รายงานการวิจัย
เรื่อง

การพัฒนาเครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ
Development of Germinated Pigmented Rice drinks in bag for Health

นางสาวกันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์
ผศ.ดร. สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี
ผศ.ดร. ณัชนก นุกิจ
นางสาวนเรศ บางศิริ

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การพัฒนาเครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ
Development of Germinated Pigmented Rice drinks in bag for Health

นางสาวกันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์
ผศ.ดร. สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี
ผศ.ดร. ณัชนก นุกิจ
นางสาวนเรศ บางศิริ

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2560)

หัวข้อวิจัย	การพัฒนาเครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ
ผู้ดำเนินการวิจัย	นางสาวกันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์ ผศ.ดร. สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี
	ผศ.ดร. ณัชนก มีประถม และนางสาวนเรศ บางศิริ
ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี
หน่วยงาน	โรงเรียนการเรือน
	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2561

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ) ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุดเพื่อนำมาทำการเพาะงอก จากนั้นศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องสีเพาะงอกที่ได้ อีกทั้งยังศึกษาสภาวะการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) และสภาวะการชงดื่ม (3, 5, 7, 10 และ 15 นาที) ที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ และศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ผลการททดลองพบว่าข้าวเหนียวดำเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีคุณลักษณะเด่นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีปริมาณโปรตีน และปริมาณสาร GABA เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งยังพบว่าระยะเวลาในการคั่วที่เวลา 5 นาที จะส่งผลทำให้มีปริมาณสาร GABA คงเหลืออยู่มากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (61.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และพบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชงเป็นเวลา 3 นาที ถือเป็นสภาวะการชงดื่มที่เหมาะสมที่สุดที่จะส่งผลทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คุณสมบัติอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีปริมาณสาร GABA เท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อ 150 มิลลิลิตร (ต่อ 1 แก้ว) เมื่อทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพ พบว่าอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (ระดับคะแนนอยู่ในช่วง 6-7) และยินดีที่จะซื้อผลิตภัณฑ์มากถึงร้อยละ 77 และพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพมีอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 98 วันโดยไม่เสื่อมเสีย

Research Title	Development of Germinated Pigmented Rice drinks in bag for Health
Researcher	Miss. Kankanit Jongrattanavit, Asst. Prof. Dr. Suwanna Pichiyongvongdee, Asst. Prof. Dr. Natchanok Meeprathom and Miss Naraet Bangsiri
Organization	Food Processing Technology Program, School of Culinary Arts, Suan Dusit University Culinary Technology and Service Program, School of Culinary Arts, Suan Dusit University
Year	2018

In this research, A variety of brown rice (Rice berry, Black rice and Black sticky rice) were studied their total phenolic content, total anthocyanins content and antioxidant activity. After the brown rice was germinated, total phenolic content, total anthocyanins content, antioxidant activity and Gamma-Aminobutyric acid (GABA) were determined. The roasted and brewed time of germinated brown rice for beverage were also studied which were 0, 5, 10 and 15 min and 3, 5, 7 and 10 min, respectively. The highest level of phenols content and antioxidant activity were found in Black rice ($p \leq 0.05$). The germinated black rice at 24 hours showed significant content of protein and GABA while content of total phenolic and total anthocyanins content were decreased. The highest GABA content was obtained (61.04 mg/kg) when the black rice was roasted for 5 min. Moreover, the optimum time for brewing is 3 min which the highest total phenolic content, total anthocyanins content and antioxidant activity were observed ($p \leq 0.05$) while BAGA content was 0.17 mg/150 ml (1 serving size). The attributes of overall acceptance scores was 6 to 7 which resulted in 77 percentage of willing to buy this product. The shelf-life of this instant black rice tea was 98 days.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยจนกระทั้งเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนขอขอบพระคุณคณะผู้วิจัยที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัย ตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั้งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดการวิจัย และท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสวนดุสิต ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จได้

คณะผู้วิจัย

2561

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญภาพ	**ฌ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
ขอบเขตของระยะเวลาการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**6**
ข้าวกล้องสีหรือข้าวสี (Pigmented rice)	6
สารประกอบฟีนอลิกมีที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในข้าวกล้องสี	6
ข้าวกล้องสีเพาะงอก (Germinated pigmented rice)	9
การปฏิบัติที่ดีสาหรับการผลิตข้าวกล้องงอก	10
เครื่องดื่มบรรจุซองพร้อมชง	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
กรอบแนวคิดในการวิจัย	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**19**
วัตถุดิบ	19
สารเคมี	19
อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์	19
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์	19
วิธีการดำเนินงาน	20
การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	24
สถานที่ทำการทดลอง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	**26**
ผลการคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี	26
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีเพาะงอก	29
ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ	32
ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	**46**
สรุปผลการคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี	46
สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีเพาะงอก	46
สรุปผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ	46
สรุปผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง	48
อภิปรายผลการคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี	48
อภิปรายผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีเพาะงอก	50
อภิปรายผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ	51
อภิปรายผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง	52
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	53
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	53
บรรณานุกรม	**54**
บรรณานุกรมภาษาไทย	54
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	56
ภาคผนวก	**60**
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	61
ภาคผนวก ข โครมาโทแกรมของสาร GABA ด้วยเทคนิค HPLC	77
ภาคผนวก ค แบบสอบถาม	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ประวัติผู้วิจัย	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในข้าวเปลือกงอกหรือข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน	12
4.1	คุณภาพทางกายภาพ (ความยาว ความกว้าง น้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) ของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด	26
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด	28
4.3	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด	28
4.4	คุณภาพทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) ของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	30
4.5	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	31
4.6	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	31
4.7	ปริมาณสาร GABA ของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	32
4.8	ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h) ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	33
4.9	ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า วอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และคุณค่าสารอาหารของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	34
4.10	ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	35
4.11	ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร GABA ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	35
4.12	ค่าสี (L^*, a^*, b^*, C^* และ h°) ของเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที	37

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่มีระยะเวลา ในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที	39
4.14	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHของเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที	40
4.15	รายละเอียดข้อมูลทั่วไปและข้อมูลทางการตลาดของผู้ตอบแบบสอบถาม	41
4.16	คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่ใช้ระยะเวลาการชงดื่มเป็นเวลา 3 นาที โดยใช้วิธี 9-Point Hedonic scale	43
4.17	ค่าสี (L^*, a^*, b^*, C^* และ h°) ของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 98 วัน	44
4.18	ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 98 วัน	45
4.19	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และเชื้อแบซิลลัส ซีเรียส ในชาข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชง ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 98 วัน	46

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ขอบเขตการวิจัย	4
2.1	สารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ	7
2.2	กรอบแนวความคิดของการวิจัย	18
4.1	สีบริเวณพื้นผิวของเมล็ดในข้าวกล้องสีต่างชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ก) ข้าวสีนิล (ข)และ ข้าวเหนียวดำ (ค)	27
4.2	ข้าวเหนียวดำก่อนเพาะงอก (ก) ข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนอบแห้ง (ข) และข้าวเหนียวดำเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังอบแห้ง (ค)	29
4.3	ข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ผ่านการคั่ว 0 นาที (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที (ค) และ15 นาที (ง)	32
4.4	ซองบรรจุตัวอย่างชงดื่มจำนวน 10 กรัมต่อซอง ที่ผ่านการคั่วเป็นเวลา 5 นาที	36
4.5	ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที	38

ภาพผนวกที่

ข1	โครมาโทแกรมของสาร GABA ในข้าวเหนียวดำ (ก) และข้าวเหนียวดำเพาะงอก 24 ชั่วโมง (ข)	78
ข2	โครมาโทแกรมของสาร GABA ที่ระยะเวลาในการคั่ว 0, 5, 10 และ 15 นาที ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ก-ง ตามลำดับ)	79
ข3	โครมาโทแกรมของสาร GABA ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่ใช้ระยะเวลาการชงดื่มเป็นเวลา 3 นาที (สภาวะที่คัดเลือกได้)	80

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ข้าวถือเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตคนไทย โดยคนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมาตลอดตั้งแต่สมัยโบราณ จนกระทั่งในปัจจุบันประเทศไทยถือว่าเป็นผู้ส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลกติดต่อกันมานานมากกว่า 20 ปี และเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) ข้าวในประเทศไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ขึ้นอยู่กับแหล่งเพาะปลูก (อัสมา อับรู, 2554) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวนั้นพบคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีโปรตีน ไขมันหยาบ เถ้าหยาบ และเส้นใยหยาบเป็นองค์ประกอบรอง อีกทั้งยังพบว่าข้าวกล้องมีวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายในปริมาณที่สูงว่าข้าวขัดขาว (พีชยา จิระธรรมกิจกุล, 2541) ทั้งนี้เนื่องมาจากการขัดสีข้าวเป็นการทำให้ชั้นรำข้าวซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน ใยอาหาร น้ำมัน เกลือแร่ วิตามิน และสารพฤกษเคมีอื่นๆ ถูกกำจัดออกไป ทำให้คุณค่าทางโภชนาการส่วนใหญ่ในเมล็ดข้าวหายไป ในขณะที่ข้าวกล้องซึ่งเป็นข้าวชนิดที่ไม่ผ่านกระบวนการขัดขาวจึงยังคงคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน ซึ่งข้าวกล้องที่มีสีอาจเรียกว่าข้าวกล้องสีหรือข้าวสี โดยข้าวกล้องสีเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดในส่วนของผิวเมล็ดจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในมีสีแดง ม่วงจนถึงดำ ซึ่งอุดมไปด้วยสารสำคัญต่างๆ สะสมอยู่มาก ได้แก่ สารสำคัญในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติเด่นในการต้านออกซิเดชัน โดยจะช่วยในการป้องกันโรคต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ เช่น โรงมะเร็ง เป็นต้น (Tian *et al.,* 2004) ข้าวกล้องสีที่นิยมบริโภคในประเทศไทย ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวดำหรือข้าวลืมผัว ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวสินเหล็ก และข้าวสีนิล เป็นต้น (ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ และคณะ, 2555) ปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขของไทยส่งเสริมให้คนไทยดูแลสุขภาพด้วยการป้องกันก่อนที่จะป่วย จึงทำให้กระแสการดูแลสุขภาพของคนไทยไม่ว่าจะเป็นการออกกำลังกาย การรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพ โดยหนึ่งในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ คือข้าวกล้องสีที่มีคุณค่าทางโภชนาการอาหารสูงและเป็นที่ยอมรับเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังเช่นสำนักงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว ได้นำข้าวเหนียวลืมผัวมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชงร้อนบรรจุซองเพื่อสุขภาพที่อุดมไปด้วยสารแอนโธไซยานินและแร่ธาตุ โดยมีวิธีการรับประทานเช่นเดียวกับชาคือการแช่ซองนั้นลงในน้ำร้อนทิ้งไว้ 1-5 นาที ดื่มได้ทันทีหรืออาจเติมน้ำตาลเล็กน้อยตามชอบ เป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค และมีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากสามารถผลิตได้ตามครัวเรือนและชุมชน นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อนำข้าวกล้องสีมาผ่านกระบวนการเพาะงอกแล้วนั้นจะอุดมไปด้วยกรดแกรมมาอะมิโนบิวทิริก (Gamma aminobutyric acid: GABA) หรือสารกาบา ซึ่งมีสรรพคุณช่วยควบคุมระดับความดันโลหิต ลดความเครียด ป้องกันเส้นเลือดในสมองแตก และช่วยให้ไตทำงานได้เป็นปกติ (Tian *et al.,* 2004) อย่างไรก็ตามแม้ว่ามีงานวิจัยที่พัฒนาเครื่องดื่มที่มีลักษณะคล้ายชาที่ผลิตจากข้าวกล้องสีในรูปแบบบรรจุซองพร้อมชง หรืออยู่ในรูปแบบผงพร้อมชงที่ผลิตจากข้าวกล้องสีเพาะงอกแล้ว แต่ยังไม่พบการ

พัฒนาเครื่องดื่มบรรจุซองพร้อมชงที่ผลิตจากข้าวกล้องสีเพาะงอก ซึ่งถือเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ยังไม่เคยมีมาก่อน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มบรรจุซองพร้อมชงที่ผลิตจากข้าวกล้องสีเพาะงอกเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อุดมไปด้วยสาร GABA เพิ่มสูงขึ้น โดยคาดว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงที่ได้จะอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแอนโธไซยานินที่มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และมีปริมาณสาร GABA สูง นับว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงนี้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก สามารถรับประทานได้ทุกเพศทุกวัย อีกทั้งยังเป็นทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภคที่ใส่ใจในด้านสุขภาพ ที่สำคัญมีขั้นตอนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากและสะดวกในการบริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ) ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุดเพื่อนำมาทำการเพาะงอก

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องสีเพาะงอกที่คัดเลือกได้

1.2.3 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพและทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์

1.2.4 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

นำข้าวกล้องสี 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) องค์ประกอบทางเคมี (ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และคุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวกล้องสี) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน เพื่อคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสีเพียง 1 ชนิดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุดนำมาเพาะงอก นำข้าวกล้องสีเพาะงอกที่ได้มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) องค์ประกอบทางเคมี (ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และคุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวกล้องสี) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารสำคัญและคุณสมบัติต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องสีก่อนและหลังเพาะงอก จากนั้นนำข้าวกล้องสีเพาะงอกที่ได้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ โดยศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) เพื่อคัดเลือก

