ่น KB8s, Germany
3.3.18	ชุดวิเคราะห์ใยอาหาร	Foss รุ่น FIBERTEX 1020, China
3.3.19	ตู้ปลอดเชื้อ	Boss tech, USA
3.3.20	ตู้อบเชื้อ	Kendro รุ่น Heraeus ,Germany
3.3.21	หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ	Tomy รุ่น ES-315 ,Japan
3.3.22	อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจเชื้อจุลินทรีย์	
3.3.23	เครื่องแก้ว	
3.3.24	โถดูดความชื้น	
3.3.25	ไมโครปิเปต ขนาด 1000 และ 5000 ไมโครลิตร	
3.3.26	อลูมิเนียมแคน	
3.3.27	เตาให้ความร้อน	
3.3.28	ตู้เย็น	
3.3.29	นาฬิกาจับเวลา	

3.4 สารเคมี

3.4.1	Ethyl alcohol 95%	,องค์การสุรา Thailand
3.4.2	Acetone	Merck, Germany
3.4.3	Boric acid	Merck, Germany

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4	Celite	Merck, Germany
3.4.5	Copper sulfate	Carlo Erba, Italy
3.4.6	Glacial acetic acid	Carlo Erba, Italy
3.4.7	Hydrochloric acid	RCI Labscan, Thailand
3.4.8	Iodine	Carlo Erba, Italy
3.4.9	Methanol	RCI Labscan, Thailand
3.4.10	Petroleum ether	Merck, Germany
3.4.11	Potassium chloride	Merck, Germany
3.4.12	Potassium dihydrogenphosphate	Carlo Erba, Italy
3.4.13	Potassium iodide	J.T Baker, USA
3.4.14	Potassium sulfate	Carlo Erba, Italy
3.4.15	Potato from amylase	Sigma, USA
3.4.16	Sodium acetate	Merck, Germany
3.4.17	Sodium hydroxide	J.T Baker, USA
3.4.18	Sulfuric acid	Merck, Germany
3.4.19	Carrageenan	Siam Victory Chemicals, Thailand
3.4.20	Carboxymethyl cellulose	Koe Enterprises, Thailand
3.4.21	Xanthan gam	Bronson and Jacobs, Thailand
3.4.22	ชุด Total dietary fiber kit	Megazyme, Ireland

3.5 อาหารเลี้ยงเชื้อ

3.5.1	Plate Count Agar	Bacton, France
-------	------------------	----------------

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วิธีการดำเนินงาน

3.7.1 การศึกษาคุณภาพของข้าวกล้องหอมนิล

นำข้าวกล้องหอมนิล สายพันธุ์มะลิชนิดสุรินทร์ 7 (*Oryza sativa* L.) ที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกแล้ว จากจังหวัดสุรินทร์ มาวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องหอมนิลตามวิธีการในข้อ 3.7.1.1 - 3.7.1.4

3.7.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า โยอาหาร คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2005)

3.7.1.2 ปริมาณอะไมโลส ตามวิธีการของ มกษ.4004-2005

3.7.1.3 ปริมาณแอนโทไซยานิน ตามวิธีการของ AOAC (2005)

3.7.1.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง โดยใช้เครื่องวัดความหนืดของแป้ง (Brabender, Viscograph-E, Germany) เปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ แป้งข้าวกล้องหอมนิล และแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่ว รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ก

3.7.2 การเตรียมแป้งข้าวกล้องหอมนิลคั่ว

นำข้าวกล้องหอมนิลมาคั่วในกระทะทองเหลืองด้วยไฟอ่อน โดยใช้ข้าวกล้องหอมนิล 1 กิโลกรัม คั่วในกระทะทองเหลืองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 70 – 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) (sieve 80 mesh) แล้วทำการเก็บรักษาโดยบรรจุใส่ถุงสุญญากาศ (vacuum bag) ที่ทำจากพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนเคลือบไนลอน (PA) ขนาดกว้าง 7 x 11 นิ้ว ถุงละ 1 กิโลกรัม แล้วปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (vacuum sealer) ใส่ภาชนะทึบแสง เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป โดยเก็บรักษาไม่เกิน 6 เดือน

3.7.3 การเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

การเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลดัดแปลงมาจากวิธีการของสุขทิพย์ และคณะ (2555) ทำโดยนำแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ได้จากข้อ 3.7.2 มาผสมกับน้ำกรอง 500 กรัม ใส่ในหม้อสแตนเลสและปิดฝาสนิท จากนั้นนำไปให้ความร้อน โดยวางในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 – 90 องศาเซลเซียส ทำการปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นมือถือความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 8 วินาที หลังจากวางตัวอย่างลงในน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาที และจากนั้นปั่นผสมทุกๆ 10 นาที เป็นเวลาตามที่กำหนด

(ตารางที่ 3.1) จากนั้นเติมน้ำตาลทรายร้อยละ 5 (w/w) และปั่นผสม หลังจากนั้นทำการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาสเจอร์ไรซ์ต่อที่อุณหภูมิ 85 – 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาบรรจุในขวดแก้ว ที่ผ่านการสเตอริไรซ์ บรรจุในปริมาณ 180 มิลลิลิตร และทำให้เย็น โดยแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆของ น้ํานมข้าวกล้องหอมชนิด ภาพประกอบแสดงกระบวนการผลิตน้ํานมข้าวกล้องหอมชนิด แสดงดัง ภาศผนวก จ

3.7.4 การศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมชนิดและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อ คุณลักษณะของน้ํานมข้าวกล้องหอมชนิด

ทำการเตรียมน้ํานมข้าวกล้องหอมชนิดด้วยวิธีการในข้อ 3.7.3 โดยใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้อง หอมชนิดและระยะเวลาการให้ความร้อนในการเตรียมน้ํานมข้าวกล้องหอมชนิดที่แตกต่างกัน ปริมาณ แป้งข้าวกล้องหอมชนิดที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 3 - 5 (w/w) และระยะเวลาการให้ความร้อนอยู่ในช่วง 40 - 60 นาที วางแผนการทดลองแบบ Response Surface Methodology (RSM) โดยวิธี Central Composite Design ได้สภาวะที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมชนิดและระยะเวลาการให้ความร้อนในการเตรียมน้ํานมข้าวกล้องหอมชนิด โดยใช้แผนการทดลองแบบ Response Surface Methodology

การทดลอง	ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมชนิด (ร้อยละ)	ระยะเวลาการให้ความร้อน (นาที)
1	3	40
2	3	50
3	3	60
4	4	40
5	4	50
6	4	50
7	4	50
8	4	50
9	4	50
10	4	60
11	5	40
12	5	50
13	5	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีตามวิธีการในข้อ 3.7.4.1 - 3.7.4.5 เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในเทอมของ quadratic หาความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อค่าตอบสนองต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการทำนายสภาวะที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลต่อไป

3.7.4.1 วิเคราะห์ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer, LV DV – III Ultra Rheometer, U.S.A) คัดแปลงวิธีของ อรวรรณ (2545) รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ก

3.7.4.2 วิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE Lab โดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta, CR-400, Japan) บันทึกค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ก

3.7.4.3 วิเคราะห์ความขุ่น โดยใช้เครื่องวัดความขุ่น (Lovibond, TurbiCheck, Germany) คัดแปลงวิธีของ ณัฐริดา และคณะ (2557) รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ก

3.7.4.4 วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การแยกชั้น คัดแปลงวิธีของ Priepke และคณะ (1980) รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ก

3.7.4.5 วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยใช้เครื่อง Hand refractometer ดิจิตอล (Atago, PAL-1, Japan) รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ข

3.7.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืดแตกต่างกัน

ทำการเตรียมน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่มีค่าความหนืดอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความหนืดของเครื่องคั้นจากธัญพืชและเมล็ดถั่วที่มีขายตามท้องตลาด 18 ชนิด โดยใช้สมการทำนายค่าความหนืดจากข้อ 3.7.4 เพื่อหาสภาวะในการเตรียม นำน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีทดสอบแบบให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) กำหนดให้ 9 คือชอบมากที่สุด และ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินผลในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นของข้าว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละสิ่งทดลอง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อเลือกตัวอย่างน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่ใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.6 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิล

การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิล ทำโดยการเตรียมนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลที่คัดเลือกจากข้อ 3.7.5 มาทำการเติมสารให้ความคงตัว 3 ชนิด ได้แก่ คาร์ราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (ร้อยละ 0.025 0.050 และ 0.075 (w/w)) โดยทำการผสมสารให้ความคงตัวกับนํ้าตาลก่อนเติมลงไปนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลตามวิธีการเตรียมดังข้อที่ 3.7.3 ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลตามรายละเอียดในข้อที่ 3.7.4 ซึ่งใช้แผนการทดลองแบบ 3^2 Factorial in Completely Randomized Design เพื่อหาชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมที่ทำให้นํ้านมข้าวกล้องหอมนิลมีความคงตัวดี และนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่มีการเติมสารให้ความคงตัว โดยการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลจะใช้วิธีทดสอบแบบให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ดังมีรายละเอียดแสดงดังข้อ 3.7.5

3.7.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา

นำนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 3.7.6 มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 0 2 4 6 8 และ 10 ของการเก็บรักษา รวมเป็นระยะเวลา 10 วัน ซึ่งใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลที่เกิดขึ้น โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ดังนี้

3.7.7.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์ความหนืด ค่าสี ความขุ่น และเปอร์เซ็นต์การแยกชั้น ตามรายละเอียดในข้อที่ 3.7.4

3.7.7.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ตามรายละเอียดในข้อที่ 3.7.4

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter (Mettler Toledo, FEP-20, Switzerland) รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.7.3 วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) โดยใช้วิธีการของ AOAC (2005) รายละเอียดวิธีทำแสดงดังภาคผนวก ค

3.7.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล

นำน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2005)

3.7.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลตามการวางแผนการทดลองแบบ Response Surface Methodology (RSM) โดยวิธี Central Composite Design ในข้อที่ 3.7.4 อีกทั้งวางแผนการทดลองแบบ 3^2 Factorial in Completely Randomized Design ในข้อที่ 3.7.6 และวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ในข้อที่ 3.7.7 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ เป็นจำนวน 3 ซ้ำ นอกจากนี้ยังวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพของข้าวกล้องหอมนิล

ข้าวกล้องหอมนิล สายพันธุ์มะลิชนิดสุรินทร์ 7 ถูกนำมาศึกษาคุณภาพ โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสและปริมาณแอนโทไซยานิน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมนิล เพื่อศึกษาคุณภาพของข้าวกล้องหอมนิลที่นำมาใช้ในการทดลอง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้าวสังข์หยด ซึ่งเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนแดง และข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากงานวิจัยของ จุฬารัตน์ และรติดา (2551) และกองโภชนาการ (2535) ตามลำดับ พบว่า ข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าข้าวสังข์หยด ในขณะที่มีปริมาณไขมัน เถ้า และใยอาหาร ใกล้เคียงกัน เนื่องจากข้าวกล้องหอมนิลและข้าวสังข์หยดเป็นข้าวกล้องที่ผ่านการถูกระบายเปลือกเพียงแต่เปลือกออกไป ทำให้องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้ที่มีมากบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด ยังคงมีอยู่ในเมล็ดข้าวทั้งสองชนิด (เทอดศักดิ์, 2542) แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ข้าวกล้องหอมนิลมีองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณที่สูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ยกเว้นปริมาณความชื้น และคาร์โบไฮเดรต โดยจะพบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องหอมนิลมีค่าสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาก เนื่องจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการกระเทาะเปลือกและขัดสี ทำให้องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้ที่มีมากบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดหลุดออกไปในระหว่างกระบวนการผลิต ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จึงมีองค์ประกอบทางเคมีที่น้อยกว่าข้าวกล้องหอมนิล

นอกจากนี้ข้าวกล้องหอมนิลยังมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 17.72 จัดเป็นข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ มีลักษณะเมื่อหุงเสร็จ จะให้ข้าวที่เหนียวนุ่ม (Juliano และ Goddard, 1986) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้าวสังข์หยดที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18.58 (Sompong และคณะ, 2011) และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 12 - 17 (กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2559) พบว่า ข้าวกล้องหอมนิล ข้าวสังข์หยด และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน อีกทั้งข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณแอนโทไซยานิน 5.22 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้าวสังข์หยดที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.60 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Sompong และคณะ, 2011) และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน 0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (พีรพันธ์ และคณะ, 2557) พบว่า ข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณแอนโทไซยานินที่สูงกว่า

ข้าวสังข์หยดและข้าวขาวดอกมะลิ 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณอะไมโลส และปริมาณแอนโทไซยานิน ของข้าวกล้องหอมนิลเปรียบเทียบกับข้าวสังข์หยดและข้าวขาวดอกมะลิ 105

องค์ประกอบ	ข้าวกล้องหอมนิล	ข้าวสังข์หยด	ข้าวขาวดอกมะลิ 105
องค์ประกอบทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)	11.62	11.70 *	12.00 **
ไขมัน (ร้อยละ)	3.04	3.42 *	1.10 **
โปรตีน (ร้อยละ)	10.27	6.66 *	6.20 **
เถ้า (ร้อยละ)	0.99	1.37 *	0.30 **
ใยอาหาร (ร้อยละ)	0.93	1.30 *	0.60 **
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	73.15	76.84 *	79.80 **
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	17.72	18.58 ***	12 - 17 ****
ปริมาณแอนโทไซยานิน (มก./100ก.)	5.22	0.60 ***	0 *****