ระยะเวลาในการคั่วข้าวกล้องสีเพาะงอกที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA สูงสุดเพียง 1 ระยะเวลา เพื่อนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง อีกทั้งยังศึกษาระยะเวลา (3, 5, 7, 10 และ 15 นาที) ในการชงดื่ม (อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ชง 98 องศาเซลเซียส) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA เพื่อคัดเลือกระยะเวลาในการชงดื่มที่มีปริมาณสารสำคัญและคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุดนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 1.1)

1.4 ระยะเวลาการวิจัย

1 ปี (นับตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2560)

1.5 สมมติฐานการวิจัย

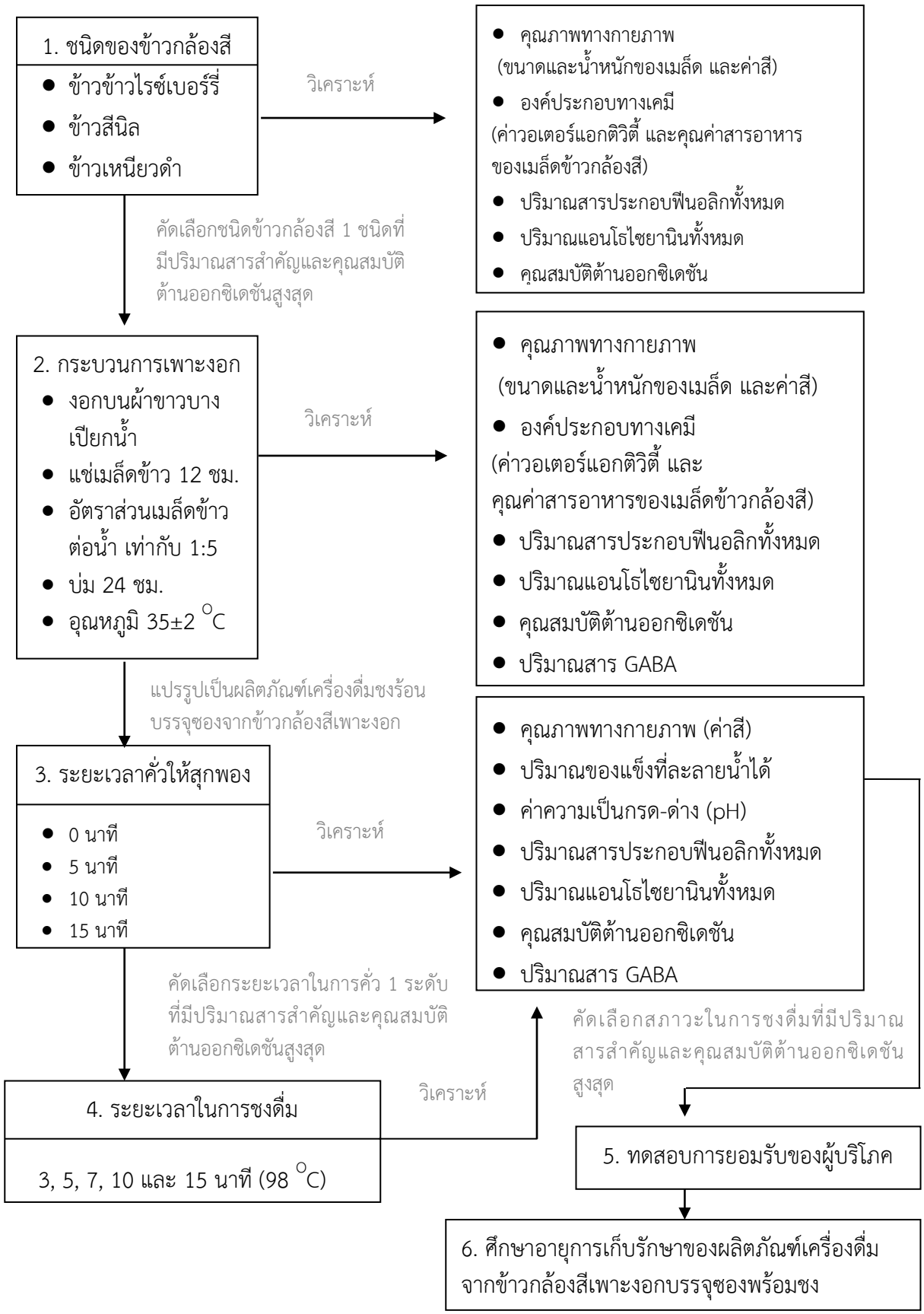
1.5.1 ชนิดของข้าวอาจมีอิทธิพลต่อคุณภาพทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) องค์ประกอบทางเคมี (ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และคุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวกล้องสี) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน

1.5.2 ข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกจะมีปริมาณสาร GABA เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) องค์ประกอบทางเคมี (ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และคุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวกล้องสี) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน

1.5.3 ระยะเวลาในการคั่วอาจมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเมล็ดข้าว ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA

1.5.4 ระยะเวลาในการชงดื่มที่แตกต่างกันอาจมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA

1.5.5 ระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาจมีอิทธิพลต่อการเสื่อมเสียคุณภาพทางคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์



ภาพที่ 1.1 ขอบเขตการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบชนิดของข้าวกล้องสี (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ) ที่มีปริมาณสารสำคัญ และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุด

1.6.2 ทราบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารสำคัญ และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องสีก่อนและหลังเพาะงอก

1.6.3 ทราบระยะเวลาที่เหมาะสมในการคั่วข้าวสีเพาะงอกให้มีปริมาณสารสำคัญ คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA สูงสุด

1.6.4 ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพให้มีปริมาณสารสำคัญ คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA สูง

1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1.7.1 เผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยในรูปแบบต่างๆ เช่น การนำเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการ หรือบทความวิจัย หรือตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในระดับชาติ

1.7.2 ถ่ายทอดข้อมูลจากการวิจัยและขั้นตอนในการผลิตให้แก่บริษัทผู้ประกอบการ ผู้ผลิตสินค้าในระดับชุมชน และผู้บริโภคที่มีความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวกล้องสีหรือข้าวสี (Pigmented rice)

สำหรับคนไทยข้าวเป็นมากกว่าอาหารหลักและแหล่งรายได้ แต่ยังเป็นรากฐานของวิถีชีวิต ความเชื่อ ประเพณี และวัฒนธรรมของชาวไทยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (อรอนงค์, 2556) ในข้าวขัดขาวพบว่าเป็นแหล่งของกรดฟีนอลิก (Phenolic acid) แต่ในขณะที่ข้าวกล้องสีพบว่าเป็นแหล่งของแอนโทไซยานินซึ่งทำให้เมล็ดข้าวมีสีแดง ม่วง จนถึงดำ (Zaupa *et al.,* 2015) อีกทั้งยังพบว่าข้าวกล้องสีมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวขัดขาว (Jiang *et al.,* 1999) ตลอดจนมีใยอาหาร วิตามิน และกรดอะมิโนที่จำเป็นสูงกว่าข้าวขัดขาว (Zhang *et al.,* 2004, 2005) ข้าวกล้องสีที่นิยมบริโภคในประเทศไทย ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวลืมผัวหรือข้าวเหนียวดำ ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวสินเหล็ก และข้าวสีนิล เป็นต้น (ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ และคณะ, 2555) โดยงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะนำข้าวกล้องสี 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวดำ และข้าวสีนิล มาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย เนื่องจากเป็นข้าวกล้องสีที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ที่สำคัญมีคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณสารสำคัญสูง

2.1.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นข้าวพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาโดยการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล (พันธุ์พ่อ) กับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์แม่) จากสถาบันวิจัยข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง (ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ และคณะ, 2555)

2.1.2 ข้าวเหนียวดำ เป็นข้าวไร่ที่เป็นข้าวเหนียวนาปีของชาวไทยภูเขาเผ่าม้ง มีสี เปลือกหุ้มเมล็ดเปลี่ยนไปตามระยะการเจริญเติบโตของเมล็ด เยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีม่วงดำ หรือที่เรียกกันว่า “ข้าวลืมผัว” หรือ “ข้าวก่ำ” ซึ่งเป็นข้าวเหนียวที่มีกลิ่นหอม รสชาติอร่อย เมื่อเคี้ยวแล้วจะรู้สึกมันและนุ่มแบบหนุบๆ (ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ และคณะ, 2555)

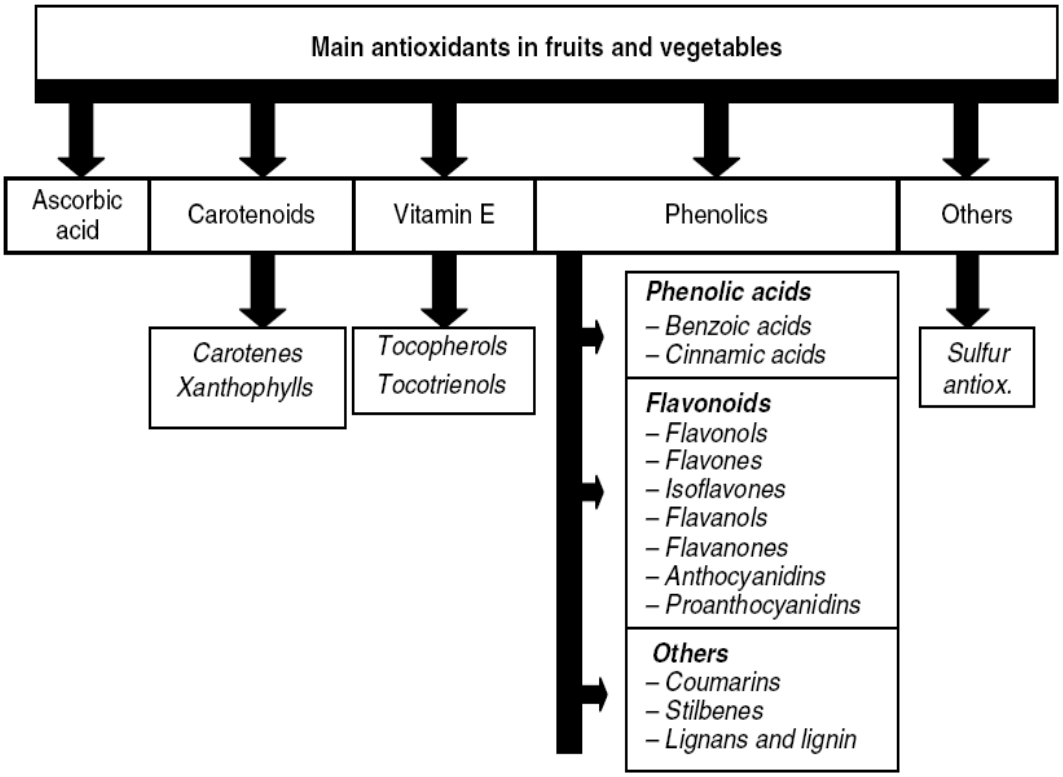
2.1.3 ข้าวสีนิล เป็นข้าวพันธุ์ลูกผสมระหว่างข้าวหอมนิลและข้าวหอมมะลิ เมื่อนำไปหุงสุกข้าวที่ได้จะมีความนุ่มและนิ่ม ลักษณะเด่นของข้าวสีนิล คือมีสีม่วงเข้มจนเกือบดำ (ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ และคณะ, 2555)

2.2 สารประกอบฟีนอลิกมีที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในข้าวกล้องสี

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบทุติยภูมิที่พืชสร้างขึ้นตามธรรมชาติ เพื่อประโยชน์ในการดำรงชีวิต เช่น การสืบพันธุ์ เป็นสารให้กลิ่น สี เป็นสารให้รสชาติ และเป็นสารป้องกันตัวเองจากสิ่งแวดล้อม โดยสารประกอบฟีนอลิกมีชนิดที่ต่างกันออกไปตามชนิดพืช โดยสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่เป็นแหล่งของสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bravo, 1998; Randhir *et al.,* 2004) เช่น ต้าน

เชื้อจุลินทรีย์ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ เป็นต้น (Parr and Bolwell, 2000) และยังมีคุณสมบัติที่ก่อให้เกิดสีและกลิ่นรสที่ในผัก ธัญชาติ และผลไม้ (Alasalvar *et al.,* 2001)

สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ที่พบในธัญพืช ธัญชาติ ผัก และผลไม้เป็นกลุ่มของกรดฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และแทนนิน แสดงดังภาพที่ 2.1 (Balasundram *et al*., 2006) โดยข้าวกล้องสีมีสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะสารสำคัญในกลุ่มของฟลาโวนอลและแอนโธไซยานิน



ภาพที่ 2.1 สารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ
ที่มา: Vicente *et al.* (2009)

สารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรืออนุมูลอิสระ หมายถึงอะตอมหรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุดที่มีระดับพลังงานสูง ซึ่งรวมถึงอะตอมของไฮโดรเจนและไอออนของโลหะทรานซิชันส่วนใหญ่ และรวมถึงโมเลกุลของออกซิเจน ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น อนุมูล $A^{\bullet}$ อนุมูล $A^{-\bullet}$ และ อนุมูล $A^{+\bullet}$ โดยอนุมูลที่มีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ คือ Reactive oxygen species (ROS) และไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ คือ Reactive nitrogen species (RNS) อนุมูลอิสระเหล่านี้ ได้แก่ อนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical, $HO^{\bullet}$) อนุมูล

ซูปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide radical, $O_2^{\bullet-}$) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide, $NO^{\bullet}$) และซิงเกลตออกซิเจน (Singlet oxygen, $^1O_2$) เป็นต้น โดยอนุมูลอิสระมีผลต่อการเกิดโรคและเป็นปัจจัยทำให้โรคมีพัฒนาการอย่างรวดเร็วและมีความรุนแรงยิ่งขึ้น โดยอนุมูลอิสระทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์และเป็นสาเหตุของการเกิดโรค คือสารชีวโมเลกุลที่สำคัญในร่างกายที่ไวต่อการถูกออกซิไดซ์ ได้แก่ โปรตีน ลิพิด และดีเอ็นเอ ซึ่งสารชีวโมเลกุลเหล่านี้มีอิเล็กตรอน หรืออะตอมไฮโดรเจนที่หลุดออกได้โดยง่าย ทำให้อนุมูลอิสระเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยเข้าไปจับคู่กับอิเล็กตรอนของสารชีวโมเลกุล หรือดึงอิเล็กตรอน หรืออะตอมไฮโดรเจนของสารชีวโมเลกุลนั้นๆ สาเหตุเหล่านี้ทำให้คุณสมบัติและการทำงานของสารชีวโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไป เกิดความบกพร่องหรือถูกทำลายเป็นสาเหตุของการเกิดโรค ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังได้ (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antiradical) ปัจจุบันคำศัพท์นี้ได้ถูกบัญญัติใหม่เป็นสารขจัดหรือกำจัดอนุมูลอิสระ (Radical scavenger) หรือสารต้านออกซิเดชัน หรือสารแอนตีออกซิแดนท์ (Antioxidant) แทน โดยสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) หมายถึงสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง หรือสารที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป สารต้านออกซิเดชันที่ดีควรมีคุณสมบัติที่ดังนี้ คือมีความเฉพาะเจาะจงสูงในการเข้าจับกับอนุมูลอิสระโดยตรง สามารถกำจัดอนุมูลให้หมดสิ้นไป สามารถทำปฏิกิริยาคีเลตกับโลหะได้ และไม่มีผลกระทบต่อการแสดงออกของยีนส์ นอกจากนั้นยังมีเกณฑ์ที่สำคัญอื่นๆ ที่ใช้บ่งชี้ความเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ดี คือความสามารถในการดูดซึมหรือส่งผ่านเข้าสู่ทั้งภายในเซลล์ ภายนอกเซลล์ และเนื้อเยื่อ ซึ่งต้องมีความเข้มข้นเพียงพอในการออกฤทธิ์ได้ (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549)

สารพฤกษเคมีที่พบในข้าวกล้องสีส่วนใหญ่เป็นสารแอนโทไซยานินส่วนใหญ่พบในรูปที่เกาะอยู่กับน้ำตาล (Glycosides) ได้แก่ Cyanidin-3-glucoside, Cyanidin-derivative, Cyanidin-3,5-diglucoside,Cyanidin-3-gentiobioside, Cyanidin-3-sambubioside, Cyanidin-3-rutinoside, Peonidin-3-glucoside และพบในรูปอะไกลโคน (Aglycone) ค่อนข้างน้อย ได้แก่ Cyanidin และ Peonidin โดยปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในข้าวกล้องสีมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว (Hao *et al.,* 2015) ซึ่งสอดคล้องกับ Chen *et al.* (2012) ที่พบว่าข้าวที่มีสีเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่สายพันธุ์จะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกัน อีกทั้งยังสอดคล้องกับ Ichikawa *et al.* (2004) ที่พบว่าสารแอนโธไซยานินที่พบในข้าวสีม่วงคือชนิด yanidin 3-O-β-D-glucoside (Cy3-Glc) ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง นอกจากนั้นยังพบสารในกลุ่มฟลาโวนอล ได้แก่ Taxifolin-*O*-hexoside, Quercetin-*3*-*O*-hexoside และ Isorhamnetin-3-*O*-hexoside และสารในกลุ่มของกรดฟีนอลิกอีกหลายชนิด (Zaupa *et al.,* 2015) ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเด่นในการต้านออกซิเดชัน โดยจะช่วยในการป้องกันโรคต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ เช่น โรงมะเร็ง เป็นต้น (Tian *et al.,* 2004) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเมล็ดข้าวสีต่างกัน ได้แก่ ข้าวที่มีสีขาว สีเขียว สีแดง และสีดำสายพันธุ์ต่างกันจะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกันออกไป โดยมีปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงสุดในเมล็ดข้าวที่มีสีดำ (79.5-

473.7 mg/100g) รองลงมาคือในกลุ่มของเมล็ดข้าวที่มีสีแดง (7.9-34.4 mg/100 g) ในขณะที่ตรวจไม่พบ แอนโธไซยานินในข้าวสีขาวและสีเขียว อีกทั้งยังพบว่าเมล็ดข้าวที่มีสีดำและแดงจะมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวสีขาวและสีเขียวเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) พบว่าในเมล็ดข้าวที่มีสีแดงจะมีคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุด (10.93-30.56 µmol Trolox/g) รองลงมาคือในกลุ่มของเมล็ดข้าวที่มีสีดำ (5.09-20.45 µmol Trolox/g) สีขาว (8.50 µmol Trolox/g) และสีเขียว (8.01 µmol Trolox/g) ตามลำดับ (Chen *et al.*, 2012)

2.3 ข้าวกล้องสีเพาะงอก (Germinated pigmented rice)

ข้าวกล้องสีเพาะงอกหมายถึงผลผลิตของข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้งอก โดยแช่ข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องสีในน้ำ เพาะจนเกิดราก มีความยาวประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปผ่านความร้อน (นึ่ง อบ หรือต้ม) และ/หรือลดความชื้นเพื่อทำให้แห้ง ซึ่งข้าวกล้องงอกเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยสารอาหาร โดยเฉพาะกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริก Gamma aminobutyric acid) หรือสารกาบา (GABA) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง (มกษ. 4003-2555, 2555) นอกจากนั้นข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกยังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน (Ti *et al.*, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พัชราภรณ์ รัตนธรรม และคณะ (2556) ที่พบว่าเมื่อนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ข้าวกล้องหอมนิล และข้าวเหนียวดำมาผ่านกระบวนการงอกจะส่งผลทำให้ข้าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และมีคุณสมบัติต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการงอกส่งผลให้เอนไซม์กลูโคซิเดสที่ถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการทางชีวเคมีภายในเมล็ดทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการสร้างสารประกอบฟีนอลิก โดยข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการงอกนาน 48 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารประกอบฟินอลิกเพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวกล้องหอมนิลและข้าวกล้องเหนียวดำ 2.5 เท่า และ 1.5 เท่าตามลำดับที่ระยะเวลาการงอกเท่ากัน ส่วนปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดของข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างแอนโธไซยานินละลายในน้ำได้ดี จึงทำให้ระหว่างกระบวนการงอกเกิดการสูญเสียปริมาณแอนโธไซยานินมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอกทั้ง 3 พันธุ์ โดยพบว่าปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อผ่านกระบวนการงอกนาน 72 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำงอกเป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบแอนโธไซยานินสูงสุด (20.67 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) อีกทั้งยังพบว่าการงอกข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บนผ้าขาวบางเปียกน้ำจะได้ข้าวกล้องงอกที่มีสาร GABA อิสระสูงกว่าการงอกโดยใช้วิธีการแช่น้ำ โดยข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลางอก 48 ชั่วโมง จะมีปริมาณ GABA อิสระสูงสุด (21.86 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลางอกนาน 84 และ 96 ชั่วโมง การงอกแบบการแช่น้ำจะได้ปริมาณ GABA อิสระสูงกว่าการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำ (จักรพงษ์ โสวะพันธ์ และคณะ, 2554) นอกจากนั้น Ti *et al.* (2014) ยังพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกนาน 30 และ 48 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (284.1 และ 283.9 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) อีกทั้งข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก 48

ชั่วโมง ยังมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (154.4 มิลลิกรัมของ catechin ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ORAC (72.7 มิลลิโมลของ Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และ FRAP สูงสุด (233.8 มิลลิกรัมของ Trolox ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) เช่นกัน

2.4 การปฏิบัติที่ดีสาหรับการผลิตข้าวกล้องงอก (มกษ. 4003-2555, 2555)

2.4.1 วัตถุดิบ

ข้าวเปลือก

(1) ข้าวเปลือกที่รับซื้อ ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 ทั้งนี้เพราะส่วนใหญ่ผู้ผลิตไม่ได้ทำการเพาะงอกในครั้งเดียวหมด ต้องเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ระยะหนึ่ง แล้วทยอยผลิตเป็นระยะ ดังนั้นการเลือกใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำจะทำให้สามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกได้นาน โดยที่เปอร์เซ็นต์ความงอกไม่ลดลงอย่างรวดเร็ว

(2) เลือกใช้เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความสมบรูณ์ ตรงตามพันธุ์ และไม่เป็นเมล็ดพันธุ์เก่าที่ผ่านการเก็บรักษาเกิน 1 ปี เพราะการใช้ข้าวเก่า จะทำให้ข้าวมีความงอกต่ำ และมีกลิ่นเหม็นสาบ

ข้าวกล้อง

ต้องผ่านการสีหยาบเพื่อเอาเปลือกออกมาไม่เกิน 2 สัปดาห์ และมีเอ็มบริโอติดอยู่ รวมทั้งเมล็ดควรมีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

2.4.2 การเพาะงอก

การเพาะข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำข้าวกล้องงอก โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

(1) เพาะให้งอกขณะแช่ในน้ำ วิธีนี้ข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องจะแช่อยู่ในน้ำจนกว่าเอ็มบริโอจะเจริญออกมายาว 0.5 มิลลิลิตร ถึง 1.0 มิลลิลิตร จึงเทน้ำออก นำข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่งอกแล้วไปทำความสะอาด และให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่น้ำต่อไป

(2) เพาะให้งอกหลังการแช่น้ำ วิธีนี้หลังจากแช่ข้าวในน้ำจนอิ่มตัวด้วยความชื้นแล้ว (ระยะเวลาขึ้นกับเทคนิคของผู้ประกอบการ ชนิดวัตถุดิบ ปริมาณข้าว ปริมาณน้ำ รวมถึงอุณหภูมิของน้ำที่ใช้) จะเทน้ำออกล้างทำความสะอาด แล้วบรรจุในภาชนะ เช่น กระสอบ หรือภาชนะอื่นที่เตรียมไว้ จากนั้นคลุมด้วยผ้า หรือกระสอบ ทิ้งไว้จนเอ็มบริโอเจริญออกมายาว 0.5 มิลลิลิตร ถึง 1.0 มิลลิลิตร จึงนำข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่งอกแล้วออกจากภาชนะบรรจุ ไปดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ต่อไป วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากกว่าวิธีแรก เพราะวิธีแรกมีโอกาสที่จะเกิดกลิ่นเหม็นเปรี้ยวได้มากกว่า

2.4.3 การเพาะข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องมีข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติดังนี้

(1) น้ำที่ใช้ทำความสะอาด แช่ หรือนึ่งข้าวเปลือกหรือข้าวกล้อง ต้องสะอาด ปลอดภัย ไม่มีสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อการบริโภค และนำไปใช้อย่างถูกสุขลักษณะ น้ำที่ใช้แล้วไม่ควรนำกลับมาใช้อีกเพราะทำให้เกิดการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่ ทำให้ข้าวมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว ทั้งนี้ควรตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำอย่างน้อยปีละครั้ง ทั้งนี้ความถี่ในการตรวจวิเคราะห์ให้ขึ้นกับคุณภาพน้ำ

(2) ต้องทำความสะอาดภาชนะที่ใช้แช่ข้าวเปลือกหรือข้าวกล้อง ทุกครั้งหลังการใช้งาน โดยกวาดเศษข้าวหรือสิ่งสกปรกที่ตกค้างในภาชนะที่ใช้แช่ออกให้หมด และล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนและการสะสมของเชื้อรา

(3) การแช่น้ำ ต้องแช่ข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องในน้ำสะอาด ระยะเวลาในการแช่จนข้าวอิ่มตัวด้วยความชื้น ขึ้นกับอุณหภูมิ ชนิดของวัตถุดิบและเทคนิคการผลิตของผู้ประกอบการ นอกจากนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการแช่ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเปรี้ยว ต้องมีการจัดการให้มีการเปลี่ยนน้ำบ่อยๆ โดยทั่วไปควรเปลี่ยนน้ำทุก 4 ชั่วโมง ถึง 6 ชั่วโมง หรือเมื่อเริ่มสังเกตเห็นฟองหรือเริ่มได้กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เช่น เหม็นเปรี้ยว

(4) ต้องล้างทำความสะอาดข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำทั้งก่อนและหลังการบ่มเพาะ กรณีข้าวกล้องควรล้างทำความสะอาด โดยการกวนเบาๆ เพื่อไม่ให้ส่วนที่เป็นจมูกข้าวหรือเอ็มบริโอหลุดออก

(5) ข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่ถูกทำให้งอกแล้ว เอ็มบริโอต้องเจริญเป็นตุ่มออกมายาวประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร กรณีที่เพาะงอกโดยการบ่มอาจใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ถึง 36 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เพื่อให้เอ็มบริโอเจริญออกมามีขนาดตามที่ต้องการ ทั้งนี้ให้หยุดบ่มทันทีเมื่อสังเกตเห็นลักษณะดังกล่าว

2.4.4 การให้ความร้อน

(1) ต้องนำข้าวเปลือกงอกและข้าวกล้องงอกไปผ่านความร้อน เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ให้ได้ตามเกณฑ์ในข้อ (2) ข้าวกล้องงอกควรผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้ นึ่ง อบ หรือ ต้ม ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและเทคนิคที่ใช้ในการผลิตกรณีผลิตจากข้าวเปลือก ให้นำข้าวเปลือกที่งอกแล้วไปผ่านความร้อนจนสังเกตเห็นเปลือกของเมล็ดข้าวบางส่วนเริ่มปริจึงหยุด อย่างไรก็ตามการให้สุกจะทำให้เมล็ดข้าวมีสีสม่ำเสมอไม่เป็นไตขาว กรณีผลิตจากข้าวกล้องไม่ต้องให้ความร้อนจนสุก โดยสังเกตเมล็ดข้าวกล้อง (ที่ผ่านการงอกแล้ว) จะต้องไม่แตกบาน

(2) ข้าวเปลือกงอกหรือข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้ข้าวมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวหรือเน่าเสียแล้ว หลังจากการลดความชื้น เมื่อนำข้าวเปลือกงอกหรือข้าวกล้องงอกไปตรวจสอบไม่ควรพบเชื้อจุลินทรีย์มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในข้าวเปลือกงอกหรือข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

ชนิด	จำนวน (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม)
จุลินทรีย์ทั้งหมด	ไม่เกิน 1×10^6
ยีสต์และรา	ไม่เกิน 500
แบซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*)	ไม่เกิน 1×10^3

ที่มา: มกษ. 4003-2555 (2555)

2.4.5 การลดความชื้น

กรณีที่ผลิตจากข้าวกล้องสามารถนำข้าวกล้องที่งอกแล้วไปลดความชื้นได้ทันที สำหรับข้าวเปลือกที่งอกแล้วหลังจากผ่านความร้อน ก่อนการลดความชื้นควรนำไปพักหรือผึ่งในที่ร่มก่อน เพื่อให้เมล็ดคลายความร้อน จากนั้นจึงนำไปลดความชื้น ทั้งนี้เพื่อให้เมล็ดที่ได้มีคุณภาพดี เมื่อสีไม่แตกหักง่ายได้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้น (Head rice) สูง

(1) การลดความชื้นโดยใช้แสงอาทิตย์ ความหนาของชั้นข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่ผ่านการทำให้งอกแล้วที่เหมาะสมในการตากไม่ควรหนาเกิน 5 เซนติเมตร และควรหมั่นเกลี่ยบ่อยๆ เพื่อให้ความชื้นในข้าวลดลงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ และไม่ควรตากนานเกินไป ระยะเวลาในการตาก ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้น ความหนาบางของชั้นข้าวขณะตาก และความถี่ในการเกลี่ย โดยทั่วไปควรหยุดตากเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 และข้าวกล้องมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 12 ในกรณีไม่สามารถลดความชื้นโดยใช้แสงอาทิตย์ได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ฝนตก ควรเตรียมสถานที่ที่มีการระบายอากาศได้ดีและมีอุปกรณ์ช่วยถ่ายเทความชื้น เช่น พัดลม ไว้เพื่อนำข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่ผ่านการทำให้งอกแล้ว มาลดความชื้นต่อ

(2) การลดความชื้นโดยการใช้เครื่องอบ ข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องที่อบลดความชื้นควรมีชั้นความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร อุณหภูมิที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 40 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 60 เวลาที่ใช้ในการอบ ขึ้นกับความชื้นตั้งต้น อุณหภูมิที่ใช้ ปริมาณ และชนิดของข้าว โดยทั่วไปควรหยุดอบเมื่อข้าวเปลือกที่ผ่านการงอกแล้วมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 และข้าวกล้องที่ผ่านการงอกแล้วมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 12 แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรลดความชื้นในอัตราที่เร็วเกินไป เพราะจะทำให้แตกหักง่ายในระหว่างการสี และได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นต่ำ

2.5.6 การสี

(1) ต้องมีระบบหรือมาตรการป้องกันและกำจัดฝุ่น ผง จากกระบวนการกะเทาะ ไม่ให้ฟุ้งกระจายในอากาศ สูงกว่าค่าที่กฎหมายกำหนด หรือให้เหลือน้อยที่สุด

(2) ตรวจสอบประสิทธิภาพ และความถูกต้องของเครื่องมือ เครื่องจักร ตามคู่มือการปฏิบัติงาน และทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการสีก่อนการใช้งาน

(3) ผู้ปฏิบัติงาน ต้องผ่านการฝึกอบรม หรือมีความชำนาญในการใช้เครื่องสีข้าว สามารถควบคุมการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

2.5.7 การบรรจุ

(1) ต้องป้องกันการปนเปื้อนจาก ฝุ่น ผง แมลง เศษโลหะ เศษแก้ว เศษพลาสติก หรือสารเคมี เช่น น้ำมันเครื่อง และจาระบีจากการซ่อมบำรุง รวมถึงแมลงและอื่นๆ ปนเปื้อนในบริเวณบรรจุ สายพานลำเลียง และเครื่องบรรจุ

(2) ภาชนะที่ใช้ต้องสะอาด ไม่ใช้ภาชนะเก่าที่เคยใช้บรรจุสารเคมีหรือวัตถุอันตรายมาก่อน ควรทำมาจากวัสดุที่ไม่เป็นอันตราย อยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน สามารถป้องกันการปนเปื้อนและป้องกันความชื้นได้ ทั้งนี้ต้องตรวจสอบ และควบคุมคุณภาพของภาชนะบรรจุอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งเก็บภาชนะที่ใช้ไว้ในที่สะอาด

(3) ทวนสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนัก รวมถึงเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ก่อนการใช้งานเป็นประจำ

(4) ควรตรวจสอบความพร้อมและความสะอาดของเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตก่อนเริ่มงาน และขณะปฏิบัติงาน นอกจากนี้ภายหลังการปฏิบัติงานประจำวัน ควรทำความสะอาดและบำรุงรักษาเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์การผลิตทุกวัน

(5) ควรบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก ในภาชนะบรรจุปิดสนิท และหากสามารถปิดผนึกภาชนะบรรจุแบบสุญญากาศได้ จะทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้นกว่าการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่ไม่ใช่สุญญากาศเมื่อเก็บรักษาในสภาพปกติ

(6) ควรแสดงฉลากตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และอย่างน้อยต้องมีข้อความระบุในเอกสารกากับสินค้า หรือฉลาก หรือแสดงที่ภาชนะบรรจุโดยข้อความต้องอ่านได้ชัดเจน ไม่หลุดลอกไม่เป็นเท็จ โดยมีรายละเอียดตามมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง ข้าวกล้องงอก

2.5.8 การเก็บรักษา

(1) สถานที่เก็บรักษาต้องสะอาดถูกสุขลักษณะ อากาศถ่ายเทได้ดี สามารถป้องกันสัตว์เลี้ยง สัตว์พาหะนำโรค แมลงศัตรูข้าว แสงแดด และน้ำได้

(2) ต้องจัดเรียงผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกอย่างเป็นระเบียบ แยกเป็นหมวดหมู่ ไม่ปะปนกัน และมีป้ายแสดงชัดเจน

(3) การจัดวางผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกในพื้นที่เก็บ ควรมีวัสดุรองพื้น ไม่วางหรือกองข้าวกล้องงอกสัมผัสกับพื้นโดยตรง ควรวางผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกในบรรจุภัณฑ์ บนฐานรอง (Pallet) โดยหลีกเลี่ยงหรือไม่ใช้ฐานรองที่ทำจากไม้ เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมของโรคและแมลงศัตรูข้าว หากไม่มีฐานรองให้วางบนวัสดุอื่นใดที่เหมาะสม ที่จะไม่ทำให้บรรจุภัณฑ์สัมผัสกับพื้นโดยตรงเพื่อป้องกันการปนเปื้อนและการได้รับความชื้นเพิ่มจากพื้น

(4) ไม่เก็บผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกรวมกับวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปุ๋ยหรือสารเคมีอื่นที่เป็นอันตรายต่อการบริโภค ให้แยกสถานที่เก็บผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก ออกจากสถานที่เก็บรักษาวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปุ๋ย หรือสารเคมีอื่น

(5) ควรเว้นช่องว่างระหว่างกอง ให้สามารถเข้าไปปฏิบัติงานหรือเดินตรวจได้อย่างทั่วถึง โดยเว้นระยะห่างจากกองผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกกับผนังกำแพงอย่างน้อย 0.5 เมตร และเว้นระยะห่างระหว่างกองผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกประมาณ 1 เมตร เพื่อการถ่ายเทอากาศ การตรวจสอบและการทำความสะอาดนอกจากนี้ไม่ควรวางซ้อนถุงบรรจุข้าวกล้องงอกสูงเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้

2.6 เครื่องดื่มบรรจุซองพร้อมชง

ในปัจจุบันมีการนำผัก ผลไม้ หรือพืชสมุนไพรพื้นบ้านชนิดต่างๆ มาใช้เป็นอาหารในลักษณะการชงดื่มเป็นเครื่องดื่มกันอย่างแพร่หลาย โดยการนำพืชสมุนไพรมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งแล้วลดขนาดให้เล็กลงโดยการตัด สับ หรือบดแล้วบรรจุซองสำหรับการแช่เพื่อชงดื่ม หรือบรรจุภาชนะอื่นเพื่อการตักชงดื่มในปริมาณตามความต้องการ การชงดื่มทำโดยการแช่ซองหรือตักผัก ผลไม้ หรือพืชสมุนไพรนั้นลงในน้ำร้อน การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในทางกฎหมายให้จัดผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 214) พ.ศ. 2543 ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงจะถูกควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับดังกล่าว ซึ่งกำหนดให้ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานดังต่อไปนี้ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547)

1. มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของเครื่องดื่มนั้น
2. ไม่มีตะกอน เว้นแต่ตะกอนอันมีตามธรรมชาติของส่วนประกอบ
3. น้ำที่ใช้ผลิตต้องเป็นน้ำที่มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท
4. ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 2.2 ต่อเครื่องดื่ม 100 มิลลิลิตร โดยวิธีเอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)
5. ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี. โคไล (*Escherichia coli*)
6. ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
7. ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
8. ไม่มียีสต์และเชื้อรา
9. ไม่มีสารปนเปื้อน เว้นแต่ดังต่อไปนี้
   9.1 สารหนู ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม ต่อเครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
   9.2 ตะกั่ว ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่อเครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
   9.3 ทองแดง ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อเครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
   9.4 สังกะสี ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อเครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
   9.5 เหล็ก ไม่เกิน 15 มิลลิกรัม ต่อเครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
   9.6 ดีบุก ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม ต่อเครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม
   9.7 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อเครื่องดื่ม 1 กิโลกรัม

10. เครื่องดื่มชนิดแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก ถ้าเป็นเครื่องดื่มชนิดแห้งที่ผลิตจากพืชหรือผัก ให้มีความชื้นได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศศิธร แท่นทอง (2551) ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตชาข้าวงอกที่มีเอนไซม์อะไมเลส โดยใช้ข้าวเปลือกเพาะให้งอกเปรียบเทียบกับข้าวกล้องเพาะงอก จากนั้นผลิตเป็นชาแล้ววิเคราะห์หาปริมาณเอนไซม์อะไมเลส และศึกษาการเก็บรักษาชาข้าวงอกที่ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษาพบว่าชาที่ผลิตขึ้นจากข้าวงอกมีเอนไซม์อะไมเลสอยู่ในช่วง 65.0-106.6 ยูนิตต่อกรัม มีความจำเพาะเอนไซม์ 1.38-2.50 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน มีสารแอนโธไซยานิน 58.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีสารต้านออกซิเดชันโดยคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์แอคติวิตี้ของสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant activity) เท่ากับ 97.91 สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3-4 เดือน ผลการทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคเมื่อตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับคุณลักษณะบรรจุภัณฑ์ (ซองลามิเนต) การบรรจุซองชา รส และสีของน้ำชา พบว่ามีระดับความชอบมาก กลิ่นของชาพบว่ามีระดับความชอบมากที่สุด ความชอบโดยรวมพบว่าชอบมาก มีข้อเสนอแนะดังนี้มีกลิ่นหอมดื่มแล้วรู้สึกผ่อนคลายดื่มก่อนนอนหลับสบาย สบายท้องหายท้องอืดควรดื่มหลังอาหารและก่อนนอนเพื่อช่วยในการย่อยอาหารและอาการอืดท้อง

สิริการ หนูสิงห์ และคณะ (2553) ได้ทำการตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตชาข้าวกล่ำเพาะงอกพร้อมชงเนื่องจากข้าวกล่ำเพาะงอกมีสารต้านออกซิเดชันซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยนำข้าวกล่ำเพาะงอกมาคั่วนาน 5 นาที และนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ (55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาต่างกัน (5, 15, 25, 35, 45 และ 60 นาที) ในอัตราส่วนระหว่างข้าวกล่ำต่อน้ำเท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้น้ำชาข้าวกล่ำมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด คืออุณหภูมิของน้ำในการชงเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที

กนกกาญจน์ ปานจันทร์ (2554) ทดลองหาสภาวะการผลิตข้าวกล้องจากข้าวเปลือกเริ่มงอกที่มีความยาวคัพภะแตกต่างกัน 3 ระดับ จากข้าวไทย 3 สายพันธุ์ คือ สุพรรณบุรี1 สินเหล็ก และ กข6 โดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะให้งอกที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 จนกว่าจะมีความยาวคัพภะ 0.5-1 มิลลิเมตร (ระยะที่ 1), 1-2 มิลลิเมตร (ระยะที่ 2) และ 2-3 มิลลิเมตร (ระยะที่ 3) พบว่าข้าวสุพรรณบุรี1 และ กข6 ใช้เวลารวมตั้งแต่การแช่ข้าวถึงการงอก 28, 32, และ 38 ชั่วโมง ส่วนข้าวสินเหล็กใช้เวลา 30, 38 และ 42 ชั่วโมง ตามลำดับ ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสาร และข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอก (4.13-19.08 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม) เนื่องจากในระหว่างการงอกของเมล็ดข้าว เอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกกระตุ้น หรือถูกสร้างขึ้นมาใหม่ เอนไซม์เหล่านี้จะย่อยองค์ประกอบทางเคมีหลักของเมล็ดข้าว เช่น สตาร์ช และโปรตีนเพื่อเป็นสารอาหารลำดับที่ 2 (secondary metabolites) เช่น GABA และสารประกอบฟีนอลิก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้น

อ่อน การเพิ่มขึ้นของปริมาณ GABA เกิดขึ้นจากเอนไซม์ Glutamate decarboxylase (GAD) ซึ่งเปลี่ยนกรดแอมิโนกลูทามิก (glutamic acid) ไปเป็น GABA โดยกระบวนการ Decarboxylation ในระหว่างการงอกของเมล็ดข้าว จึงเป็นผลให้เมื่อนำเมล็ดข้าวไปผ่านกระบวนการงอกแล้วมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น

จักรพงษ์ โสวะพันธ์ และคณะ (2554) ศึกษาผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอก โดยนำข้าวเปลือกที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมมาทำให้งอก 2 วิธี คือการงอกโดยการแช่น้ำและการงอกบนผ้าขาวบางเปียก ระยะเวลางอก 8 ช่วง ได้แก่ 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 และ 96 ชั่วโมง งอกที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส โดยใช้ข้าวกล้องที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม จากการศึกษาพบว่าการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำได้แป้งข้าวกล้องงอกที่มีน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นมากกว่าการแช่น้ำทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลางอกเพิ่มขึ้นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวของแป้งข้าวกล้องงอกของทั้ง 2 วิธีลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำได้แป้งข้าวกล้องงอกที่มีกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (GABA) อิสระสูงกว่าการงอกโดยการแช่น้ำทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ช่วงระยะเวลางอก 24-60 ชั่วโมง แต่ที่ระยะเวลางอก 96 ชั่วโมง การงอกโดยการแช่น้ำได้ GABA อิสระสูงกว่าการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วชิระ จิระรัตนรังสี และปิยะพร บุตรพรหม (2560) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแอนโธไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการยอมรับจากผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ชาใบข้าวก่ำ ผลที่ได้พบว่ากระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณความชื้นของใบชาข้าวก่ำ โดยความชื้นต่ำสุดของใบชาข้าวก่ำพบในกระบวนการคั่วที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส 5 นาที (ปริมาณความชื้นร้อยละ 2) กระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันมีผลต่อสีของทั้งใบชาข้าวก่ำและน้ำชาใบข้าวก่ำ กระบวนการแปรรูปโดยการอบและการคั่วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแอนโธไซยานินในใบชาข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบทั้งสองสภาวะที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศา-เซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.34 และ 1.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแอนโธยานินที่พบนี้มีปริมาณสูงกว่าปริมาณของแอนโธไซยานินในใบชาข้าวที่ผ่านการคั่วที่ 175 และ 250 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (ปริมาณแอนโธไซยานินเท่ากับ 0.52 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิในการแปรรูปเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ผู้ทดสอบชิมชอบน้ำชาจากใบชาข้าวก่ำที่ผ่านการแปรรูปโดยการคั่วทั้งสองสภาวะมากกว่าการแปรรูปโดยการอบทั้งสองสภาวะ

Tian *et al.* (2004) ศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องเพาะงอก พบว่าสามารถพบสาร 6'-O-Feruloylsucrose และ 6'-O-(E)-sinapoylsucrose ได้ทั้งในข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องเพาะงอกด้วยเทคนิค HPLC โดยพบสาร 6'-O-Feruloylsucrose และ 6'-O-(E)-sinapoylsucrose ในปริมาณมากในข้าวกล้อง และข้าวกล้องเพาะงอก มากกว่าในข้าว

ขาว พบสาร 6'-O-Feruloylsucrose และ 6'-O-(E)-sinapoylsucrose ปริมาณ 1.09 และ 0.41 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ตามลำดับในข้าวกล้อง ในระหว่างการงอกพบว่าสาร hydroxycinnamate sucrose esters ลดลงประมาณร้อยละ 70 ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในข้าวกล้องที่ผ่านการเพาะงอก จากงานวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการงอกที่เหมาะสมของข้าวกล้องอาจเป็นวิธีการในการปรับปรุงผลประโยชน์ต่อสุขภาพ

Konwatchara and Ahromrit (2014) ศึกษาผลของการประกอบอาหารต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวเหนียวดำเพาะงอก พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่ผ่านกระบวนการประกอบอาหารมีแนวโน้มลดลงประมาณร้อยละ 88-89 รวมถึงคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระก็ลดลงเช่นกัน กระบวนการที่มีการใช้หม้อความดันในการประกอบอาหารส่งผลให้ปริมาณ GABA แกรมมาออไรซานอล ปริมาณแอนโธไซยานิน และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณสูงกว่ากระบวนการที่ใช้เตาไมโครเวฟ ($p \leq 0.05$) รวมทั้งพบว่าการใช้หม้อความดันในการประกอบอาหารส่งผลทำให้ข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีความชุ่มชื้นและเหนียวมากกว่าการใช้เตาไมโครเวฟ

Chung *et al.* (2016) ศึกษาผลของการงอกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องสี พบว่ากระบวนการงอกส่งผลทำให้มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกมีปริมาณแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก แทนนิน กรดไฟเตต โทโคฟีรอล และโทโคไตรอีนอล มีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดกว่าเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกผลการวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการงอกของเมล็ดข้าวจะช่วยเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระและเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวที่มีสีเข้มซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในการประกอบอาหารได้

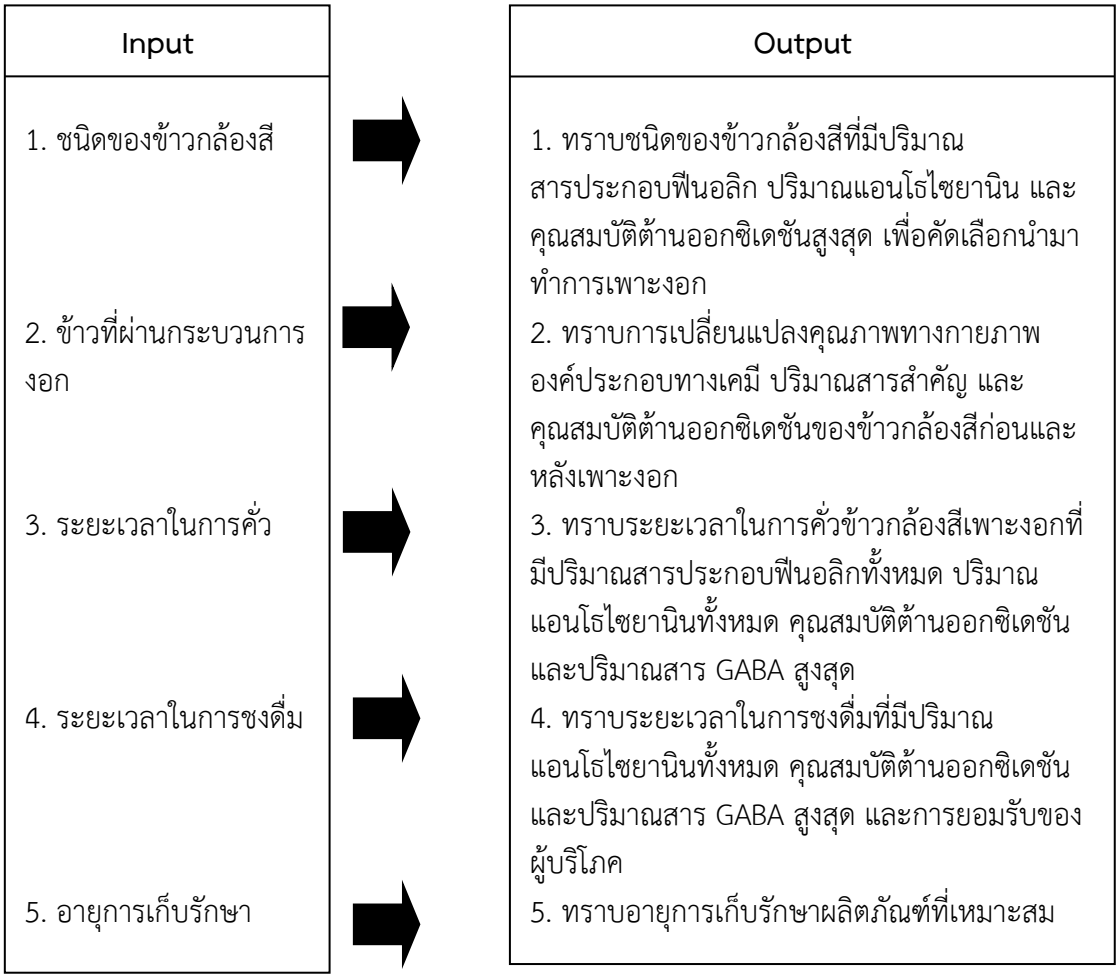
Lo *et al.* (2016) ศึกษาการให้ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ได้จากข้าวกล้องสีเพาะงอกเพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไขมันในเลือดสูงในหนูทดลอง ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ได้จากข้าวกล้องสีเพาะงอก (โดยเฉพาะข้าวในกลุ่มสีดำถึงม่วง) ที่หนูได้รับร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพในการเผาผลาญไขมันที่ดีขึ้นกว่าข้าวขาว และเป็นแหล่งของสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพในการบรรเทาความเสี่ยงของโรคไขมันในเลือด

Burillo *et al*. (2018) ศึกษาสภาวะการชงดื่มของชาขาวที่มีอุณหภูมิและเวลาในการแช่ชงชาแตกต่างกันต่อคุณสมบัติคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก และการยอมรับของผู้บริโภค ผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นานเป็นเวลา 7 นาที ส่งผลทำให้มีคุณสมบัติคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก และการยอมรับของผู้บริโภคสูงสุด

การพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีลักษณะคล้ายชาให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้นจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายและมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระแสความใส่

ใจในด้านสุขภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มคนรุ่นใหม่ การเพิ่มขึ้นของรายได้ การขยายตัวของชุมชนเมือง และที่สำคัญผู้บริโภคมีความต้องการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นเองได้ตามครัวเรือน เนื่องจากมีความมั่นใจในความปลอดภัยของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องสามารถบริโภคได้สะดวกในสถานการณ์ชีวิตประจำวันที่เร่งด่วน อีกทั้งตลาดเครื่องดื่มที่มีลักษณะคล้ายชาในประเทศไทยมีโอกาสเติบโตได้อีกมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มบรรจุซองพร้อมชงให้มีปริมาณสาร GABA สูง โดยผลิตจากข้าวกล้องสีเพาะงอกที่เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแอนโธไซยานินที่มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคในเรื่องความใส่ใจด้านสุขภาพ อีกทั้งมีวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากสามารถผลิตรับประทานได้เองตามครัวเรือน และมีวิธีการบริโภคที่สะดวกเพียงแค่เติมน้ำร้อนทิ้งไว้ประมาณ 1-5 นาที ก็สามารถรับประทานได้แล้ว

2.8 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



ภาพที่ 2.2 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ยี่ห้อมาบุญครอง

3.1.2 ข้าวสีนิล ยี่ห้อ กรีน นิช

3.1.3 ข้าวเหนียวดำ ยี่ห้อ ไร่ทิพย์

3.2 สารเคมี

3.2.1 โฟลิน-ซีโอเคาทูล (Folin-Ciocalteu reagent: Analytical grade: Sigma- Aldrich, St.Louise, U.S.A.)

3.2.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na_2CO_3: Analytical grade: Merck, Germany)

3.2.3 กรดแกลลิก (Gallic acid 97%; $(HO)_3C_6H_2CO_2H$: Analytical grade: Sigma-Aldrich, St.Louise, U.S.A.)

3.2.4 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride; KCl: Analytical grade: Merck, Germany)

3.2.5 โซเดียมอะซีเตต (Sodium acetate;$CH_3CO_2Na_3H_2O$: Analytical grade: Merck, Germany)

3.2.6 2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคริล-ไฮดราซิล (2,2-Diphenly-1-picrylhydrazyl, DPPH; $C_{18}H_{12}N_5O_6$: 90%: Sigma- Aldrich, St.Louise, U.S.A.)

3.2.7 เอทานอล (Ethanol; C2H5OH; Analytical grade: Merck, Germany)

3.2.8 โทรลอกซ์ (Trolox; C14H18O4: Sigma- Aldrich, St.Louise, U.S.A.)

3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

3.3.1 Potato Dextrose Agar (PDA) (Difco, United States)

3.3.2 Plat Count Agar (PCA) (Difco, United States)

3.3.3 Peptone water

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.4.1 เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter: ยี่ห้อ HunterLab, รุ่น MiniScan XE, U.S.A.)