อ้างอิงจาก * จุฬารัตน์ และรลิตา (2551), ** กองโภชนาการ (2535),

*** Sompong และคณะ (2011), **** กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (2559) และ

***** พิรนนท์ และคณะ (2557)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมนิล ทำโดยนำข้าวหอมมะลิสุรินทร์ ข้าวกล้องหอมนิล และข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่ว มาบดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) จนกลายเป็นแป้งข้าว แล้วนำแป้งข้าวทั้ง 3 ชนิด ที่ได้มาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ (Brabender Viscograph-E) ภาพที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวทั้งสามชนิดที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องบราเบนเดอร์ และผลการวิเคราะห์ค่าต่างๆ จากกราฟแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาคีโนซ์ (gelatinization temperature) ของแป้งข้าวกล้องหอมนิลสูงกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากโปรตีนในแป้งข้าวกล้องหอมนิลเข้าไปขัดขวางการพองตัวของแป้ง Lim และคณะ (1999) รายงานว่าถ้ามีการกำจัดโปรตีนออกจะทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาคีโนซ์ของแป้งลดลง ในขณะที่แป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีโนซ์ลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่ผ่านการคั่ว

ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) แสดงถึงจุดที่แป้งดูดซึมน้ำและพองตัวได้มากที่สุด พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมนิลมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ เนื่องจาก

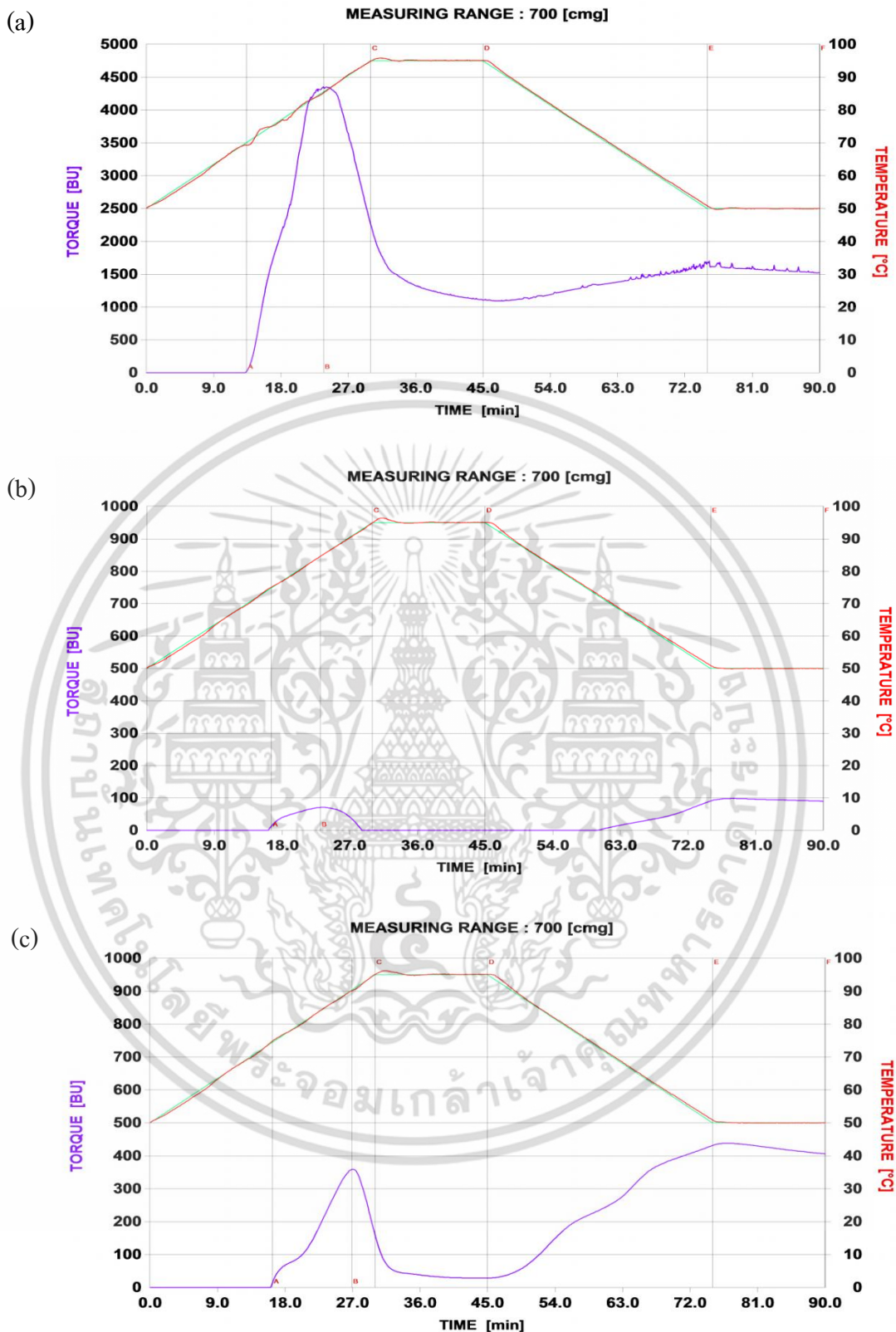
โปรตีนในแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่มีมากกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์นั้นจะเข้าไปขัดขวางการเกิด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลลาตินซ์ โดยโปรตีนจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับแป้ง ทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และความเหนียวของข้าวสุกต่ำกว่าข้าวที่ไม่มีโปรตีนหรือมีโปรตีนน้อย (Hamaker และ Griffin, 1993) จึงได้เจลที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ye และคณะ (2016) ซึ่งพบว่าค่าความหนืดสูงสุดของข้าวกล้องเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนที่ลดลง อีกทั้งปริมาณไขมันในแป้งข้าวกล้องหอมนิลเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวกล้องหอมนิลต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ เนื่องจากปริมาณไขมันในแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่มีมากกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ จึงทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) ได้มากกว่า ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะเข้าไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง (Davies และคณะ, 1980) ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง

ค่า Breakdown แสดงถึงค่าที่บ่งบอกถึงความคงตัวของเม็ดแป้งให้ความร้อนและแรงกวนของเม็ดแป้ง โดยแป้งข้าวกล้องหอมนิลจะมีค่า Breakdown ต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ แสดงให้เห็นว่า แป้งข้าวกล้องหอมนิลทนความร้อนและการกวนได้ดีกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ โดยที่โปรตีนที่อยู่ในแป้งข้าวกล้องหอมนิลจะขัดขวางการแตกตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชแตกตัวน้อยลง ค่า Breakdown จึงต่ำ ในขณะที่แป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์มีปริมาณโปรตีนน้อย เม็ดสตาร์ชจะแตกตัวได้ง่าย เนื่องจากเมื่อขาดโปรตีนหรือมีปริมาณโปรตีนน้อยเม็ดสตาร์ชจะเปราะ จึงถูกทำลายง่ายเมื่อได้รับแรงเฉือน (Hamaker และ Griffin, 1993)

ค่า Setback แสดงถึงค่าการคืนตัวของเม็ดแป้ง โดยแป้งข้าวกล้องหอมนิลมีค่า Setback อยู่ที่ 83.50 BU ซึ่งต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ที่มีค่า Setback อยู่ที่ 494.67 BU แสดงให้เห็นว่า แป้งข้าวกล้องหอมนิลมีการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ ซึ่งการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชันนี้เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ชเมื่ออุณหภูมิลดลง ทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น (ผาณิต, 2549)

ขณะที่เมื่อนำแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วมาเปรียบเทียบกับแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่ผ่านการคั่ว พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วจะมีค่าความหนืดสูงสุด ค่า Breakdown และค่า Setback ที่สูงกว่าแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่ผ่านการคั่ว เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการคั่วจะเข้าไปทำลายโมเลกุลของแป้ง ทำให้แป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปณิศา และคณะ (2556) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าดิบกับแป้งข้าวเจ้าพรีเจลลาตินซ์ที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งพรีเจลลาตินซ์มากขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่า Breakdown เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวทั้งสามชนิดที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง
 บราเบนเดอร์ (a) แป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ (b) แป้งข้าวกล้องหอมนิล
 (c) แป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับภาควิชาวิศวกรรมอาหารเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าว 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 14 วิเคราะห์ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์

สมบัติ	แป้งข้าวหอมมะลิ สุรินทร์	แป้งข้าวกล้อง หอมนิล	แป้งข้าวกล้อง หอมนิลแก้ว
Gelatinization temperature (°C)	69.37 ± 0.12	75.50 ± 0.57	75.07 ± 1.26
Peak temperature (°C)	85.97 ± 0.71	84.45 ± 0.21	90.13 ± 0.06
Peak viscosity (BU)	4338.00 ± 45.18	67.00 ± 5.66	371.00 ± 45.21
Breakdown (BU)	3251.00 ± 34.70	67.00 ± 5.66	344.67 ± 22.85
Setback (BU)	494.67 ± 41.10	83.50 ± 9.19	409.67 ± 18.72

การเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลสำหรับการศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิล และระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในการทดลองต่อไป วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลจึงเลือกใช้แป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่ว เนื่องจากภายในระยะเวลาที่ให้ความร้อนเท่ากันจะให้น้ำแป้งที่มีค่าความหนืดสูง สามารถช่วยย่นระยะเวลาการให้ความร้อนในระหว่างการแปรรูป รวมทั้งแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วจะให้กลิ่นหอมที่มากกว่าแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่ผ่านการคั่ว ซึ่งจะช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้กับน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล ทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

4.2 ผลการศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

นำแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการคั่วมาทำการเตรียมเป็นน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล โดยใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาหาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสมในการผลิตน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล ใช้เทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ในการออกแบบการทดลอง โดยใช้การทดลองแบบ Central Composite Design ทำการวิเคราะห์ค่าตอบสนอง คือ คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เปลี่ยนไปในด้านค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมด รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ผลิตได้ ผลการวิเคราะห์ค่าตอบสนองของแต่ละการออกแบบแสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิล และระยะเวลาการให้ความร้อน และค่าตอบสนองที่วิเคราะห์ได้

Run	Flour (%)	Time (min)	Viscosity (cP)	L*	a*	b*	Turbidity (NTU)	TSS (°Brix)	Separation (%)
1	3	40	11.60	37.61	6.23	- 3.14	236.44	6.90	3
2	3	50	13.20	37.42	6.61	- 2.87	276.00	7.03	3
3	3	60	15.04	37.21	6.80	- 2.74	289.06	7.10	3
4	4	40	20.67	36.18	6.84	- 2.29	359.11	7.37	2
5	4	50	21.14	36.11	7.63	- 2.11	390.00	7.50	2
6	4	50	21.35	36.06	7.86	- 2.08	393.00	7.60	2
7	4	50	21.50	35.90	7.99	- 2.02	394.67	7.60	2
8	4	50	21.50	35.83	7.98	- 2.00	399.00	7.70	2
9	4	50	22.20	35.74	7.94	- 2.01	400.00	7.70	2
10	4	60	22.74	35.59	8.09	- 1.86	410.61	7.77	2
11	5	40	35.16	31.95	9.35	- 1.74	466.50	8.07	1
12	5	50	37.59	31.29	9.96	- 1.32	481.50	8.17	1
13	5	60	39.34	30.39	10.23	- 1.13	488.33	8.30	1

นํ้ามข้าวกล้องหอมนิลที่เตรียมได้ในทุกสภาวะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีกลิ่นหอมของข้าวกล้องหอมนิล โดยจะพบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน มีผลให้ค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นแตกต่างกัน โดยภาพรวม พบว่าถ้าปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มากขึ้น มีผลทำให้ค่าความหนืด ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสว่าง (L*) และเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นลดลง อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นได้จากการพิจารณาด้วยสายตา จากการอ่านค่าของสเกลกระบอกตวง ในตัวอย่างที่ใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลเท่ากัน ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นไม่เห็นอย่างชัดเจน จึงอ่านค่าได้เท่ากัน เป็นผลให้การวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนต่างกัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล เพื่อพิจารณาผลของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนใน

การผลิตนํ้ามข้าวกล้องหอมนิลที่มีต่อค่าตอบสนองต่างๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

Source	F Value					
	Viscosity	L*	a*	b*	Turbidity	TSS
Model	737.33 **	624.05 **	108.52 **	373.94 **	596.94 **	244.57 **
A-Flour	3445.53 **	2669.72 **	481.68 **	1675.54 **	2803.25 **	463.24 **
B-Time	61.98 **	50.12 **	35.83 **	167.09 **	110.34 **	25.90 **
AB	0.54 ^{ns}	15.56 **	0.71 ^{ns}	5.33 ^{ns}	9.89 *	-
A ²	151.63 **	320.36 **	23.87 **	8.86 *	28.46 **	-
B ²	0.01 ^{ns}	0.37 ^{ns}	6.32 *	4.92 ^{ns}	10.63 *	-
Lack of Fit	2.38 ^{ns}	0.76 ^{ns}	2.24 ^{ns}	0.74 ^{ns}	1.88 ^{ns}	0.39 ^{ns}
R ²	0.9981	0.9978	0.9873	0.9963	0.9977	0.9800

หมายเหตุ * : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

^{ns} : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อค่าตอบสนองด้านต่างๆ พบว่า ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการพองตัวของแป้งข้าวกล้องหอมนิลได้มากขึ้น เป็นผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น (Ikegwu และคณะ, 2009 ; Prasad และคณะ, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ จุฑามาศ และเฉลิมพล (2558) ที่ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งต่อน้ำที่ 1 : 20 1 : 30 และ 1 : 40 สกัดน้ำแป้งที่ 50 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนของน้ำลดลงส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และระยะเวลาการให้ความร้อนที่มากขึ้นจะมีผลต่อเม็ดแป้ง คือ ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่อยู่ระหว่างโมเลกุลในเม็ดแป้งในส่วนของ amorphous region ทำให้โมเลกุลแป้งจะขยายตัวออก น้ำจึงเข้าไปสร้างพันธะกับแป้งได้ เม็ดแป้งจึงพองตัวขึ้น และเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ความร้อนจะเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลแป้งในส่วนของ crystalline region เม็ดแป้งพองตัวได้มากขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น (Fennema, 1996) อีกทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้มีมากขึ้น และระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนที่มากขึ้น ยังส่งผลให้แป้งมีการละลายน้ำได้ดีขึ้น เป็นผลให้ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งข้าวกล้องหอมนิลมีสีม่วงเข้ม เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลมากขึ้น ค่าสีแดงของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลจึงแปรผันตรงกับสีของแป้งข้าวกล้องหอมนิล (เพ็ญพิมพ์, 2553)

นอกจากนี้ ค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีสมการ (model) ที่สามารถนำมาใช้ทำนายผลได้ เนื่องจากในแต่ละค่าตอบสนองมี Lack of fit ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การแยกชั้น ไม่มีสมการ (model) ที่สามารถใช้ในการทำนายผลได้ และค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (coefficient, R²) ของค่าตอบสนองอยู่ในช่วง 0.9800 - 0.9981 แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะนำสมการโมเดลซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5 มาหาความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีผลต่อค่าความหนืด ค่าสี ค่าความขุ่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล โดยจะพบว่ามีเพียงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีลักษณะเป็นสมการยกกำลังหนึ่ง และเมื่อนำผลการวิเคราะห์ไปเขียนแผนภาพคอนทัวร์ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่า เมื่อปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลลดลง ส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลเพิ่มขึ้น รวมถึงค่าความหนืดและค่าความขุ่นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีค่าเพิ่มขึ้น

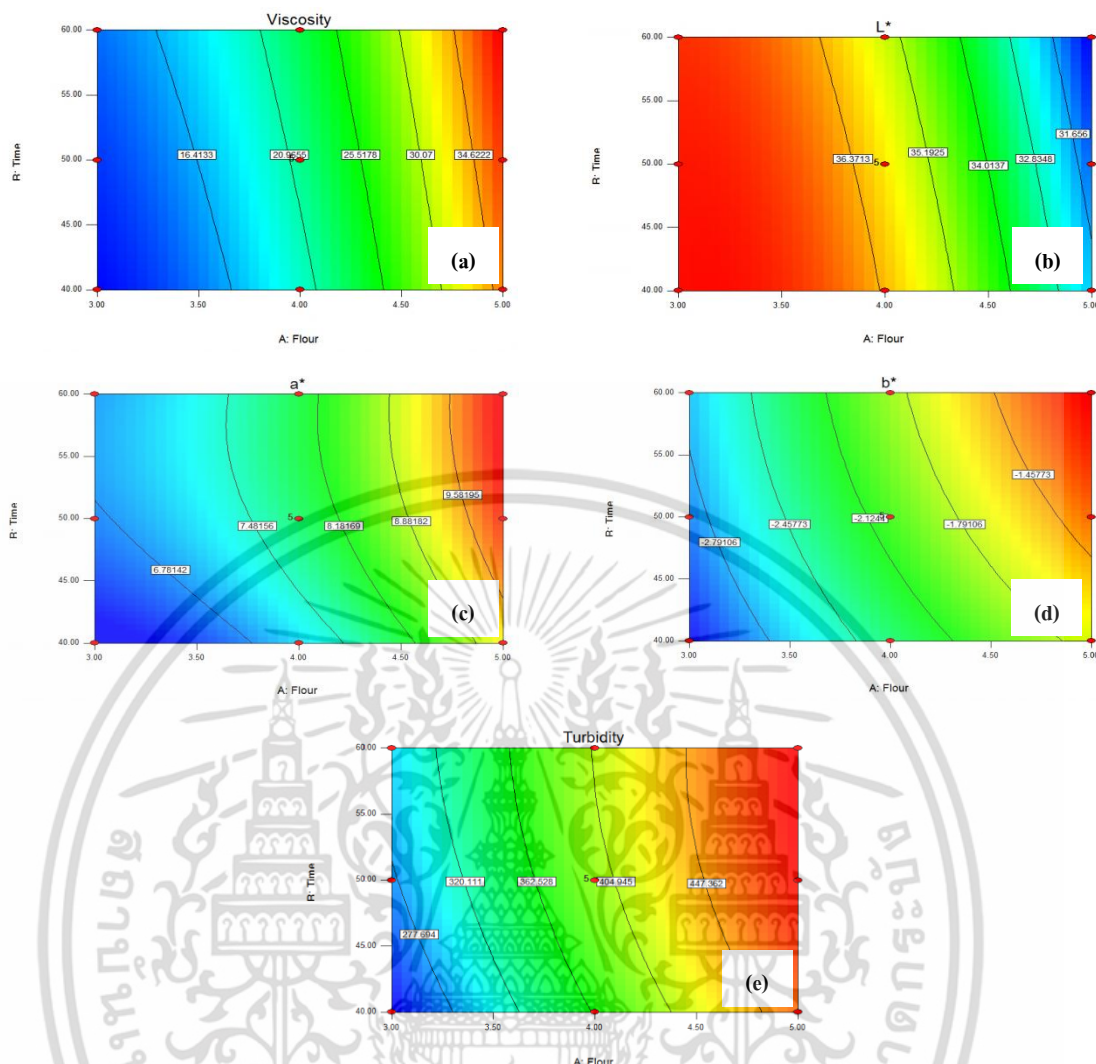
ตารางที่ 4.5 สมการ โมเดลทำนายค่าตอบสนองต่างๆ ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลจากการใช้วิธี

Response Surface Methodology

Dependent Values	Models
Viscosity	$29.4389 - 18.6695X_1 + 0.0542X_2 + 0.0185X_1X_2 + 3.7233X_1^2 + 0.0003X_2^2$
L*	$17.9843 + 11.0173X_1 + 0.1271X_2 - 0.0290X_1X_2 - 1.5836X_1^2 - 0.0005X_2^2$
a*	$2.2376 - 3.0685X_1 + 0.2926X_2 + 0.0078X_1X_2 + 0.5414X_1^2 - 0.0028X_2^2$
b*	$- 8.0338 + 1.1430X_1 + 0.0637X_2 + 0.0053X_1X_2 - 0.0807X_1^2 - 0.0006X_2^2$
Turbidity	$- 778.4813 + 269.9877X_1 + 14.7801X_2 - 0.7698X_1X_2 - 15.7119X_1^2 - 0.0960X_2^2$
Total soluble solid	$4.5691 + 0.5850X_1 + 0.0138X_2$

หมายเหตุ X₁ คือ ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิล

X₂ คือ ระยะเวลาการให้ความร้อน



ภาพที่ 4.2 แผนภาพคอนทัวร์แสดงผลของปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพด้านต่างๆ ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล (a) ค่าความหนืด (b) ค่าความสว่าง (c) ค่าสีแดง (d) ค่าสีเหลือง และ (e) ค่าความขุ่น

4.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืดแตกต่างกัน

ในการเลือกตัวอย่างของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล เพื่อใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส จะพิจารณาจากค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล โดยเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของเครื่องดื่มจากธัญพืชและเมล็ดถั่วที่มีขายตามท้องตลาด 18 ชนิด ค่าสีและค่าความขุ่นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลไม่สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาได้ เนื่องจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันจะให้สีและความขุ่นของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้มจากธัญพืชและเมล็ดถั่วที่มีขายตามท้องตลาด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 4.04 - 20.80 cP ในการทดลองได้ใช้สมการโมเดล (ตารางที่ 4.5) มาทำนายสภาวะการเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมชนิด เพื่อให้ได้ค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมชนิดที่ต้องการ ในการทดลองครั้งนี้เลือกตัวอย่างที่ให้ค่าความหนืดต่ำสุดที่สมการทำนายได้ คือ 11.81 cP ค่าความหนืดที่สูงสุดที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องต้มที่มีขายตามท้องตลาด คือ 20.80 cP และค่าความหนืดปานกลางที่อยู่ระหว่างค่าความหนืดต่ำและสูง คือ 16.30 cP มาใช้เป็นตัวอย่งที่ทำให้ผู้ทดสอบชิม เพื่อหาตัวอย่างของน้ำนมข้าวกล้องหอมชนิดที่ผู้ชิมให้การยอมรับ

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดของเครื่องต้มจากธัญพืชและเมล็ดถั่วที่มีขายตามท้องตลาด

ผลิตภัณฑ์	ค่าความหนืด (cP)
น้ำนมข้าวกล้องงอกผสมงาดำ ตรา V-fit (ไทย)	15.07 ± 0.15
น้ำนมข้าวกล้องหอมมะลิออร์แกนิก ตรา 4CARE BALANCE Organic (ไทย)	15.00 ± 0.17
น้ำนมข้าวสาลีผสมงาดำ ตรา Malee Nutrient (ไทย)	8.52 ± 0.12
น้ำข้าวหอมชนิด ตรา Frezfil (ไทย)	7.36 ± 0.07
น้ำนมข้าว ตรา Pureharvest (ออสเตรเลีย)	4.48 ± 0.07
น้ำนมข้าว ตรา So Natural TM (ออสเตรเลีย)	4.28 ± 0.07
น้ำนมข้าว ตรา Natur - a (แคนาดา)	4.04 ± 0.07
น้ำนมถั่วเหลืองผสมงอกข้าว ตรา ดีน่า (ไทย)	8.82 ± 0.08
น้ำนมถั่วเหลืองผสมถั่วดำ ตรา บิงก็อเรีย (เกาหลี)	8.52 ± 0.14
น้ำนมถั่วเหลือง ตรา มารูชั่น (ไทย)	8.21 ± 0.07
น้ำนมถั่วเหลือง ตรา ไวตามิลค์ (ไทย)	7.48 ± 0.14
น้ำนมถั่วเหลืองผสมฟองเต้าหู้สด ตรา Tofusan (ไทย)	7.44 ± 0.00
น้ำนมถั่วเหลืองผสมฟองเต้าหู้ ตรา ฟอง ฟอง (ไทย)	6.90 ± 0.08
น้ำนมถั่วเหลือง ตรา Soyfresh (มาเลเซีย)	6.78 ± 0.08
น้ำนมถั่วเหลือง ตรา OHAYO (ไทย)	6.72 ± 0.00
น้ำนมข้าวโพด ตรา วิ คอรัน (ไทย)	20.80 ± 0.14
น้ำนมข้าวโพด ตรา เนเจอร์ (ไทย)	16.25 ± 0.07
น้ำนมข้าวโพด ตรา Malee Nutrient (ไทย)	9.64 ± 0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการทำนายค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล (ตารางที่ 4.5) มาทำนายสภาวะที่ใช้เตรียมตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืด 3 ระดับตามที่กำหนด คือ ความหนืดต่ำ ความหนืดปานกลาง และความหนืดสูง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เตรียมได้ทั้งสามตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดที่ได้จากการทำนาย พบว่า ค่า Desirability ในตัวอย่างความหนืดต่ำมีค่า 0.991 และตัวอย่างความหนืดปานกลางและสูงมีค่า 0.999 และเมื่อนำตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลทั้ง 3 ตัวอย่างไปให้ผู้ทดสอบชิม ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืดต่ำ ความหนืดปานกลาง และความหนืดสูง จากผู้ทดสอบที่มีอายุอยู่ระหว่าง 20 - 25 ปี จำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า คะแนนความชอบในด้านสีและกลิ่นของข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่าตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีค่าความหนืดต่ำมีคะแนนความชอบในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบปานกลาง

ตารางที่ 4.7 การทำนายสภาวะการผลิตน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืดต่างๆ

Viscosity	Black brown rice flour (%)	Heating time (minutes)	Predicted responses	Actual responses	Desirability
Low viscosity	3	40.00	11.81	11.60	0.991
Medium viscosity	3.6	43.44	16.30	16.43	0.999
High viscosity	4	45.58	20.80	21.00	0.999

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีค่าความหนืดต่างกัน

ความหนืด	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่นของข้าว ^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ความหนืดต่ำ	7.33 ^b ±0.96	7.20±1.01	7.33±1.24	6.97 ^b ±1.19	7.03 ^b ±1.13	7.20 ^b ±1.03
ความหนืดปานกลาง	5.10 ^a ±0.40	7.00±1.05	6.97±1.07	6.13 ^a ±1.53	6.30 ^a ±1.26	6.37 ^a ±1.10
ความหนืดสูง	7.23 ^b ±0.73	7.07±1.08	6.93±1.34	6.23 ^a ±1.59	6.27 ^a ±1.55	6.57 ^a ±1.43

หมายเหตุ ^{a, b, c, ..} : ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} : ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

ความคงตัวของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษาเป็นคุณลักษณะที่สำคัญ เพื่อให้ได้น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นในระหว่างการเก็บรักษา จึงทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล ทำโดยเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลตามสภาวะที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูงสุด (ตารางที่ 4.8) ด้วยการเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลร้อยละ 3 (w/w) ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 40 นาที นำมาเติมสารให้ความคงตัว 3 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) และแซนแทนกัม ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.025 0.050 และ 0.075 (w/w) นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพต่างๆ ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล โดยวางแผนการทดลองแบบ 3^2 Factorial in Completely Randomized Design ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความหนืด แสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่มีการเติมสารให้ความคงตัวมีค่าความหนืด 11.60 cP แต่เมื่อมีการเติมสารให้ความคงตัวทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวส่งผลต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งชนิดของสารให้ความคงตัวกับปริมาณของสารให้ความคงตัวมีปฏิสัมพันธ์กัน (interaction) โดยแซนแทนกัมจะให้ค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมคาร์ราจีแนนและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณเท่ากัน เมื่อเติมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารให้ความคงตัวทั้ง 3 ชนิดนี้มีคุณสมบัติในการดูดน้ำ (นิธิยา, 2549 ; Sharma และคณะ, 2006) เมื่อใช้ปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ดูดน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้น้ำในระบบน้อยลง ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น (ฤทธิรุทร, 2553) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจิราภรณ์ และยุพร (2552) ที่ศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณลักษณะของนมถั่วเหลือง พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนและของผสมระหว่างแซนแทนกัมและกัวร์กัมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	0.025	0.050	0.075
คาร์ราจีแนน	13.05 ^a ± 0.31	15.22 ^a ± 1.26	17.88 ^b ± 0.45
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	21.25 ^c ± 1.36	28.97 ^d ± 0.15	37.58 ^c ± 2.76
แซนแทนกัม	29.29 ^d ± 1.81	38.33 ^c ± 0.90	47.67 ^f ± 1.54