3.4.2 เครื่องบดแห้งปั่นผสม (Blender)

3.3.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Balance 4 decimals: ยี่ห้อ Sartorius, รุ่น ED224S, Germany)

3.3.4 เครื่องเหวี่ยงแยกแบบปรับอุณหภูมิ (Refrigerated Centrifugal: ยี่ห้อ Thermo fisher, รุ่น Sorvall RC 6-Plus, Thermo Scientific, Germany)

3.3.5 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยระบบคลื่นเสียง (Ultrasonics: ยี่ห้อ CREST Ultrasonic, รุ่น CP 360T, Malaysia)

3.3.6 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer: รุ่น T60 U, PG instrument, England)

3.3.7 เครื่องหมุนเหวี่ยง (รุ่น U-320R, BOECO, Germany)

3.3.8 ปิเปตอัตโนมัติ (Autopipette: ยี่ห้อ Gilson, France)

3.3.9 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer: ยี่ห้อ Vortex-2 Genie, รุ่น G-560 E, U.S.A.)

3.3.10 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper: ยี่ห้อ Mitutoyo, รุ่น 530-104 (150 mm x 0.05 mm/6"), Japan)

3.3.11 ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส (Deep Freezer: ยี่ห้อ Haier รุ่น DW-40L262, China)

3.3.12 ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมซ (Sieve: ยี่ห้อ Endecotts, England)

3.3.13 ตัวกรองชนิด Nylon ขนาด 0.45 ไมโครเมตร (Nylon syringe filters 0.45 μm: ยี่ห้อ Water, U.S.A.)

3.3.14 ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (Aluminum can, China)

3.3.15 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) (Sprint Novasina TH-500, Switzerland)

3.3.16 ตู้อบลมไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (Hot air oven: ยี่ห้อ Memmert, Germany)

3.3.17 โถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้นบรรจุอยู่ (Vacuum desiccator: ยี่ห้อ Glassco laboratory, England)

3.3.18 เครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมหัวปั่นขนาดเล็ก (Homogenizer: รุ่น T10 basic Uitra-turrax, IKA® Staufen, Germany)

3.3.19 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography: HPLC-DAD: ยี่ห้อ Waters, Mailford, MA, U.S.A.)

3.3.20 ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator: ยี่ห้อ Memmert รุ่น BE 600, Germany)

3.3.21 อุปกรณ์เครื่องแก้วมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์

3.5 วิธีการดำเนินงาน

1. คัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี

โดยนำข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) องค์ประกอบทางเคมี (ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และคุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวกล้องสี) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

1.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1.1 ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดข้าวกล้องสี

สุ่มวัดขนาดโดยวัดความกว้างและความยาวต่อเมล็ดของเมล็ดข้าวกล้องสี จำนวน 100 กรัม โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ และทำการวัดน้ำหนักต่อเมล็ดโดยการชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

1.2 ค่าสี

สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องสีจำนวน 100 กรัม ใส่ลงบนภาชนะใส แล้ววัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter lab โดยวัดค่า L^* a^* b^* C^* (Chroma) และ h° (Hue angle) ในระบบ CIELAB ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง ในแต่ละซ้ำสุ่มวัดค่าสีตำแหน่งต่างๆ 10 ตำแหน่ง

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1.2.1 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)

สุ่มเมล็ดข้าวกล้องสีที่ผ่านบดละเอียดนำมาวัดค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

1.2.2 คุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวสี (Proximate analysis)

โดยนำเมล็ดข้าวกล้องสีมาบดด้วยเครื่องปั่นแห้ง จากนั้นนำผงข้าวกล้องสีที่ได้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (2000) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

1.3 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

เตรียมผงข้าวกล้องสีโดยนำเมล็ดข้าวกล้องสีมาบดด้วยเครื่องปั่นแห้ง จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช สุ่มตัวอย่างนำมาตรวจวัดปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) บรรจุผงข้าวกล้องสีที่ได้ลงในซองอลูมิเนียม ปิดผนึกให้สนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อรอทำการสกัดต่อไป

1.3.1 สกัดสารสำคัญจากผงข้าวกล้องสีดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2000) และ Rodriguez-Saona and Wrolstad (2005) โดยนำตัวอย่างผงข้าวกล้องสีจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เติมสารละลายเมทานอลที่มีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 1 ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน หล่อเย็นด้วยน้ำแข็ง นาน 2 นาที จากนั้นนำไปสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อ

แยกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แยกส่วนใสใส่ขวดปรับปริมาตร นำส่วนกากที่เหลือไปสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชาและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1.3.2 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic contents) ใช้วิธี Folin Ciocalteu reagent method ดัดแปลงจากวิธีของ Maizura *et al.* (2011) ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานและรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

1.3.3 วิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin contents) ใช้วิธี pH-differential method ดัดแปลงจากวิธีของ Giusti and Wrolstad (2005) รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

1.3.4 วิเคราะห์คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ใช้วิธีของ Du *et al*. (2009) โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐานและใช้ 2,2-Diphenly-1-picrylhydrazyl (DPPH) เป็นสารอนุมูลอิสระ รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของ Trolox ต่อตัวอย่าง 1 กรัมน้ำหนักแห้ง

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีเพาะงอก

โดยคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสีที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุดมาเพียง 1 ชนิด เพื่อนำมาทำการเพาะงอก โดยมีรายละเอียดดังนี้ ใช้วิธีเพาะงอกที่ดัดแปลงจาก Charoenthaikij *et al*. (2009) จักรพงษ์ โสวะพันธ์ และคณะ (2554) และพัชราภรณ์ รัตนธรรม และคณะ (2556) โดยนำข้าวกล้องสีมาคัดเลือกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออก ล้างด้วยน้ำกรองให้สะอาด แช่สารละลาย sodium hypochlorite ความเข้มข้นร้อยละ 0.07 เป็นเวลา 30 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกรอง จากนั้นนำไปงอกด้วยสภาวะที่ทำการศึกษาดังนี้ คือใช้วิธีการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำ แช่เมล็ดข้าวในน้ำกรองอัตราส่วน 1 ต่อ 5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส จากนั้นเทน้ำที่ใช้แช่ทิ้ง ล้างด้วยน้ำให้สะอาด แล้วนำเมล็ดข้าวมางอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำที่วางบนตะแกรงแสตนเลส ซึ่งมีถาดอลูมิเนียมที่บรรจุน้ำสะอาด 700 มิลลิลิตร อยู่ด้านล่าง และให้ปลายผ้าจุ่มอยู่ในน้ำ เกลี่ยเมล็ดข้าวให้ทั่ว และคลุมทับด้วยผ้าขาวบางเปียกน้ำอีกที เก็บไว้ในตู้บ่มซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 35±2 องศาเซลเซียส และเริ่มนับเวลาต่อเป็น 24 ชั่วโมง จนครบระยะเวลาตามที่กำหนด (ทำการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 6 ชั่วโมง) ทำให้แห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนแห้ง (ความชื้นจะต่ำกว่าร้อยละ 10) จากนั้นสุ่มตัวอย่างนำมาตรวจวัดปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) บรรจุผงข้าวเพาะงอกที่ได้ลงในซองอลูมิเนียม ปิดผนึกให้สนิท และเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดขนาดของเมล็ดข้าว สีและค่าสี องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และตรวจวัดคุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวสี (Proximate analysis) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวข้างต้น ในขณะที่การวิเคราะห์ปริมาณสาร GABA จะใช้เทคนิค HPLC ตามวิธีของ Cáceres *et al.* (2014)

3. พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ

3.1 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการคั่วต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสาร GABA

นำข้าวกล้องสีเพาะงอกที่ได้มาศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการคั่ว โดยดัดแปลงวิธีการคั่วจากสิริการ หนูสิงห์ และคณะ (2557) โดยใช้อุณหภูมิในการคั่ว 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องคั่วไฟฟ้า (ยี่ห้อTefal รุ่น FZ 7072 และ รุ่น AL 8000) เป็นเวลาที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 5, 10 และ 15 นาที จนเมล็ดข้าวสุกพองและมีกลิ่นหอม จากนั้นนำข้าวคั่วที่ระยะเวลาต่างๆ มาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสาร GABA เช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวข้างต้น โดยคัดเลือกระยะเวลาในการคั่วที่เหมาะสมเพียง 1 ระยะเวลาที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสาร GABA สูงสุด เพื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

3.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการชงดื่มต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสาร GABA

เตรียมเครื่องดื่มข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองและอุณหภูมิของน้ำชงดัดแปลงจากสิริการ หนูสิงห์ และคณะ (2557) และ Burillo *et al*. (2018) โดยการนำข้าวกล้องสีเพาะงอกที่ผ่านการคั่วตามระยะเวลาที่คัดเลือกได้บรรจุลงซอง บรรจุตัวอย่างลงในซองชงดื่มจำนวน 10 กรัมต่อซอง ชงกับน้ำดื่มปริมาตร 150 มิลลิลิตร น้ำที่ใช้ชงมีอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส และแช่เป็นเวลาแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที (คนทุกๆ 3 นาที) ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเครื่องดื่มที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวข้างต้น โดยคัดเลือกระยะเวลาในการชงดื่มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้าน

อนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHสูงสุด 1 สภาวะเพื่อนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคและปริมาณสาร GABA ต่อไป

3.3 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ

นำเครื่องดื่มตามสภาวะในการชงดื่มที่คัดเลือกได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ประเมินที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน ทำการประเมินด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ในระดับคะแนนความชอบ 1-9 (9: ชอบมากที่สุด; 8: ชอบมาก; 7: ชอบปานกลาง; 6: ชอบเล็กน้อย; 5: บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ; 4: ไม่ชอบเล็กน้อย; 3: ไม่ชอบปานกลาง; 2: ไม่ชอบมาก; 1: ไม่ชอบมากที่สุด)

4. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

นำซองข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุในซองอลูมิเนียมปิดผนึกให้สนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (35 องศาเซลเซียส) ทำการสุ่มทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 98 วัน นำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสี องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) วิเคราะห์คุณภาพทางเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ปริมาณยีสต์และรา และปริมาณเชื้อแบซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) ตามวิธีของ BAM online (2001)

3.6 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน โดยใช้ t-test for independent samples วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows

3.7 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องแปรรูปอาหาร ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางเคมีอาหาร จุลชีววิทยาทางอาหาร ห้องทดสอบทางประสาทสัมผัส ของหลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี

4.1.1 คุณภาพทางกายภาพ

เมื่อพิจารณาความยาว ความกว้าง และน้ำหนักของเมล็ดของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ พบว่าชนิดของข้าวกล้องสีมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาว ความกว้าง และน้ำหนักของเมล็ด (น้ำหนักต่อ 20 เมล็ด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าชนิดของข้าวกล้องสีแต่ละชนิดมีความกว้าง ความยาว และน้ำหนักของเมล็ดที่แตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวเหนียวดำมีความยาว ความกว้าง และน้ำหนักของเมล็ดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวสีนิล มีความยาว ความกว้าง และน้ำหนักของเมล็ดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพ (ความยาว ความกว้าง น้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) ของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด

คุณภาพทางกายภาพ	ชนิดข้าวกล้องสี		
	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	ข้าวสีนิล	ข้าวเหนียวดำ
ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด			
ความยาว (เซนติเมตร)	$0.66^{b} \pm 0.00$	$0.66^{b} \pm 0.00$	$0.77^{a} \pm 0.00$
ความกว้าง (เซนติเมตร)	$0.15^{b} \pm 0.00$	$0.15^{b} \pm 0.00$	$0.29^{a} \pm 0.01$
น้ำหนักต่อ 20 เมล็ด (กรัม)	$0.35^{b} \pm 0.01$	$0.35^{b} \pm 0.04$	$0.57^{a} \pm 0.00$
ค่าสี			
L*	$23.55^{ab} \pm 0.48$	$23.46^{b} \pm 0.02$	$25.31^{a} \pm 0.91$
a* ^{ns}	4.02 ± 0.09	4.12 ± 0.10	4.04 ± 0.01
b* ^{ns}	5.06 ± 0.31	5.00 ± 0.09	5.41 ± 0.21
C* ^{ns}	6.54 ± 0.57	6.57 ± 0.06	7.06 ± 0.79
h° ^{ns}	52.52 ± 0.66	52.16 ± 0.05	53.27 ± 0.17

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)
ตัวอักษร a - b หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h̊) ของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าชนิดของข้าวกล้องสีมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ชนิดของข้าวกล้องสีไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี a*, b*, C* และ h̊ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ มีสีบริเวณพื้นผิวของเมล็ดใกล้เคียงกัน คือมีสีม่วงเข้มจนถึงดำซึ่งสอดคล้องกับสีที่ปรากฏบริเวณพื้นผิวของเมล็ดที่มีสีแตกต่างกันออกไป แสดงดังภาพที่ 4.1

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.1 สีบริเวณพื้นผิวของเมล็ดในข้าวกล้องสีต่างชนิด (ก) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ข) ข้าวสีนิล และ (ค) ข้าวเหนียวดำ

4.1.2 องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่มีปริมาณไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยพบว่าข้าวเหนียวดำเป็นแหล่งของโปรตีนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำมีปริมาณไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยพบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และ

คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ใกล้เคียงกันซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด

องค์ประกอบทางเคมี	ชนิดข้าวกล้องสี		
	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	**ข้าวสีนิล**	**ข้าวเหนียวดำ**
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)	$0.53^{a} \pm 0.00$	$0.44^{c} \pm 0.00$	$0.51^{b} \pm 0.01$
ความชื้น (ร้อยละ)	$11.63^{a} \pm 0.26$	$10.08^{b} \pm 0.07$	$10.83^{ab} \pm 0.44$
ไขมัน^{ns} (ร้อยละ)	3.13 ± 0.40	3.13 ± 0.16	3.09 ± 0.26
โปรตีน (ร้อยละ)	$16.40^{b} \pm 0.15$	$16.43^{b} \pm 0.12$	$17.32^{a} \pm 0.06$
เถ้า^{ns} (ร้อยละ)	1.39 ± 0.01	1.61 ± 0.26	1.35 ± 0.06
เส้นใยหยาบ^{ns} (ร้อยละ)	2.57 ± 0.09	2.43 ± 0.07	2.55 ± 0.05
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	$64.89^{b} \pm 0.09$	$66.31^{a} \pm 0.01$	$64.86^{b} \pm 0.53$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)
ตัวอักษร a - c หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)
ตัวอักษร ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด

ชนิดข้าวกล้องสี	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด	คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	$2.93^{b} \pm 0.06$	$0.01^{b} \pm 0.00$	$114.95^{b} \pm 3.87$
ข้าวสีนิล	$2.23^{b} \pm 0.02$	$0.01^{b} \pm 0.00$	$112.69^{b} \pm 3.00$
ข้าวเหนียวดำ	$6.66^{a} \pm 0.79$	$0.23^{a} \pm 0.07$	$118.33^{a} \pm 3.95$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)
ตัวอักษร a - b หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง
ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง
คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีหน่วยเป็นไมโครโมลสมมูลของ Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีเพาะงอก

จากผลการทดลองในข้อ 4.1 จึงทำการคัดเลือกข้าวเหนียวดำที่อุดมไปด้วยโปรตีน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHมาทำการเพาะงอกที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 4.2 โดยวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดขนาดของเมล็ดข้าวสี และค่าสี องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และตรวจวัดคุณค่าสารอาหารของเมล็ดข้าวสี (Proximate analysis) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสาร GABA เปรียบเทียบกับข้าวเหนียวดำก่อนเพาะงอก

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.2 ข้าวเหนียวดำก่อนเพาะงอก (ก) ข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนอบแห้ง (ข) และข้าวเหนียวดำเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังอบแห้ง (ค)

4.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการเพาะงอกที่เวลา 24 ชั่วโมงส่งผลทำให้ความยาวของเมล็ด ค่าสี L^*, a^*, b^* และ C^* มีความแตกต่างกันกับก่อนเพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในขณะการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่มีอิทธิพลที่ต่อการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเมล็ด น้ำหนักของเมล็ด ค่าสีมุมของสี (h°) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.4 เมื่อนำข้าวเหนียวดำมาทำการเพาะงอกที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีผลทำให้ความยาวของเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) อีกทั้งยังพบว่าค่าความสว่างของสี (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความสดใสของสี (C^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เช่นกัน

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพ (ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และค่าสี) ของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

คุณภาพทางกายภาพ	ข้าวเหนียวดำ	
	ก่อนเพาะงอก	หลังเพาะงอก
ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด		
ความยาว (มิลลิเมตร)$^{(*)}$	0.77 ± 0.00	0.73 ± 0.01
ความกว้าง (มิลลิเมตร)^{ns}	0.29 ± 0.01	0.26 ± 0.01
น้ำหนักต่อ 20 เมล็ด^{ns}	0.57 ± 0.00	0.57 ± 0.01
ค่าสี		
L*$^{(*)}$	25.31 ± 0.91	21.07 ± 0.39
a*$^{(*)}$	4.04 ± 0.01	2.77 ± 0.06
b*$^{(*)}$	5.41 ± 0.21	3.51 ± 0.15
C*$^{(*)}$	7.06 ± 0.79	4.60 ± 0.08
h°^{ns}	53.27 ± 0.17	51.47 ± 1.92

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)
เครื่องหมาย $^{(*)}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการเพาะงอกส่งผลทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ความชื้น โปรตีน เถ้า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และปริมาณสาร GABA มีความแตกต่างกันกับก่อนเพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่มีอิทธิพลที่ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน เส้นใยหยาบ คาร์โบไฮเดรต และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.5-4.7

โดยพบว่ากระบวนการงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลทำให้ข้าวเหนียวดำมีปริมาณโปรตีน คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสาร GABA มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณเถ้า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลง

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

องค์ประกอบทางเคมี	**ข้าวเหนียวดำ**	
	ก่อนเพาะงอก	**หลังเพาะงอก**
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)$^{(*)}$	0.51 ± 0.01	0.66 ± 0.04
ความชื้น$^{(*)}$ **(ร้อยละ)**	10.83 ± 0.44	12.49 ± 0.18
ไขมัน^{ns} **(ร้อยละ)**	3.09 ± 0.26	3.31 ± 0.03
โปรตีน$^{(*)}$ **(ร้อยละ)**	17.32 ± 0.06	17.84 ± 0.13
เถ้า$^{(*)}$ **(ร้อยละ)**	1.35 ± 0.06	1.07 ± 0.01
เส้นใยหยาบ^{ns} **(ร้อยละ)**	2.55 ± 0.05	2.34 ± 0.22
คาร์โบไฮเดรต^{ns} **(ร้อยละ)**	64.86 ± 0.53	65.30 ± 0.34

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)

เครื่องหมาย (*) หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ข้าวเหนียวดำ	**ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด**$^{(*)}$	**ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด**$^{(*)}$	**คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH**^{ns}
ก่อนเพาะงอก	6.66 ± 0.79	0.23 ± 0.07	118.33 ± 3.95
หลังเพาะงอก	1.48 ± 0.10	0.04 ± 0.01	124.65 ± 0.78

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)

เครื่องหมาย (*) หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ปริมาณแอนโธไซยานิน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีหน่วยเป็นไมโครโมลสมมูลของ Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสาร GABA ของข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ข้าวเหนียวดำ	ปริมาณสาร GABA (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)(*)
ก่อนงอก	12.40 ± 0.22
หลังงอก 24 ชั่วโมง	99.01 ± 2.05

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)
เครื่องหมาย (*) หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
แสดงโครมาโทแกรมของสาร GABA ภาพผนวกที่ ข1

4.3 ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ

4.3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการคั่วต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสาร GABA

นำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการคั่วที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดกลิ่นหอมที่ระยะเวลาในการคั่วแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10 และ 15 นาที แสดงดังภาพที่ 4.3 จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) คุณค่าสารอาหาร (Proximate analysis) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHทและปริมาณสาร GABA

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4.3 ข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ผ่านการคั่ว 0 นาที (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที (ค) และ 15 นาที (ง)

ผลของระยะเวลาในการคั่วต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h°) พบว่าระยะเวลาในการคั่วมีอิทธิพบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h°) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยพบว่าที่ระยะเวลาในการคั่วที่เวลา 10 และ 15 นาที ส่งผลทำให้เมล็ดข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีค่าความสว่างของสี (L^*) ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม (ไม่ได้ผ่านคั่ว) ในขณะที่ใช้ระยะเวลาในการคั่วเป็นเวลา 5 นาที ส่งผลทำให้ค่าความสว่างของสี (L^*) ทึบที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดง (a^*) พบว่าระยะเวลาในการคั่วที่เวลา 5 นาที ส่งผลทำให้เมล็ดข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการคั่วมากขึ้นเมล็ดข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีแนวโน้มมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความสดใสของสี (C^*) พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการคั่วมากขึ้นเมล็ดข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีแนวโน้มมีค่าความสดใสของสี (C^*) เพิ่มมาขึ้น โดยมีค่าค่าความสดใสของสี (C^*) สูงสุดเมื่อคั่วที่เวลา 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาค่ามุมของสีซึ่งเป็นสีที่ตามองเห็นอยู่ในช่วง 0-90 องศา ซึ่งมีเฉดสีแดงถึงสีเหลือง โดยระยะเวลาในการคั่วที่เวลา 15 นาที ส่งผลทำให้เมล็ดข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีเฉดสีเหลืองมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนส่งผลทำให้เมล็ดข้าวสุก ซึ่งสอดคล้องกับสีที่ปรากฏจริงดังภาพที่ 4.3 ที่พบว่าเมล็ดของข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีสีแดงถึงสีเหลืองภายหลังจากการคั่ว

ตารางที่ 4.8 ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h°) ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ค่าสี	ระยะเวลาการคั่ว (นาที)			
	0	5	10	15
L*	$21.07^{a} \pm 0.39$	$15.49^{b} \pm 0.21$	$20.73^{a} \pm 0.75$	$21.11^{a} \pm 0.87$
a*	$2.77^{b} \pm 0.06$	$3.27^{a} \pm 0.34$	$1.63^{c} \pm 0.10$	$1.21^{c} \pm 0.05$
b*	$3.51^{b} \pm 0.15$	$4.30^{a} \pm 0.06$	$4.72^{a} \pm 0.52$	$4.92^{a} \pm 0.01$
C*	$4.60^{d} \pm 0.08$	$5.41^{c} \pm 0.17$	$7.00^{b} \pm 0.13$	$8.25^{a} \pm 0.13$
h°	$51.47^{d} \pm 1.92$	$67.93^{c} \pm 0.86$	$71.62^{b} \pm 0.69$	$78.61^{a} \pm 0.79$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)

ตัวอักษร a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการคั่วต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และคุณค่าสารอาหาร พบว่าระยะเวลาในการคั่วมีอิทธิพบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ความชื้น โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ระยะเวลาในการคั่วไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน และเส้นใยหยาบอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.9 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาใน

การคั่วเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ความชื้น และโปรตีน ของเมล็ดข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เถ้า และคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และคุณค่าสารอาหารของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

คุณค่าสารอาหาร (ร้อยละ)	ระยะเวลาการคั่ว (นาที)			
	0	5	10	15
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)	$0.66^{a} \pm 0.04$	$0.23^{b} \pm 0.02$	$0.14^{c} \pm 0.03$	$0.08^{d} \pm 0.00$
ความชื้น (ร้อยละ)	$12.49^{a} \pm 0.18$	$4.59^{b} \pm 0.20$	$3.63^{c} \pm 0.04$	$2.06^{d} \pm 0.05$
ไขมัน^{ns} (ร้อยละ)	3.31 ± 0.03	3.33 ± 0.26	3.66 ± 0.24	3.51 ± 0.12
โปรตีน (ร้อยละ)	$17.84^{a} \pm 0.13$	$16.55^{b} \pm 0.09$	$16.54^{b} \pm 0.02$	$16.47^{b} \pm 0.05$
เถ้า (ร้อยละ)	$1.07^{b} \pm 0.01$	$1.11^{b} \pm 0.01$	$1.12^{b} \pm 0.04$	$1.19^{a} \pm 0.01$
เส้นใยหยาบ^{ns} (ร้อยละ)	2.34 ± 0.22	2.20 ± 0.10	2.40 ± 0.13	2.47 ± 0.02
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	$65.30^{c} \pm 0.34$	$72.22^{b} \pm 0.28$	$72.66^{b} \pm 0.05$	$74.29^{a} \pm 0.11$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)

ตัวอักษร a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการคั่วต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHแสดงดังตารางที่ 4.10 และปริมาณสาร GABA แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าระยะเวลาในการคั่วไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะระยะเวลาในการคั่วมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร GABA ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด และปริมาณสาร GABA มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการคั่วที่นานขึ้น โดยการคั่วที่ระยะเวลา 5 มีปริมาณสาร GABA (61.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) คงเหลืออยู่มากว่าการคั่วที่ระยะเวลา 10 นาที (60.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 15 นาที (40.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในขณะที่เมื่อพิจารณาคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าการคั่วที่ระยะเวลา 5 จะมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด

ตารางที่ 4.10 ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ระยะเวลาการคั่ว (นาที)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด^{ns}	ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด^{ns}	คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH^{ns}
0	1.48 ± 0.10	0.04 ± 0.01	124.65 ± 0.78
5	1.39 ± 0.04	0.01 ± 0.00	127.59 ± 1.63
10	1.48 ± 0.01	0.01 ± 0.00	126.31 ± 0.27
15	1.38 ± 0.04	0.01 ± 0.00	124.31 ± 1.32

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)

ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ปริมาณแอนโธไซยานิน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีหน่วยเป็นไมโครโมลสมมูลของ Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.11 ผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร GABA ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ระยะเวลาการคั่ว (นาที)	ปริมาณสาร GABA (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0	99.01^{a} ± 2.05
5	61.04^{b} ± 2.87
10	60.76^{b} ± 2.04
15	40.42^{c} ± 0.28

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)

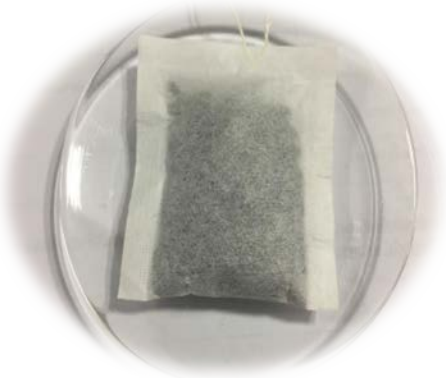
ตัวอักษร a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

แสดงโครมาโทแกรมของสาร GABA ภาพผนวกที่ ข2

4.3.2 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการชงดื่มต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHและปริมาณสาร GABA

จากผลการทดลองในข้อ 4.3.1 ผู้วิจัยจึงทำการเลือกการคั่วที่ระยะเวลา 5 นาที เพื่อนำไปศึกษาเวลาในการชงดื่มที่เหมาะสมในข้อ 4.3.2 เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการคั่วที่สั้นที่สุดและยังคงมีปริมาณสาร GABA มากรองลงมาจากตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านกระบวนการคั่ว) โดยนำข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่ผ่านการคั่วอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที มาทำการบรรจุลงซองชงดื่มจำนวน 10 กรัมต่อซอง แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ซองบรรจุตัวอย่างชงดื่มจำนวน 10 กรัมต่อซอง ที่ผ่านการคั่วเป็นเวลา 5 นาที