หมายเหตุ^{a,b,c...}: ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของสารให้ความคงตัวต่อการแยกชั้นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล ทำโดยการติดตามค่าความขุ่นของส่วนบนของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลและเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่าเมื่อเก็บรักษาน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลเป็นเวลา 5 วัน เมื่อพิจารณาจากค่าความขุ่นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 0 และ 5 แสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ ค่าความขุ่นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 0 พบว่า ชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวส่งผลต่อค่าความขุ่นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล โดยเมื่อเติมสารให้ความคงตัวทุกชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของสารให้ความคงตัวที่มากขึ้นจะทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำที่อยู่ในระบบไว้ในรูปของการแขวนลอยได้มากขึ้น (จารุเนตร และคณะ, 2549) จึงทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อนำค่าความขุ่นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 5 มาเปรียบเทียบกับวันที่ 0 พบว่า ค่าความขุ่นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลลดลงในทุกตัวอย่าง เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นความสามารถในการอุ้มน้ำของสารให้ความคงตัวจะลดลง (จารุเนตร และคณะ, 2549) อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการตกตะกอน ความขุ่นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลจึงลดลง

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 0 ของการเก็บ

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	0.025	0.050	0.075
คาร์ราจีแนน	251.17 ^a ± 1.04	255.67 ^a ± 1.04	261.50 ^b ± 2.29
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	272.67 ^c ± 3.01	280.17 ^d ± 2.75	285.00 ^{de} ± 2.18
แซนแทนกัม	284.83 ^{de} ± 4.54	289.67 ^{ef} ± 4.54	292.33 ^f ± 3.51

หมายเหตุ^{a,b,c...}: ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความขุ่น (NTU) ของ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในวันที่ 5 ของการเก็บ

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	0.025	0.050	0.075
คาร์ราจีแนน	225.33 ^a ± 8.50	242.17 ^b ± 4.37	258.83 ^c ± 9.02
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	268.17 ^{cd} ± 9.44	271.17 ^{de} ± 1.44	273.50 ^{de} ± 5.27
แซนแทนกัม	274.33 ^{de} ± 4.65	282.17 ^{ef} ± 3.04	286.17 ^f ± 4.77

หมายเหตุ ^{a,b,c,d,e,f}: ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การแยกชั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่า เมื่อเก็บรักษา น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลไว้เป็นระยะเวลา 5 วัน น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เติมชนิดของสารให้ความคงตัวต่างกัน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นต่างกัน แต่ชนิดของสารให้ความคงตัวกับ ปริมาณของสารให้ความคงตัวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน (interaction) น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่มีการเติมสารให้ความคงตัวมีเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นร้อยละ 3 การเติมสารให้ความคงตัวทำให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นลดลง โดยที่แซนแทนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และคาร์ราจีแนน จะช่วยทำให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลต่ำกว่าน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่มีการเติมสารให้ความคงตัวจากมากไปน้อย ตามลำดับ เนื่องจากสารให้ความคงตัวจะทำให้อนุภาคของสารต่างๆ ในน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลแขวนลอยได้ดีขึ้น (นิธิยา, 2549) จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นลดลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล (ตารางที่ 4.9) น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่มีความหนืดสูงจะมีเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นน้อยลง และน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เติมสารให้ความคงตัวทุกชนิด เมื่อเติมสารให้ความคงตัวในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นลดลง

ตารางที่ 4.12 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การแยกชั้น (%) ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	0.025	0.050	0.075
คาร์ราจีแนน	2.25 ^c ± 0.25	2.17 ^c ± 0.38	1.50 ^d ± 0.25
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	1.33 ^{cd} ± 0.14	1.17 ^{cd} ± 1.44	1.00 ^{bc} ± 0.00
แซนแทนกัม	1.08 ^{bcd} ± 0.38	0.67 ^{ab} ± 0.29	0.50 ^a ± 0.00

หมายเหตุ ^{a,b,c,d}: ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบที่จะนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากค่าสีของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล โดยวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) แสดงดังตารางที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เติมคาร์ราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม จะอยู่ที่ 34.78 ถึง 36.91, 32.30 ถึง 34.82 และ 25.75 ถึง 30.91 ตามลำดับ ส่วนค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เติมคาร์ราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม จะอยู่ที่ 5.97 ถึง 6.63, 6.57 ถึง 6.66 และ 7.59 ถึง 9.03 ตามลำดับ และค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เติมคาร์ราจีแนน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม จะอยู่ที่ -2.71 ถึง -2.58, -2.60 ถึง -2.24 และ -2.58 ถึง -1.75 ตามลำดับ และพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมสารให้ความคงตัวทุกชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การที่น้ำมันข้าวกล้องหอมนิลมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารให้ความคงตัว จึงทำให้ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.13 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	0.025	0.050	0.075
คาร์ราจีแนน	36.91 ^f ± 0.19	36.45 ^f ± 1.41	34.78 ^{ef} ± 1.35
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	34.82 ^{ef} ± 1.11	33.92 ^{de} ± 0.02	32.30 ^{cd} ± 1.22
แซนแทนกัม	30.91 ^c ± 0.84	28.09 ^b ± 1.10	25.75 ^a ± 2.00

หมายเหตุ^{a, b, c, ...}: ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	0.025	0.050	0.075
คาร์ราจีแนน	5.97 ^a ± 0.18	6.14 ^a ± 0.23	6.63 ^a ± 0.17
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	6.57 ^a ± 0.48	6.65 ^a ± 0.28	6.66 ^a ± 0.40
แซนแทนกัม	7.59 ^b ± 0.39	7.74 ^b ± 0.96	9.03 ^c ± 0.28

หมายเหตุ^{a, b, c, ...}: ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวต่างๆ ที่มีต่อค่าเฉลี่ย (b*) ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	0.025	0.050	0.075
คาร์ราจีแนน	- 2.71 ^a ± 0.44	- 2.65 ^a ± 0.40	- 2.58 ^a ± 0.36
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	- 2.60 ^a ± 0.52	- 2.42 ^{ab} ± 0.65	- 2.24 ^{ab} ± 0.06
แซนแทนกัม	- 2.58 ^a ± 0.53	- 2.51 ^{ab} ± 0.24	- 1.75 ^b ± 0.29

หมายเหตุ ^{a, b, c} : ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพโดยรวม เพื่อเลือกชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัว เพื่อไปใช้เตรียมน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ควรเลือกใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือแซนแทนกัม เนื่องจากคาร์ราจีแนนต้องใช้ในปริมาณที่มากจึงจะทำให้ให้น้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่มีความคงตัว ในกรณีคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเลือกใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.025 (w/w) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากร้อยละ 0.025 (w/w) ไปเป็นร้อยละ 0.075 (w/w) เปอร์เซนต์การแยกชั้นไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกรณีของแซนแทนกัม เลือกใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.025 (w/w) เนื่องจากถ้าใช้ในปริมาณที่สูงจะทำให้ให้น้ำมันข้าวกล้องหอมนิลมีความหนืดสูงมาก ในการทดลองทำการเตรียมน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือแซนแทนกัมในปริมาณร้อยละ 0.025 (w/w) ให้ผู้ทดสอบที่มีอายุอยู่ระหว่าง 20 - 25 ปี จำนวน 30 คน ทำการทดสอบความชอบโดยวิธีการให้คะแนน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่า คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่นของข้าว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่าตัวอย่างน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่มีการเติมสารให้ความคงตัวทั้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.025 (w/w) และแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.025 (w/w) มีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในสถานะต่างๆ

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่นของข้าว ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
ตัวอย่างควบคุม	6.70 ^a ± 1.24	6.87 ± 1.01	6.67 ± 1.24	6.80 ± 1.30	6.83 ± 1.09	6.97 ± 1.16
CMC 0.025%	7.33 ^b ± 1.06	7.07 ± 0.94	6.97 ± 0.89	6.77 ± 1.45	6.70 ± 1.32	6.77 ± 1.14
แซนแทนกัม 0.025%	7.33 ^b ± 1.03	7.20 ± 0.92	6.77 ± 1.10	6.53 ± 1.41	6.70 ± 1.56	6.73 ± 1.23

หมายเหตุ^{a, b, c, ...} : ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} : ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอย่างควบคุม คือ น้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว

ดังนั้น เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากตารางที่ 4.16 พบว่า น้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เติมสารให้ความคงตัว คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.025 (w/w) และแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.025 (w/w) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จึงต้องพิจารณาจากองค์ประกอบอื่น ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.025 (w/w) มาใช้เป็นตัวอย่างเป็นการทดลองต่อไป เนื่องจากน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากกว่าน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เติมแซนแทนกัม รวมทั้งราคาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสถูกกว่าแซนแทนกัม นอกจากนี้ในระหว่างการทดลอง พบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายในน้ำได้ง่ายกว่า

4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลที่เตรียมได้จากปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมนิลร้อยละ 3 (w/w) ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 40 นาที และเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.025 (w/w) มาบรรจุในขวดแก้วที่ผ่านการสเตอริไรซ์ แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล ในวันที่ 0 2 4 6 8 และ 10 รวมเป็นระยะเวลา 10 วัน ซึ่งใช้แผนการทดลองแบบ Completely

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Randomized Design (CRD) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ แสดงดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่า ค่า pH ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนในการพาสเจอร์ไรซ์สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้เพียงบางส่วน ซึ่งอาจทำให้มีจุลินทรีย์ชนิดที่ทนความร้อนได้ดีสามารถรอดชีวิตอยู่ได้ เช่น จุลินทรีย์ประเภท Thermophillic bacteria ซึ่งสามารถผลิตกรดแลคติกและกรดบิวทีริก (Jay, 1978) ทำให้น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.17 ค่า pH ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	pH ^{ns}
0	6.35 ± 0.06
2	6.35 ± 0.02
4	6.34 ± 0.02
6	6.33 ± 0.02
8	6.33 ± 0.03
10	6.32 ± 0.02

หมายเหตุ^{ns} : ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด เปรอร์เซ็นต์การแยกชั้น และค่าความขุ่นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.18 พบว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีค่าความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งทำให้ความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลลดลง (ฤทธิรุทร, 2553) รวมทั้งสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่โดยทั่วไปจะมีความคงตัวอยู่ที่ pH ช่วงกว้าง 4 - 10 แต่จะให้ความหนืดสูงสุดและมีความคงตัวดีที่สุดที่ pH 7 - 9 ความหนืดของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะลดลงเมื่อ pH ลดลง (นิธิยา, 2549 ; Martin, 2016) ซึ่งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลนานขึ้น ค่า pH ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลลดลง ส่งผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกัญญาณัฐ และคณะ (2553) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเครื่องดื่มน้ำผึ้งผสมวุ้นว่านหางจระเข้ที่มีการเติมสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่า

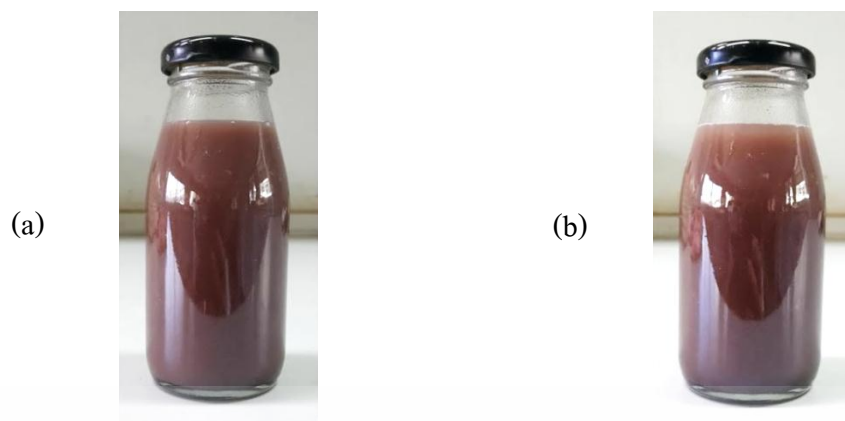
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นและค่าความขุ่น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลเพิ่มขึ้น พบว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นเพิ่มขึ้นและค่าความขุ่นลดลง เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง โดยโมเลกุลอะไมโลสจะเกิดการรวมตัวกัน ทำให้ น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลเกิดการตกตะกอนอย่างช้าๆ (ศันสนีย์, 2548) อีกทั้งค่า pH ที่ลดลงนี้ ส่งผลทำให้ความคงตัวของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นเพิ่มขึ้นและค่าความขุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามลักษณะปรากฏทั่วไปของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน แสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่ายังคงดูเป็นเนื้อเรียบเนียน ไม่มีลักษณะการจับเป็นลิ่มหรือเป็นเกิร์ด (curd) ซึ่งเห็นได้จากค่าความขุ่นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลส่วนบนของขวดแก้วที่เก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน เทียบกับค่าความขุ่นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลส่วนบนของขวดแก้วที่เพิ่งผลิตเสร็จ (ตารางที่ 4.18) พบว่ามีค่าความขุ่นลดลงเพียงร้อยละ 10.5 เมื่อมีการขยับขวดแก้วเพียงเล็กน้อย น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลจะกลับเป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 4.18 ค่าความหนืด เปอร์เซ็นต์การแยกชั้น และค่าความขุ่น ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล ในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความหนืด (cP)	เปอร์เซ็นต์การแยกชั้น (%)	ค่าความขุ่น (NTU)
0	21.39 ^d ± 1.23	0.33 ^a ± 0.29	277.44 ^d ± 3.10
2	19.27 ^c ± 0.78	0.58 ^a ± 0.14	274.45 ^d ± 2.04
4	18.37 ^{bc} ± 1.13	1.00 ^b ± 0.00	266.22 ^c ± 2.77
6	17.11 ^{ab} ± 1.22	1.08 ^b ± 0.14	262.89 ^c ± 3.79
8	16.38 ^a ± 0.59	1.33 ^b ± 0.29	256.11 ^b ± 2.34
10	15.90 ^a ± 0.91	1.83 ^c ± 0.29	248.11 ^a ± 4.76

หมายเหตุ^{a, b, c, ..} : ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในขวดแก้วที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกัน
(a) น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลวันที่ 0 (b) น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลวันที่ 10

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและค่าสีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.19 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	ค่าความสว่าง (L^*) ^{ns}	ค่าสีแดง (a^*) ^{ns}	ค่าสีเหลือง (b^*) ^{ns}
0	6.77 ^b ± 0.06	35.34 ± 0.53	5.92 ± 1.36	- 2.87 ± 0.94
2	6.67 ^{ab} ± 0.04	35.24 ± 1.30	5.94 ± 0.48	- 2.87 ± 1.41
4	6.63 ^{ab} ± 0.04	35.06 ± 1.19	5.95 ± 0.93	- 2.75 ± 1.36
6	6.61 ^{ab} ± 0.15	35.06 ± 1.13	5.98 ± 0.77	- 2.40 ± 0.92
8	6.56 ^a ± 0.13	35.04 ± 0.57	5.99 ± 1.59	- 1.76 ± 0.21
10	6.50 ^a ± 0.06	35.03 ± 1.15	6.17 ± 0.14	-1.52 ± 0.15

หมายเหตุ^{a, b, c, ..} : ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} : ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.20 พบว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 30 CFU/ml ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน ซึ่งมาตรฐาน ของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์กำหนดให้ตรวจพบแบคทีเรียได้ไม่เกิน 50,000 CFU/ml ตลอด ระยะเวลาที่เมื่อออกจากแหล่งผลิตจนถึงวันหมดอายุการบริโภคที่ระบุบนฉลาก (ประกาศกระทรวง สาธารณสุข, 2556) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลสามารถเก็บรักษาได้ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ใช้ ความร้อนสูงและระยะเวลานาน จึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและเอนไซม์ที่เป็น สาเหตุให้อาหารเสื่อมเสียได้มากขึ้น ทำให้สามารถเก็บรักษาน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลได้เป็นระยะ เวลานานขึ้น อีกทั้งการเก็บรักษาน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่อุณหภูมิต่ำช่วยการชะลอ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

ตารางที่ 4.20 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/ml)
0	< 30
2	< 30
4	< 30
6	< 30
8	< 30
10	< 30

4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

เมื่อนำน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ใยอาหาร และ คาร์โบไฮเดรตอยู่ที่ร้อยละ 92.47 0.08 0.20 0.04 0.10 และ 7.11 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำน้ำนม ข้าวกล้องหอมนิลมาเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอกหอมนิล (เพ็ญพิมพ์, 2553) พบว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอกหอมนิลของงานวิจัยของเพ็ญพิมพ์ (2553) มีการเติมงาดำและถั่วเหลือง การเพิ่ม

คุณค่าทางอาหารให้กับน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในงานวิจัยนี้อาจทำได้โดยการเติมสารอาหารที่มีน้อย (fortify) เช่น แคลเซียม วิตามินดี และอื่นๆ เป็นต้น

ตารางที่ 4.21 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอกหอมนิล*

องค์ประกอบทางเคมี	น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล (ร้อยละ)	เครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอกหอมนิล* (ร้อยละ)
ความชื้น	92.47	88.56
ไขมัน	0.08	0.96
โปรตีน	0.20	0.83
เถ้า	0.04	0.06
ใยอาหาร	0.10	0.08
คาร์โบไฮเดรต	7.11	9.58

อ้างอิงจาก * เพ็ญพิมพ์ (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันข้าวกล้องหอมชนิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันข้าวกล้องหอมชนิดร้อยเปอร์เซ็นต์ที่มีคุณภาพ และเหมาะที่จะนำไปพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรม โดยเริ่มจากการศึกษาคุณภาพของข้าวกล้องหอมชนิดทางด้านกายภาพและเคมี พบว่าข้าวกล้องหอมชนิดมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าข้าวสังข์หยดและข้าวขาวดอกมะลิ 105 รวมถึงมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 อีกทั้งข้าวกล้องหอมชนิดมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 17.72 และปริมาณแอนโทไซยานิน 5.22 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ยังนำข้าวกล้องหอมชนิดมาบดละเอียดเป็นแป้ง เพื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและเปรียบเทียบกับแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมชนิดมีค่าความหนืดสูงสุด ค่า Breakdown และค่า Setback ต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิสุรินทร์ อย่างไรก็ตามแป้งข้าวกล้องหอมชนิดที่ผ่านการคั่วจะมีค่าความหนืดสูงกว่าแป้งข้าวกล้องหอมชนิดที่ไม่ผ่านการคั่ว

ผลการศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมชนิดและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำมันข้าวกล้องหอมชนิดด้วยวิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง พบว่า ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมชนิดและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มากขึ้น มีผลทำให้ค่าความหนืด ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสว่าง (L*) และเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นลดลง นอกจากนี้ ค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความขุ่น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ยังให้สมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายผลได้ โดยค่า R² มีค่าใกล้เคียง 0.99 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบเลือกน้ำมันข้าวกล้องหอมชนิดที่เตรียมจากการใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมชนิดร้อยละ 3 (w/w) ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 40 นาที โดยให้การยอมรับน้ำมันข้าวกล้องหอมชนิดอยู่ระดับชอบปานกลาง

ผลการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความคงตัวที่มีต่อคุณลักษณะของน้ำมันข้าวกล้องหอมชนิด พบว่า ชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัวที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าความหนืด ค่าความขุ่น เปอร์เซ็นต์การแยกชั้น และค่าสีของน้ำมันข้าวกล้องหอมชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่า การใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือแซนแทนกัมร้อยละ

0.025 (w/w) สามารถช่วยให้น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีความคงตัว และผู้ทดสอบให้การยอมรับ ไม่แตกต่างจากน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ไม่มีการเติมสารให้ความคงตัว

การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า ค่า pH ค่าความหนืด ค่าความขุ่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมด และค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์การแยกชั้น ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 30 CFU/ml ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล พบว่า น้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตอยู่ที่ร้อยละ 92.47 0.08 0.20 0.04 0.10 และ 7.11 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ในการเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลเป็นการเตรียมในสเกลขนาดเล็ก จึงควรมีการขยายสเกลการเตรียมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลให้มีขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303 หน้า.
- กองโภชนาการ. 2535. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. องค์การทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ. 97 หน้า
- กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. 2559. พันธุ์ข้าว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.brrd.in.th/rkb/Varieties>. (28 กันยายน 2559).
- กัญญาณัฐ ทองรอง, จีรพรรณ พัดทะเล และประภา กุลเกียรติประวัติ. 2553. การผลิตเครื่องดื่ม โพรไบโอติกจากน้ำผึ้งผสมวานหางจระเข้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จารุเนตร เชียงหลิว, ทิพวรรณ ยืนยงค์ และภัทร์ ภูมิรินทร์. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตะไคร้พร้อมดื่ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต โปรแกรมวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- จิราภรณ์ สิริสัมพันธ์ และยุพร พีชกบุตร. 2552. การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เลียนแบบกะทิพาสเจอร์ไรส์โดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จุฑามาศ ธีระสาโรช และเฉลิมพล ถนอมวงศ์. 2558. การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 43(3) : 395-402.
- จุฬารักษ์ เลิศบวรวงศ์ และรศิตา ไอสถานนท์. 2551. การศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวแดง. วารสารวิจัยรามคำแหง. 11(1) : 1-10.
- ชมพูนุช เพื่อนพิภพ และปรัชญา แพมมงคล. 2554. เครื่องดื่มน้ำมะนาวผสมโยเกิร์ตพาสเจอร์ไรส์. รายงานการวิจัย คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ.
- ช่อทิพา สกุลสิงหาโรจน์, ศรีเมฆ ชาวโพงพาง, แสงทอง พงษ์เจริญกิต และวารภรณ์ แสงทอง. 2556. การศึกษาผลของสภาวะเครียดที่มีต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวและยาสูบที่มีการแสดงออกของยีนสร้างแอนโทไซยานิน. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ชาญ มงคล. 2536. ข้าว : ตำราเอกสารวิชาการฉบับที่ 63. กรมการฝึกหัดครู หน่วยศึกษานิเทศก์, กรุงเทพฯ. 149 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชามาศ มินสาคร. 2555. การเตรียมและพฤติกรรมการบวมตัวของไฮโดรเจลจากโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/โซเดียมอัลจิเนต/กัวร์กัม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณัฐธิดา บำเพ็ญเพียร, ปิยรัตน์ กิตติสันทัด และพรนภา เสถียรนพเก้า. 2557. การผลิตข้าวกล้องแดงเต็มสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณัฐธาวุฒิ จิตติปราโมทย์, นิสากร แซ่วัน, ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ, ปัญญวัฒน์ ปินตาทอง, นนท ชิติเลิศเดชา, นัฐฐเนศวร์ ลับเลิศลบ และอัยภาวุธ หิรัญรัตน์. 2555. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโปรแอนโทไซยานินดินและแอนโทไซยานินจากข้าวมีสี 4 ชนิด. การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2. วันที่ 21-23 ธันวาคม 2555 ณ โรงแรมสวิสโซเทล เลอ คองคอร์ด กรุงเทพฯ.
- ศุภฤกษ์ อุดภพ และน้องนุช เจริญกุล. 2555. สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต-ไฮโดรคอลลอยด์และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter4.html>. (13 ตุลาคม 2558).
- ทิพวดี จิตพิศุทธิ์. 2550. การสกัดแอนโทไซยานินจากเมล็ดถั่วดำและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทิพาพร อยู่วิทยา. 2558. การใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้ออาหาร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.kmutt.ac.th/foodeng/download/-pdf>. (30 กันยายน 2559).
- เทอดศักดิ์ คำเหม็ง. 2542. บทบาทสารอาหารใน “ข้าวกล้อง” อาหารสุขภาพของคนไทย. วารสารศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง. 7(1) : 22-26.
- ไทยไบโอ. 2558. สารสกัดจากเมล็ดองุ่น. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.thaibio.com/สารสกัดจากเมล็ดองุ่น%20\(%20Grape%20Seed%20Extract%20\)](http://www.thaibio.com/สารสกัดจากเมล็ดองุ่น%20(%20Grape%20Seed%20Extract%20)). (20 ตุลาคม 2558).
- ไทยโพสต์. 2555. คนไทยใช้จ่ายเพื่อสุขภาพเพิ่มกระชูด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaipost.net/node/51440>. (20 ตุลาคม 2558).
- ไทยรัฐ. 2558. มูลค่าอาหารเพื่อสุขภาพ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thairath.co.th/clip/19961>. (20 ตุลาคม 2558).
- นันทิยา พนมจันทร์ และกษมาพร ทองเขียว. 2554. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดและปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสีพันธุ์พื้นเมือง. วารสารหาคีใหญ่วิชาการ. 9(1) : 17-24

- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2534. **คอลลอยด์**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2549. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 504 หน้า.
- บรรจบ ชุณหสวัตติกุล. 2554. **ข้าวกล้องดีต่อสุขภาพ. การดูแลสุขภาพผู้สูงอายุแบบบูรณาการ**. พิมพ์ครั้งที่ 5. คณะกรรมการกิจการเด็ก เยาวชน สตรี ผู้สูงอายุและผู้พิการ สภาผู้แทนราษฎร, กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก และกรมสนับสนุนบริการสุขภาพ, กรุงเทพฯ. 176 หน้า.
- บริษัท สีนิลไรซ์ จำกัด. 2553. **ข้าวสินิล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.sininrice.com/insightsub1.html>. (8 ตุลาคม 2558).
- บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาเชียงใหม่. 2549. **ข้าวพันธุ์หอมแดงสุโขทัย** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.doa.go.th/pvp/images/stories/indexpp2518/AnnoDOA/annodoa_publicno.11.pdf. (18 ธันวาคม 2558).
- ปณิดา คนหมั่น, วรธร ศรีรูป และอโนชา สุขสมบูรณ์. 2556. ผลของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาทีไนซ์ต่อคุณภาพของขนมชั้น. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 44(2) : 425-428.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องผลิตภัณฑ์ของนม พ.ศ. 2556. (2556, 24 กรกฎาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 130 ตอนพิเศษ 87 ง. หน้า 76-78.
- ประสิทธิ์ วัชภคพัฒน์วงศ์. 2553. โภชนาการของข้าวและนวัตกรรมการใช้ประโยชน์. **วารสารคลินิกอาหารและโภชนาการ (วคอก)**. 4(1) : 32-40.
- ผาณิต รุจิรพิไลฐ. 2549. **องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจีน (*Eleocharis dulcis* Trin.)**. รายงานการวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้า.
- พินันท์ มาปิ่น, สุพรรณิกา ตีบขัน, ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, ดำเนิน กาละดี และศันสนีย์ จำจด. 2557. การคัดเลือกข้าวต้นเพื่อลักษณะแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงและไม่ไวต่อช่วงแสงในลูกผสมข้าวที่ 2 ระหว่างข้าวพันธุ์เก่าคอยสะเค็ดและปทุมธานี 1. **วารสารนเรศวรพะเยา**. 7(2) : 160-171.
- เพ็ญพิมพ์ มคะบุญโญ. 2553. **การพัฒนาเครื่องดีมน้ำข้าวกล้องงอกจากข้าวกล้องหอมนิล**. รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มกษ. 4004-2555. 2555. **มาตรฐานสินค้าเกษตร-ข้าว**. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 129 ตอนพิเศษ 173 ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฤทธิทร ไกรวงศา. 2553. ผลของการลดขนาด การให้ความร้อน และสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของเครื่องต้มข้าวกล้องงอกผสมน้ำมะเฒ่าเข้มข้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศันสนีย์ อุดมระติ. 2548. การเกิดเจลาทีนในเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. 2553. เครื่องต้มน้ำข้าวกล้องงอกผสมธัญพืช. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมการข้าว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.brrd.in.th/main/document/rice_water2.pdf. (18 ตุลาคม 2558).
- สมฤดี วิบูลพัฒนะวงศ์. 2540. การผลิตเครื่องต้มเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2559. ผลผลิตข้าวของโลก ความต้องการบริโภค และสต็อกคงเหลือปลายปี. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.thairiceexporters.or.th/world%20rice%20prod_cons_ends.htm. (14 พฤศจิกายน 2559).
- สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2557. INNOVATION TREND. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.nia.or.th/innolinks/page.php?issue=201412§ion=6>. (20 ตุลาคม 2558).
- สุขทิพย์ สุกใส, ชลิดา เนียมนุ้ย, อนุกุล วัฒนสุข, กนกภรณ์ ครุฑภาพันธ์ และโสธยา เกิดพิบูลย์. 2555. สมบัติเชิงกายภาพบางประการของซูปที่ผลิตจากข้าวกล้องและข้าวฮาง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2 พิเศษ) : 237-240.
- อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2544. ข้าวเจ้าหอมนิล. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.ku.ac.th/e-magazine/april44/agri/rice1.html>. (18 ธันวาคม 2558).
- อรวรรณ ปานศิริ. 2545. การศึกษากระบวนการแปรรูปเครื่องต้มจากนํ้านมข้าวกล้อง น้ำถั่วเหลือง และรำข้าวบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 366 หน้า.
- อริยากรณ์ พงษ์รัตน์, นพมาศ นามแดง, ประพนธ์ บุญเจริญ, ประทุม อุ่นเรือน, ชนนันต์ อยู่หว่าง และประชิด อยู่หว่าง. 2550. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นํ้านมข้าวจากต้นข้าวอ่อนและรวงข้าวอ่อนอบแห้ง. โครงการงานวิจัยและพัฒนา ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AOAC. 2005. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland.
- Ashish, J., Sugghosh, M.R., Sarika, S., Abhinav, R., Swapnil, T., Sanjeeb, K. M., Nishant, K. S., Ashish, S., Naisarg, M., Vibhav, B. and Chitra, K. 2012. Effect of cooking on amylose content of rice. **European Journal of Experimental Biology**. 2(2) : 385-388.
- BeMiller, J. N. and Whistler, R. L. 1996. Carbohydrates. In Fennema, O. R. (Ed.). **Food Chemistry**. 3rd ed. Marcel Dekker Inc., New York.
- Brautlecht , C. A. 1953. **Starch : Its sources , production and uses**. Reinhold publishing corporation, New York.
- Cagampang, G. B., Cruz, L. J., Espiritu, S. G., Santiago, R. G. and Juliano, B. O. 1966. Studies on the extraction and composition of rice proteins. **Cereal Chemistry**. 43 : 145-155.
- Changlian, P., Zhifang, L., Guizhu, L. and Shaowei, C. 2006. The antiphotooxidation of anthocyanins-rich leaves of a purple rice cultivar. **Science in China Series C : Life Sciences**. 49 : 543-551.
- Chen, M.-H., McClung, A. M. and Bergman, C. J. 2016. Concentrations of oligomers and polymers of proanthocyanidins in red and purple rice bran and their relationships to total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and whole grain color. **Food Chemistry**. 208 : 279-287.
- Cozzolino, D. 2016. The use of the rapid visco analyser (RVA) in breeding and selection of cereals. **Journal of Cereal Science**. 70 : 282-290.
- Davies, T., Miller, D. C. and Proctor, A. A. 1980. Inclusion complexes of free fatty acids with amylose. **Starch/Stärke**. 32 : 149-158.
- Durand, A., Franks, G. V. and Hosken, R. W. 2003. Particle sizes and stability of UHT bovine, cereal and grain milks. **Food Hydrocolloids**. 17 : 671-678.
- Euromonitor International. 2012. **Health and Wellness the Trillion Dollar Industry in 2017 : Key Research Highlights**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://blog.euromonitor.com>. (20 ตุลาคม 2558).
- Fennema, O. R. 1996. **Food Chemistry**. 3rd ed. Merceel Dekker Inc., New York.
- Francis, F. J. 2002. Food colorings. In MacDougall, D. B. (Ed.). **Colour in food : improving quality**. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge.

- Guerra, M. J., Gonzalez, D., Jaffe, W. G. and Caldoeron, M. 1981. Formulation of a high - nutrition value beverage based on rice. **Archivos Latinoamericanos de Nutrition.** 31(2) : 338-349.
- Gustavo Espino. 2014. **Anthocyanins, the other pigments in the plant kingdom.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://ubuscientia.blogspot.com/p/anthocyanins-other-pigments-in-plant.html>. (2 ตุลาคม 2559).
- Hamaker B. R. 1994. The influence of rice protein on rice quality. In W. E. Marshall and J. I. Wadsworth (Eds.). **Rice Science and Technology.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- Hamaker B. R. and Griffin, V. K. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chemistry.** 70(4) : 377-380.
- Hinds, M. J., Chinnan, M. S. and Beuchat, L.R. 1997. Particle size distribution in a heat – processed beverage prepared from roasted peanuts. **Food Research International.** 30(1) : 59-64.
- Hizukuri, S. 1985. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and crystalline structure of starch granule. **Carbohydrate Research.** 141 : 295-306.
- Ikegwu, O. J., Oledinma, N. U., Nwobasi, V. N. and Alaka, I. C. 2009. Effect of processing time and some additives on the apparent viscosity of 'achi' *Brachystegia eurycoma* flour. **Journal of Food Technology.** 7 : 34-37.
- Jadwiga Wilska-Jeszka. 2002. Food colorants, pp. 205-229. In Zdzislaw E. Sikorski, 2nd ed. **Chemical and Functional Properties of Food Components.** CRC Press.
- Jay, J. K. 1978. **Modern food microbiology.** Van Nost and Reinhold Co., New York.
- Juliano, B. O. 1993. **Rice in Human Nutrition.** Food and Nutrition Series No.26. FAO. Rome.
- Juliano, B. O. and Goddard, M. S. 1986. Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice. *Qual. Plant.* **Plant Foods for Human Nutrition.** 36 : 35-41.
- Kadajji, V. G., Betageri, G. V. 2011. Water soluble polymers for pharmaceutical applications. **Polymers.** 3 : 1972-2009.
- Kaufman, V. R. and Garti, N. 1984. Effect of cloudy agents on the stability and opacity of cloudy emulsion for soft drinks. **Journal of Food Science & Technology.** 19(2) : 255-261.
- Kitahara, K., Sukanuma, T. and Nagahama, T. (1994). Bound free fatty acids in glucoamylasedigested starches of corn and sweet potato. **Cereal Chemistry.** 71(5) : 439-443.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lee, S. W. and Rhee, C. 2003. Processing suitability of a rice and pine nut (*Pinus koraiensis*) beverage. **Food Hydrocolloids**. 17 : 379-385.
- Lim, S. T., Lee, J. H., Shin, D. H. and Lim, H. S. 1999. Comparison of protein extraction solution for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. **Starch/Stärke**. 50 : 120-125.
- Lin, T. C., Shao, Y. Y. and Chiang, W. 1988. Investigation of the processing and the quality of rice milk. **Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society**. 26(1) : 130-137.
- Martin Chaplin. 2016. Carboxymethyl cellulose. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www1.lsbu.ac.uk/water/carboxymethylcellulose.html>. (12 พฤศจิกายน 2559).
- Martin, C. and Smith, A. M. 1995. Starch biosynthesis. **Plant Cell**. 7 : 971-985.
- Morrison, W. R. 1981. Starch lipids : A reappraisal. **Starch/Stärke**. 33 : 408-410.
- Nakamura, Y., Tsuji, S. and Tonogai, Y. 2003. Analysis of proanthocyanidins in grape seed extracts, health foods and grape seed oils. **Journal of Health Science**. 49(1) : 45-54.
- Osman, E. M. 1967. Starch in food Industry. In Whistler, R. L. and Paschal, E. F. (Eds.). **Starch: Chemistry and technology**. Vol. 2, Academic Press, London.
- Prasad, K., Anil, A., Singh, Y. and Sinha, A. S. K. 2013. Concentration dependent rheological behaviour of promising basmati and non basmati rice flour. **International Food Research Journal**. 20 : 2005-2008.
- Priepke, P. E., Wei, L. S., Nelson, A. I. and Steinberg M. P. 1980. Suspension stability of illionis soybean beverage. **Journal of Food Science**. 45 : 242-245.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S. and Kulkarni, P. K. 2006. Resistant starch a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 5 : 1-17.
- Sharma, B. R., Naresh, L., Dhuldhoya, N. C., Merchant, S. U. and Merchant, U. C. 2006. Xanthan Gum - A Boon to Food Industry. **Food Promotion Chronicle**. 1(5) : 27-30.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G. and Berghofer, E. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. **Food chemistry**. 124 : 132-140.
- Stintzing, F. C. and Carle, R. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science & Technology**. 15 : 19-38.
- Tester, R. F., Karkalas, J. and Qi, X. 2004. Starch structure and digestibility enzyme substrate relationship. **World's Poultry Science Journal**. 60 : 185-195.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Whister, R. L. and Deniel, J. R. 1984. Molecular structure of starch. In Whister, R. L., Bemiller, J. N. and Paschall, E. F. (Eds.). **Starch : chemistry and technology**. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Ye, L., Wang, C., Wang, S., Zhou, S. and Liu, X. 2016. Thermal and rheological properties of brown flour from *Indica* rice. **Journal of Cereal Science**. 70 : 270-274.
- Zhao, C. L., Guo, H. C., Dong, Y. Z. and Zhao, Q. 2009. Pharmacological and nutritional activities of potato anthocyanins. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**. 2(10) : 463-468.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืดของแป้ง (Brabender, Viscograph-E, Germany)
2. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
3. บีกเกอร์
4. กระจกบดวาง

วิธีการ

1. เปิดเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการใช้งานประมาณ 20 - 30 นาที ให้น้ำเย็นมีอุณหภูมิประมาณ 16 องศาเซลเซียส
2. เปิดโปรแกรมและเครื่องวัดความหนืดของแป้ง
3. การใช้งาน โปรแกรม
 - 3.1 เลือก menu >> option >> config >> com port (เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่อง brabender ว่าผ่านหรือไม่) >> test (กดทั้ง 3 ช่อง คือ torque, temp และ speed โดยต้องผ่าน ซึ่งไฟจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว) >> ok
 - 3.2 เลือก file >> new จะได้หน้าต่าง parameters (measurement) ขึ้นมา
 - 3.2.1 temperature profile ให้ตั้งชื่อตัวอย่าง และเติมค่าในแต่ละ segment ตามวิธีที่ทางผู้ใช้งานกำหนด โดยกำหนดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 – 95 องศาเซลเซียส ในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วค่อยๆลดอุณหภูมิลงจนถึง 50 องศาเซลเซียส ในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และบันทึก
 - 3.2.2 parameters (measurement)
 - method ให้ใส่ชื่อตัวอย่าง (คัดลอกชื่อมาจากส่วนของ temperature profile)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใส่ปริมาณของตัวอย่างและน้ำที่ใช้ตามความเข้มข้นที่ต้องการในช่อง sample weight และ water ส่วนใหญ่นิยมใช้ความเข้มข้นของน้ำแป้งประมาณร้อยละ 8 - 15 แล้วแต่ชนิดของแป้ง ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังนี้ เตรียมน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 14 จากตัวอย่างน้ำแป้งที่ใช้ทั้งหมด 450 มิลลิลิตร แสดงว่า ในน้ำแป้ง 100 มิลลิลิตร ใช้แป้งทั้งหมด 14 กรัม ถ้าต้องการเตรียมน้ำแป้ง 450 มิลลิลิตร จะใช้แป้งทั้งหมด $(450 \times 14) / 100 = 63$ กรัม ละลายในน้ำทั้งหมด $450 - 63 = 387$ มิลลิลิตร
- 4. ชั่งตัวอย่างแป้งและน้ำกลั่นตามน้ำหนักที่ใช้งาน โดยดูจาก corr. ของแป้งและน้ำตามลำดับ (ตัวอย่างแป้งที่ใช้ควรทราบความชื้นที่แน่นอน)
- 5. เตรียมน้ำแป้งในบีกเกอร์ คนให้เข้ากัน และใส่ลงใน bowl (ควรเหลือน้ำกลั่นไว้เล็กน้อยเพื่อใช้สำหรับล้างน้ำแป้งที่เหลือติดบีกเกอร์ที่เตรียม)
- 6. ใส่หัววัด (pin sensor) เข้าตำแหน่งที่พร้อมใช้งาน
- 7. กดปุ่มสีเขียว ด้านล่างซ้ายของหน้าต่าง parameters (measurement) เพื่อให้เครื่องทำงาน ถ้าต้องการหยุดการทำงานก่อนจบโปรแกรม ให้กดปุ่ม stop ด้านบน (หน้าจอคอมพิวเตอร์)
- 8. หลังจากโปรแกรมทำงานเสร็จ ให้ทำการบันทึกผลการวิเคราะห์ 2 ลักษณะ คือ
 - 8.1 file >> save (สำหรับเปิดดูผลจากโปรแกรม Viscograph)
 - 8.2 file >> preview >> save (เป็นไฟล์รูปภาพ)

2. การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล (ดัดแปลงวิธีของ อรวรรณ, 2545)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer, LV DV – III Ultra Rheometer, U.S.A)
2. ชุด small sample adapter
3. หัววัดเบอร์ SC4-31
4. Chamber SC4-13R

วิธีการ

1. เช็กระดับลูกน้ำ ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่จุดกึ่งกลางของกรอบ และเปิด power switch ด้านหลังตัวฐานเครื่อง
2. กดปุ่ม motor on/off เครื่องจะทำการปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อน้ำจ่อขึ้น auto zero is complete กด next
3. นำตัวอย่างน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลมา 12 มิลลิลิตร ใส่ใน chamber ที่ติดตั้งเข้ากับชุด small sample adapter ควบคุมอุณหภูมิตลอดการวิเคราะห์ที่ประมาณ 4 - 5 องศาเซลเซียส
4. ใส่หัววัดเบอร์ SC4-31 และจุ่มหัววัดในตัวอย่างน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล
5. กด select SPDL เพื่อใส่รหัสหัววัด คือ 31 และกด select SPDL อีกครั้ง เพื่อตอบตกลง
6. ใส่ตัวเลขที่ความเร็วรอบ 250 RPM อ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยต์ (cP)

3. การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี (Minolta, CR-400, Japan)
2. อลูมิเนียมแคน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลประมาณ 50 กรัม นำตัวอย่างใส่ในอลูมิเนียมแคน
2. ปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดย
 - 2.1 ต่อปลั๊กไฟให้เข้าด้านหลังเครื่องตรงช่อง DC
 - 2.2 เปิด power ไปที่ on กดที่ calibrate
 - 2.3 วางปลายหัววัดให้แนบกับผิวหน้าของแผ่น calibrate (แผ่นกระเบื้องสีขาว)
 - 2.4 กดปุ่ม measuring head ออกจากหัววัดออกจนกว่าเครื่องจะ calibrate เสร็จ โดยหน้า
หน้าจจะแสดง end
3. ใช้แผ่นพลาสติกคลุมหัววัดก่อนทำการวัด เพื่อป้องกันความเสียหายของหัววัด
4. วางปลายหัววัดให้แนบกับตัวอย่างและทำการวัด
5. บันทึกค่าสีในค่า L^* , a^* และ b^*

L^* คือ ค่าความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
a^* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว	เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวก แสดงสีแดง
	เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบ แสดงสีเขียว
b^* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน	เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก แสดงสีเหลือง
	เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ แสดงสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์ความขุ่นของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล (ดัดแปลงวิธีของ ณัฐริดา และคณะ, 2557)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความขุ่น (Lovibond, TurbiCheck, Germany)
2. ชุดน้ำยามาตรฐาน (turbi standard) ช่วง < 0.1 20 200 และ 800 NTU
3. บีกเกอร์
4. ปิเปต
5. หลอดทดสอบ

วิธีการ

1. นำน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลมาทำการเจือจาง โดยใช้ปิเปตดูดน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล ส่วนบนปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 19 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ผสมให้เข้ากัน
2. ปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยใช้ชุดน้ำยามาตรฐานในการ calibrate
3. เติมตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่เจือจางแล้วใส่ในหลอดทดสอบ 10 มิลลิลิตร โดยให้ตัวอย่างสูงเลยจากขีดบอกระดับเล็กน้อย ปิดฝาหลอดทดสอบให้แน่น
4. นำหลอดทดสอบใส่ในช่องวัด แล้วปิดด้วยฝาพลาสติกให้สนิท
5. กดปุ่ม read เพื่อวัดค่าในหน่วย Nephelometric Turbidity Units (NTU)

5. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล (ดัดแปลงวิธีของ Priecke และคณะ, 1980)

อุปกรณ์

1. กระจกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ตู้เย็น

วิธีการ

1. นำตัวอย่างน้ำมันข้าวกล้องหอมนิลใส่ในกระจกตวง 100 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
2. วิเคราะห์หาปริมาณของส่วนที่แยกชั้นด้านบนต่อปริมาณทั้งหมดของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์การแยกชั้น (%)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแยกชั้น (\%)} = \frac{\text{ปริมาณของส่วนที่แยกชั้นด้านบน}}{\text{ปริมาณทั้งหมดของน้ำมันข้าวกล้องหอมนิล}} \times 100$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

อุปกรณ์

1. อลูมิเนียมแค่น (aluminum can)
2. ที่คีบ (tong)
3. ช้อนตักสาร
4. โถดูดความชื้น (desiccator) ที่มีสารดูดความชื้น เช่น ซิลิกาเจล
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
6. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

วิธีการ

1. อบอุ่นอลูมิเนียมแค่นที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก นำไปบดต่อจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้น 3 - 5 กรัม ใส่ในอลูมิเนียมแค่นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
3. นำอลูมิเนียมแค่นที่ใส่ตัวอย่างแล้วไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำอลูมิเนียมแค่นออกจากตู้อบลมร้อน โดยปิดฝาทันที แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
5. นำไปบดต่ออีก 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่
6. การคำนวณหาปริมาณความชื้นในตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์ไขมัน (gerhardt apparatus)
2. บีกเกอร์ไขมัน
3. ทิมเบิล (thimble)
4. ตัวรองทิมเบิล
5. กระดาษกรอง
6. Boiling chip
7. ตู้อบลมร้อน
8. โถดูดความชื้น
9. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. ปีโตเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40 - 60 องศาเซลเซียส

วิธีการ

1. ออบบีกเกอร์ไขมันพร้อม boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_1)
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดและอบไล่ความชื้นแล้ว 5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล
3. ตวงตัวทำละลายปีโตเลียมอีเทอร์จำนวน 140 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ไขมัน ใส่ทิมเบิลลงในบีกเกอร์ไขมัน และต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดตามโปรแกรมของเครื่อง
4. เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยปีโตเลียมอีเทอร์ออก จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อรอให้เย็น ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)
5. การคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

โดย W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด

W_2 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2005)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (kjeldahl apparatus)
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. หลอดย่อยโปรตีน
4. ขวดชมพู ขนาด 500 มิลลิลิตร
5. Boiling chip
6. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริก 2%
เตรียมโดยละลายกรดบอริก 2 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N
เตรียมโดยเปิด 37% กรดไฮโดรคลอริก 8.26 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32%
เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
5. ตัวเร่ง (catalyst)
เตรียมโดยผสม $\text{CuSO}_4 : \text{K}_2\text{SO}_4$ อัตราส่วน 1 : 10
6. สารละลายอินดิเคเตอร์
เตรียม 0.1% เมทิลบลูใน alcohol 95%
เตรียม 0.2% เมทิลเรดใน alcohol 95%

วิธีการ

1. การย่อย
 - 1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5 - 5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 3 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.2 นำหลอดย่อยโปรตีนวางลงในแรค (rack) นำไปประกอบกับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อนและสวมที่ดูดควัน ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรดก่อนเปิดสวิตช์
 - 1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ย่อย 380 - 400 องศาเซลเซียส ย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส
 - 1.4 ปิดสวิตช์ พร้อมยกแรคที่มีหลอดตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารละลายสีฟ้าเย็นตัวลงในชามนี้ยังเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนหมดไอกรดก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดกลั่น
2. การกลั่น
- 2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน ตรวจสอบเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำสำหรับหล่อเย็น ถังน้ำกลั่น ถังโซเดียมคลอไรด์ 32% โดยสายยางต้องจุ่มลงในถังน้ำกลั่นหรือโซเดียมคลอไรด์
 - 2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ทั้งสองชนิด อย่างละ 1 หยด จะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดชมพู่ลงในชุดกลั่น เสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเด็นเซอร์ลงในกรดบอริก เพื่อดักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้
 - 2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเป็นสีดำ
 - 2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เวลาที่ใช้ในการกลั่นจะขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง
3. การไตเตรท
- นำขวดชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใสหรือชมพูอ่อน บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
4. การคำนวณหาไนโตรเจนในตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ไนโตรเจนในอาหาร (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 14}{W \times 1000} \times 100$$

- โดย
- A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง
 - B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank
 - N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (N)
 - W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ปริมาณโปรตีนในอาหาร (ร้อยละ)} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

อุปกรณ์

1. ครุชิวเบิล (crucible)
2. เตาเผา (muffle furnace)
3. เตาให้ความร้อน (hot plate)
4. โถดูดความชื้น
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. เผาครุชิวเบิลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา เก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำไปเผาซ้ำอีกครั้ง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ บันทึกผล (W_1)
2. ชั่งตัวอย่างบดละเอียด 3 กรัม (W) ลงในครุชิวเบิล นำไปเผาบนเตาให้ความร้อนจนหมดควัน
3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 - 10 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือสีขาว นำออกจากเตาเผาเก็บในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล (W_2)
4. การคำนวณหาปริมาณเถ้าในตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

โดย W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักของครุชิวเบิล

W_2 = น้ำหนักของครุชิวเบิลและน้ำหนักเถ้าหลังเผา

5. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2005)

อุปกรณ์

1. Enzyme digester
2. บีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร ทรงตื้น
3. ตู้อบลมร้อน
4. แท่งแม่เหล็กกวน (magnetic bar) ขนาด 6×35 มิลลิเมตร
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
6. เครื่อง pH meter
7. เตาเผา
8. เครื่องกรอง
9. เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (hotplate stirrer)
10. ครุชชีเบลชนิดกรอง (ขนาดรู 40 - 60 ไมโครเมตร)
11. โทคูคความชื้น
12. อลูมิเนียมฟอยล์

สารเคมี

1. เอทานอล 78%
2. เอทานอล 95%
3. อะซิโตน
4. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.08 โมลาร์ (pH 6)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 โมลาร์
6. กรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์
7. เอนไซม์ α -amylase
8. เอนไซม์ protease
9. เอนไซม์ amyloglucosidase
10. ซีไลท์ (เตรียมใส่ครุชชีเบลชนิดกรอง 0.5 กรัม นำไปอบ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นในโทคูคความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

1. การสกัดแยกเอาสตาร์ชและโปรตีนออก

- 1.1 เตรียมตัวอย่างปริมาณ 1.000 ± 0.005 กรัม ที่อบแห้งและบด (ใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส) (ทำซ้ำ สำหรับตัวอย่าง และ 2 ซ้ำ สำหรับ blank)
- 1.2 เติมน้ำละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6 จำนวน 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้
- 1.3 เติมน้ำเอนไซม์ α -amylase จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปให้ความร้อนในน้ำเดือด จนสารละลายมีอุณหภูมิ 95 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าตลอดเวลา
- 1.4 ทำให้สารละลายเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย เป็น 7.5 ± 0.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 โมลาร์ ประมาณ 10 มิลลิลิตร
- 1.5 เติมน้ำเอนไซม์ protease จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิของสารละลายเป็น 45 - 55 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็น
- 1.6 ปรับค่า pH ของสารละลายเป็น 4.5 ± 0.2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์ ใช้ dropper หยดประมาณ 30 หยด
- 1.7 เติมน้ำเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิของสารละลายเป็น 60 - 65 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็น

2. หาปริมาณ Insoluble fiber

- 2.1 กรองกากจากขั้นตอนที่ 1
- 2.2 ล้างกากที่ได้ด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
- 2.3 รวมเอา filtrate และน้ำล้างกากเข้าด้วยกัน สำหรับหาปริมาณ soluble fiber ในขั้นที่ 3
- 2.4 นำกากที่ล้างน้ำแล้วล้างด้วยเอทานอล 95% 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ผ่านครุชเชิลชนิดกรองที่เตรียมไว้แล้วรูดน้ำหนักรีดแล้ว
- 2.5 ล้างกากด้วยอะซิโตน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ผ่านครุชเชิลชนิดกรอง
- 2.6 นำครุชเชิลชนิดกรองไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
- 2.7 ชั่งน้ำหนัก นำน้ำหนักที่ชั่งได้หักกับน้ำหนักของครุชเชิลชนิดกรอง และน้ำหนักซีไลท์ เพื่อหาน้ำหนักกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 นำกากที่กรองได้มา 1 ตัวอย่าง วิเคราะห์โปรตีนตามวิธี Kjeldahl (x 6.25) และนำกากที่ได้จากอีก 1 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์เถ้า โดยการให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 5 ชั่วโมง ทำให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักโปรตีน และน้ำหนักเถ้าที่ได้แล้วนำไปหักออกจากน้ำหนักกาก จะได้เป็นค่า Insoluble Fiber

3. หาปริมาณ Soluble fiber

3.1 นำ filtrate และน้ำล้างกากจากขั้นตอนที่ 2 มาตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% จำนวน 4 เท่าของปริมาตรสารละลายที่ได้ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2 กรองเอาตะกอนออกโดยผ่านครุชชีเบลชนิดกรองที่เตรียมไว้ และร่อนน้ำหนักแล้วลงในขวดรูปชมพู่ที่ใช้กรอง (suction flask) โดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ

3.3 ล้างตะกอนที่ได้ด้วยเอทานอล 78% 20 มิลลิลิตร ผ่านครุชชีเบลชนิดกรอง 3 ครั้ง

3.4 ล้างตะกอนที่ได้ด้วยเอทานอล 95% 10 มิลลิลิตร ผ่านครุชชีเบลชนิดกรอง 3 ครั้ง

3.5 ล้างตะกอนที่ได้ด้วยอะซิโตน 10 มิลลิลิตร ผ่านครุชชีเบลชนิดกรอง 3 ครั้ง

3.6 จากนั้นทำตามขั้นตอนที่ 2 ตั้งแต่ข้อ 2.6 – 2.8

4. การคำนวณปริมาณใยอาหารทั้งหมด จากสมการ

$$\text{Total dietary} = \text{Insoluble fiber} + \text{Soluble fiber}$$

6. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณ (AOAC, 2005)

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)} = 100 - (\text{ร้อยละความชื้น} + \text{ร้อยละไขมัน} + \text{ร้อยละโปรตีน} + \text{ร้อยละเถ้า} + \text{ร้อยละใยอาหาร})$$

7. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (มกษ. 2555-4004)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (UV- spectrophotometer)
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (hotplate stirrer)
4. เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill)
5. ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ปิเปต ขนาดความจุ 1 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. กรดเกลซีลอะซีติก
4. ไอโอดีน
5. โพแทสเซียมไอโอไดด์
6. อะไมโลส (potato from amylose) มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95%

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 นอร์มัล (N) : ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 1000 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
2. สารละลายกรดเกลซีลอะซีติก เข้มข้น 1 นอร์มัล (N) : ละลายกรดเกลซีลอะซีติก ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
3. สารละลายไอโอดีน : ชั่งไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 80 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตรสีชาขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืนหรือจนไอโอดีนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

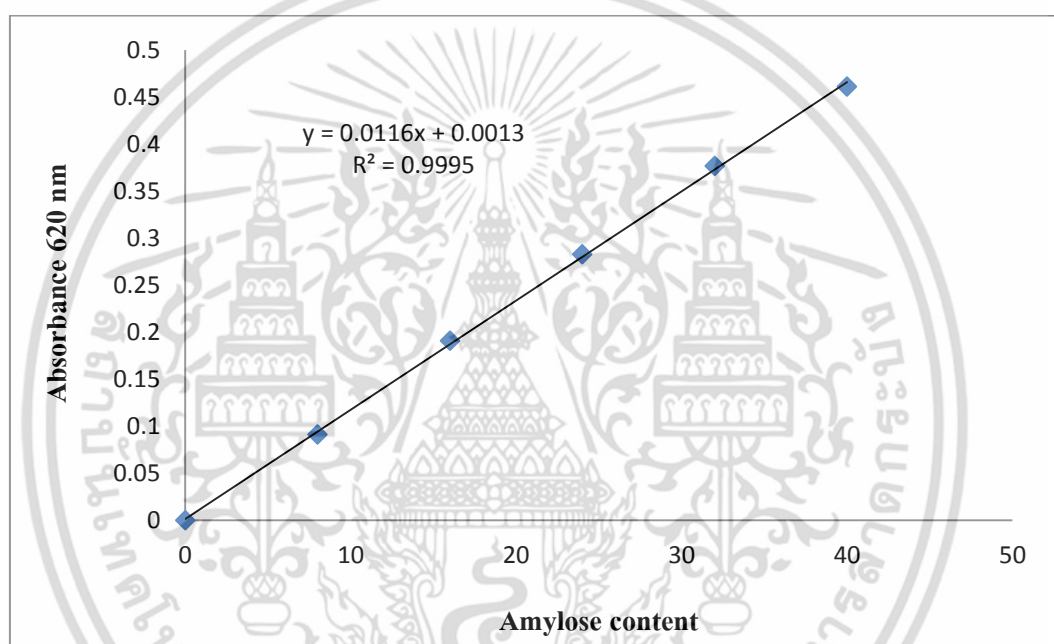
1. บดเมล็ดข้าวด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) ให้เป็นแป้ง ชั่งแป้งข้าวมา 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิท
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
4. ปั่นกวนตัวอย่างด้วยเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อนนาน 10 นาที ให้เป็นน้ำแป้ง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร
5. เตรียมขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร สารละลายกรดเกลือเชิลอะซิติกปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร
6. ควบน้ำแป้งตามข้อ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ตามข้อ 5 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
7. วัดความเข้มของสีของสารละลายตามด้วยเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง โดยอ่านค่าเป็น absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร (nm) หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0
8. ทำ blank โดยเติมสารละลายกรดเกลือเชิลอะซิติก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร
9. นำ absorbance ไปหาปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ) โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้
$$\text{ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร}}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$

การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งอะไมโลส 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิทแล้วดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่างตามวิธีการข้อ 2 - 4 เป็นสารละลายมาตรฐาน
2. เตรียมขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลือเชิลอะซิติก ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ในขวดที่ 2 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร ในขวดที่ 3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ในขวดที่ 4 และปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ในขวดที่ 5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คูดสารละลายมาตรฐานตามข้อ 1 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณอะไมโลสร้อยละ 8 16 24 32 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่า absorbance ที่ 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0
4. นำ absorbance กับปริมาณอะไมโลสในสารละลายมาตรฐานตามข้อ 3 มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน
5. นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 4 มาใช้แปลงค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)



ภาพข1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

อุปกรณ์

1. เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (shaking water bath)
3. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (UV- spectrophotometer)
4. ไมโครปิเปต
5. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร
6. หลอดทดลอง
7. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
8. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
9. คิวเวต

สารเคมี

1. ไฮโดรคลอริก 0.1% ในเมทานอล
เตรียมโดยใช้ปิเปตดูดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% ปริมาณ 2.70 มิลลิลิตร เติมนเมทานอล 99.9% ให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
2. โปแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ 0.025 โมลาร์ (pH 1.0)
เตรียมโดยชั่งโปแทสเซียมคลอไรด์ 1.86 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 980 มิลลิลิตร จนละลายหมด วัดค่า pH และปรับจนได้ค่า pH 1.0 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ปรับจนถึงปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
3. โซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ 0.4 โมลาร์ (pH 4.5)
เตรียมโดยชั่งโซเดียมอะซิเตต 54.43 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 960 มิลลิลิตร จนละลายหมด วัดค่า pH และปรับจนได้ค่า pH 4.5 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ปรับจนถึงปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

วิธีการ

1. วิธีสกัดแอนโทไซยานินในข้าวกล้องหอมนิล (นันทิยา และกษมาพร, 2554)
 - 1.1 นำข้าวกล้องหอมนิลมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill)
 - 1.2 นำข้าวกล้องหอมนิลที่บดละเอียดมาใส่ในขวด ขวดละ 10 กรัม เติมหไฮโดรคลอริก 0.1% ในเมทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปแช่ตู้เย็น 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3 นำไปแช่ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบแช่ ด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 75 นาที ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
 - 1.4 นำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ทำการกรองจำนวน 2 ครั้ง โดยอาศัยการกรองแบบสุญญากาศ
 - 1.5 เก็บสารสกัดเข้าขวดล้องหอนิลไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการหาปริมาณแอนโทไซยานิน
2. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน (AOAC, 2005)

2.1 สแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด ($\lambda_{vis-max}$) ของตัวอย่างสารละลายของสารสกัดข้าวกล้องหอมนิล โดยการเจือจางสารสกัดด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ pH 1.0 ที่เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ในระดับปริมาตรของสารสกัดไม่เกิน 20% ของปริมาตรรวมของสารละลายเจือจาง และสามารถคำนวณค่า dilution factor (DF) ได้ เพื่อรักษาสภาวะของ buffer capacity และมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.1 - 0.9A

2.2 วัดค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละชุดตัวอย่างสารสกัดที่ความยาวคลื่นสูงสุด และที่ 700 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank ซึ่งใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

2.3 คำนวณ absorbance ของ diluted sample ดังสมการ

$$A = (A_{\lambda_{vis-max}} - A_{\lambda_{700}})_{pH1.0} - (A_{\lambda_{vis-max}} - A_{\lambda_{700}})_{pH4.5}$$

2.4 คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานิน ดังสมการ

$$\text{Anthocyanin} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l}$$

โดยที่ MW = น้ำหนักโมเลกุล 449.2 (cyanidin-3-glucoside)

DF = dilution factor (สำหรับตัวอย่าง เช่น ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เจือจางได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร, DF = 10)

ϵ = molar absorptivity (26,900)

l = ความกว้างของคิวเวต เท่ากับ 1 เซนติเมตร

9. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

อุปกรณ์

1. เครื่อง Hand refractometer ดิจิตอล (Atago, PAL-1, Japan)

วิธีการ

1. ปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยหยคน้ำกลั่นใส่บริเวณแผ่นปริซึมของตัวเครื่อง แล้วกด zero
2. หยดตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลลงบนแผ่นปริซึมของตัวเครื่อง แล้วกด start
3. บันทึกค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด หน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{\circ}$ Brix)

10. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

อุปกรณ์

1. เครื่อง pH meter (Mettler Toledo, FEP-20, Switzerland)
2. บีกเกอร์

วิธีการ

1. เสียบปลั๊ก เปิดเครื่อง pH meter
2. ทำการปรับเทียบมาตรฐาน (calibrate) เครื่อง pH meter
3. นำตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลที่ต้องการตรวจวัดใส่ลงในบีกเกอร์ประมาณ 40 มิลลิลิตร
4. ตรวจวัดค่า pH โดยนำหัววัดของเครื่อง pH meter จุ่มลงในบีกเกอร์ที่บรรจุตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล
5. รอให้บนจอแสดงผลของเครื่อง pH meter ปรากฏคำว่า ready จึงอ่านค่าความเป็นกรด - ด่าง

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

1. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Total viable count เทคนิคการ pour plate (AOAC, 2005)

อุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ
2. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิด
3. ไมโครปิเปต
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
5. ตู้ปลอดเชื้อ
6. ตู้บ่มเชื้อ
7. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเชื้อจาง

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA)

เตรียมโดยชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ปริมาณ 23.5 กรัม ละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2. สารละลายสำหรับเชื้อจาง Buttlefield's phosphate buffered

2.1 การเตรียมน้ำยาสต็อก

เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 34 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N และปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเตรียม Dilution blank

เตรียมโดยปิเปตสารละลายสต็อก 1.25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วทำการปิเปตใส่หลอดทดลอง 9 มิลลิลิตร และปิดฝา หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

วิธีการ

1. ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล โดยการปิเปต 1 มิลลิลิตร ของตัวอย่าง น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล ลงในหลอดทดลองที่มี Buttlefield's phosphate buffered ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เป็นการเจือจาง 10^{-1} เท่า ถึง 10^{-3} เท่า ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ
2. ปิเปตตัวอย่างน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล 1 มิลลิลิตร ของการเจือจางที่ 10^0 เท่า ถึง 10^{-3} เท่า ลงในงานเพาะเชื้อที่ปลอดเชื้อ
3. เททับด้วยอาหาร Plate Count Agar (PCA) ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 - 20 มิลลิลิตร แล้วทำการผสมให้เข้ากัน โดยการหมุนงานเป็นวงกลมอย่างช้าๆ ทิ้งให้อาหารแข็งตัว
4. ป่มงานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในลักษณะคว่ำงานเพาะเชื้อ เป็นระยะเวลา 24 - 48 ชั่วโมง
5. ตรวจสอบจำนวนโคโลนีจากงานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30 - 300 โคโลนี และรายงานผลเป็นจำนวน Colony Forming Unit (CFU)/ml

ภาคผนวก ง

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถาม

น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

ชื่อผู้ทดสอบ วันที่ทำการทดสอบ

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนตามระดับความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

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

และกรุณาเว้นปากระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

คุณลักษณะ	รหัส		
ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่นของข้าว			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบพระคุณที่ให้ความร่วมมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
กระบวนการผลิตน้ำนมข้าวกล้องหอมนิล

นำแป้งข้าวกล้องหอมนิลมาผสมกับน้ำกรอง 500 กรัม
ใส่ในหม้อสแตนเลสและปิดฝาสนิท



วางตัวอย่างในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ
85 - 90 องศาเซลเซียส



ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นมือถือ หลังจากวางตัวอย่าง
ลงในน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นปั่นผสมทุกๆ
10 นาที เป็นเวลาตามที่กำหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับปฏิบัติงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมน้ำตาลทรายร้อยละ 5 (w/w) และสารให้ความคงตัว
พร้อมปั่นผสม



พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 5 นาที



บรรจุในขวดแก้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เย็น



น้ำนมข้าวกล้องหอมนิล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-สกุล** : นางสาวณัฐธิดา บำเพ็ญเพียร
- วัน/เดือน/ปี เกิด** : 3 มิถุนายน 2535
- ที่อยู่** : บ้านเลขที่ 144/171 ซอย 58 หมู่ 3 ถนนร่มเกล้า
แขวงคลองสองต้นนุ่น เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
10520
- E-mail** : nutthida_b@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา** : - สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์
จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2552
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556
- ศึกษาต่อปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.)
สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557 และสำเร็จการศึกษาในปี 2559
- การนำเสนอผลงาน** : ผลงานปริมาณแป้งข้าวและระยะเวลาการให้ความร้อนต่อ
คุณภาพของนํ้านมข้าวกล้องหอมนิลพาสเจอร์ไรซ์
ประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6
ในวันที่ 11 - 12 กรกฎาคม 2559 ณ ศูนย์สันสกฤตศึกษา
เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้