นำข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุลงในซองชงดื่มจำนวน 10 กรัมต่อซอง ชงกับน้ำดื่มปริมาตร 150 มิลลิลิตร น้ำที่ใช้ชงมีอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส และแช่เป็นเวลาแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที (คนทุกๆ 3 นาที) ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำน้ำของเครื่องดื่มที่ได้มาวิเคราะห์ค่าสี (L^*, a^*, b^*, c^* และ h°) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHแสดงผลการทดลองดังนี้

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.12 พบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชง (3, 5, 7, 10 และ 15 นาที) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L* และ h°) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (a*, C* และ b*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ค่าสี (L^*, a^*, b^*, C^* และ h°) ของเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที

ค่าสี	ระยะเวลาในการแช่ซองชง (นาที)				
	3	5	7	10	15
L*	$42.17^{b} \pm 0.09$	$42.35^{b} \pm 0.50$	$44.79^{a} \pm 0.37$	$44.87^{a} \pm 0.49$	$40.29^{c} \pm 0.60$
a*^{ns}	0.67 ± 0.02	0.83 ± 0.14	0.82 ± 0.16	0.87 ± 0.09	0.46 ± 0.01
b*^{ns}	-1.45 ± 0.28	-1.33 ± 0.03	-1.36 ± 0.09	-1.33 ± 0.07	-2.22 ± 0.30
C*^{ns}	1.77 ± 0.07	1.58 ± 0.04	1.58 ± 0.25	2.29 ± 0.30	1.34 ± 0.11
h°	$292.72^{bc} \pm 3.70$	$299.32^{b} \pm 3.70$	$306.07^{ab} \pm 1.21$	$314.41^{a} \pm 11.21$	$281.43^{c} \pm 2.21$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)
ตัวอักษร a-c ที่ หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

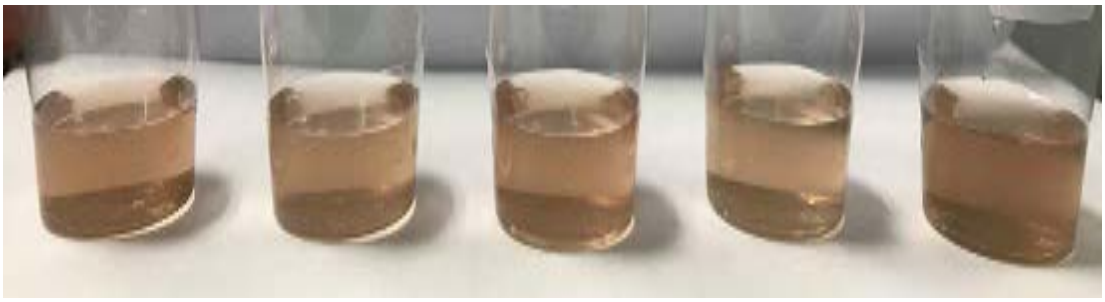
เมื่อพิจารณาค่า L* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงค่าความสว่างของสี พบว่าการแช่ซองชงที่เวลา 7 และ 10 นาที ส่งผลทำให้เครื่องดื่มมีค่าความสว่างของสูงสุด รองลงมาคือการแช่ซองชงที่เวลา 3 และ 5 นาที ในขณะที่แช่ซองชงที่เวลา 15 นาที ส่งผลเครื่องดื่มมีความทึบมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่า a* พบว่าเครื่องดื่มที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกันมีค่า a* เป็นบวก (+) แสดงให้เห็นได้ว่าเครื่องดื่มคล้ายชามีค่าความเป็นสีแดง โดยพบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที มีค่าความเป็นสีแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า b* พบว่าเครื่องดื่มที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกันมีค่า b* เป็นลบ (-) แสดงให้เห็นได้ว่าเครื่องดื่มคล้ายชามีค่าความเป็นสีน้ำเงิน โดยพบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที มีค่าความเป็นสีน้ำเงินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า C* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงค่าความสดใสของสี พบว่าการแช่ซองชงที่เวลา 15 นาที ส่งผลเครื่องดื่มมีความทึบมากที่สุด ในขณะที่แช่ซองชงที่เวลา 10 นาที ส่งผลเครื่องดื่มคล้ายชามีเนื้อสีสดใสมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่า h° ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงค่ามุมของสีซึ่งเป็นสีที่ตามองเห็น โดยอยู่ในช่วง 270 - 360° ซึ่งมีเฉดสีน้ำเงิน–สีแดง ซึ่งสอดคล้องกับสีที่ปรากฏจริงดังภาพที่ 4.5 ที่พบว่าเครื่องดื่มมีน้ำตาลแดงถึงม่วง



3 5 7 10 15

(นาที)

ภาพที่ 4.5 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที

จากตารางที่ 4.13 พบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชง (3, 5, 7, 10 และ 15 นาที) ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ระยะเวลาในการแช่ซองชงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาพบว่าเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 1 Brix° และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่มีระยะเวลา ในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที

ระยะเวลาในการแช่ซองชง (นาที)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix°)^{ns}	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
3	<1 ± 0.00	6.28^{c} ± 0.01
5	<1 ± 0.00	6.38^{b} ± 0.05
7	<1 ± 0.45	6.29^{c} ± 0.02
10	<1 ± 0.00	6.45^{b} ± 0.01
15	<1 ± 0.00	6.55^{a} ± 0.05

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)
ตัวอักษร a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร^{ns} หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.14 พบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชง (3, 5, 7, 10 และ 15 นาที) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการแช่ซองชงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าการแช่ซองชงที่เวลา 3 นาที ทำให้เครื่องดื่มมีปริมาณสารสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการแช่ซองชงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด พบว่าการแช่ซองชงที่เวลา 3 และ 5 นาที จะทำให้เครื่องดื่มมีปริมาณปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ การแช่ซองชงที่เวลา 15, 10 และ 7 นาที ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าการแช่ซองชงที่เวลา 3 และ 5 นาที จะทำให้เครื่องดื่มมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การแช่ซองชงที่เวลา 7, 10 และ 15 นาที มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อีกทั้งยังพบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชงที่นานขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มลดลง

ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวการแช่ซองชงที่เวลา 3 นาที เป็นสภาวะการชงดื่มที่เหมาะสมที่สุดที่จะส่งผลทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งยังเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการชงดื่มของเครื่องดื่มที่มีลักษณะคล้ายชาโดยตอบสนองต่อความเร่งรีบใน

การดำเนินชีวิตยุคปัจจุบัน และเมื่อนำเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงนาน 3 นาที ไปตรวจสอบปริมาณสาร GABA พบว่าเครื่องดื่มดังกล่าวอุดมไปด้วยสาร GABA ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 0.17 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อ 150 มิลลิลิตร (ต่อ 1 แก้ว) แสดงโครมาโทแกรมของสาร GABA ในภาพผนวกที่ ข3

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่มีระยะเวลาในการแช่ซองชงแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3, 5, 7, 10 และ 15 นาที

ระยะเวลาในการแช่ซองชง (นาที)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด	คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH
3	$4.36^{a} \pm 0.31$	$0.07^{a} \pm 0.01$	$803.16^{a} \pm 9.54$
5	$3.64^{bc} \pm 0.11$	$0.07^{a} \pm 0.01$	$780.88^{a} \pm 12.29$
7	$3.29^{c} \pm 0.19$	$0.04^{c} \pm 0.00$	$708.95^{b} \pm 20.4$
10	$3.51^{c} \pm 0.06$	$0.04^{bc} \pm 0.01$	$715.79^{b} \pm 37.4$
15	$4.07^{ab} \pm 0.12$	$0.05^{b} \pm 0.01$	$662.63^{b} \pm 7.45$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 2)
ตัวอักษร a – c หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 150 มิลลิลิตร (ต่อ 1 แก้ว)
ปริมาณแอนโธไซยานิน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 150 มิลลิลิตร (ต่อ 1 แก้ว)
คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHมีหน่วยเป็นไมโครโมลสมมูลของ Trolox ต่อ 150 มิลลิลิตร (ต่อ 1 แก้ว)

4.3.3 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ

นำเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพตามสภาวะในการชงที่คัดเลือกได้ (แช่ซองชงที่เวลา 3 นาที) โดยใช้ผู้ประเมินที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลทั่วไปและข้อมูลทางการตลาดของผู้ตอบแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4.15 และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-Point Hedonic Scale ทำการประเมินด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมแสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดข้อมูลทั่วไปและข้อมูลทางการตลาดของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถาม	ร้อยละ
เพศ	
- หญิง	80
- ชาย	20
อายุ	
- น้อยกว่า 18 ปี	10
- 18-30 ปี	50
- 31-45 ปี	26
- มากกว่า 45 ปี	14
อาชีพ	
- นักเรียน / นักศึกษา	57
- รับราชการ	14
- รัฐวิสาหกิจ	15
- เจ้าของกิจการ	13
- ผู้บริการหน่วยธุรกิจ	1
- พนักงานหน่วยธุรกิจ	0
- อื่นๆ	0

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=100)

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดข้อมูลทั่วไปและข้อมูลทางการตลาดของผู้ตอบแบบสอบถาม (ต่อ)

ผู้ทดสอบ	ร้อยละ
ซื้อเครื่องดื่มคล้อยชาบ่อยหรือไม่	
- มากกว่า 1 ครั้ง	28
- สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	48
- เดือนละ 1-2 ครั้ง	20
- มากกว่า 3 เดือนครั้ง	3
- อื่นๆ	1
ปริมาณการซื้อต่อครั้ง	
- มาก	27
- ปานกลาง	50
- น้อย	23
ซื้อเนื่องในโอกาสใด	
- ซื้อเพื่อบริโภคเอง	44
- ซื้อเพื่อเป็นของฝาก	44
- ซื้อเพื่อจำหน่าย	12
สถานที่ซื้อสินค้า	
- ตลาด	14
- ร้านสะดวกซื้อ 7-11	60
- ห้างสรรพสินค้า	16
- ร้านขายของฝาก	8
- ผู้ผลิตโดยตรง	2
- อื่นๆ	0
ยินดีที่จะซื้อเครื่องดื่มจากข้าวเหนียวดำเพาะงอก บรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพหรือไม่	
- ยินดีที่จะซื้อ	77
- ไม่ยินดีที่จะซื้อ	23

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=100)

ตารางที่ 4.16 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่ใช้ระยะเวลาการชงดื่มเป็นเวลา 3 นาที โดยใช้วิธี 9-Point Hedonic scale

การทดสอบทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ (ค่าเฉลี่ย)
ลักษณะปรากฏ	6.95 ± 0.64
สี	6.83 ± 0.67
กลิ่น	6.95 ± 0.63
รสชาติ	6.89 ± 0.47
ความชอบโดยรวม	6.84 ± 0.65

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=100)

จากตารางที่ 4.15 พบว่าผู้บริโภคยินดีที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพมากถึงร้อยละ 77 โดยต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ตามสถานที่ที่สามารถเลือกซื้อได้ง่ายและสะดวก เช่น ร้านสะดวกซื้อ 7-11 มากถึงร้อยละ 60 และจากตารางที่ 4.16 พบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ชาข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่ใช้ระยะเวลาการชงดื่มเป็นเวลา 3 นาที ในทุกด้านมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับ 6-7 คะแนน แสดงให้เห็นได้ว่าผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

4.4 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

โดยนำซองชงข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุลงในซองอลูมิเนียมปิดผนึกให้สนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 98 วัน นำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสี องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และวิเคราะห์คุณภาพทางเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ปริมาณยีสต์และรา และปริมาณเชื้อแบซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) แสดงดังตารางที่ 4.17-4.19

จากตารางที่ 4.17 เมื่อพิจารณาค่าสี (L^*, a^*, b^*, C^* และ h°) ของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 98 วัน พบว่าอายุการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่อายุการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^*, b^*, C^* และ h° อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยพบว่าแนวโน้มส่วนใหญ่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน (b^*) จะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 63 และ 63-70 วันตามลำดับ ในขณะที่ค่าความสดใสของสี (C*) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น แสดงให้เห็นได้ว่าข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บ

รักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน มีแนวโน้มมีสีทึบมากขึ้น และพบว่าค่ามุมของสี (h°) ในช่วงอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 98 วัน อยู่ในช่วง 270 - 360° ซึ่งมีเฉดสีน้ำเงินถึงสีแดง ซึ่งสอดคล้องกับสีของเมล็ดข้าวที่มีแดงออกม่วง

ตารางที่ 4.17 ค่าสี (L^*, a^*, b^*, C^* และ h°) ของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน

วันที่	ค่าสี				
	$L^{*\,ns}$	a*	b*	C*	h°
0	39.15 ± 0.51	0.61^{bc} ± 0.07	-3.04^{fg} ± 0.17	3.07^{a} ± 0.17	281.26^{de} ± 1.38
7	39.36 ± 0.37	0.42^{e} ± 0.11	-2.82^{e} ± 0.07	3.15^{a} ± 0.13	278.47^{ef} ± 2.28
14	39.23 ± 0.31	0.65^{b} ± 0.17	-2.56^{bc} ± 0.14	3.15^{a} ± 0.13	284.44^{c} ± 4.40
21	39.44 ± 0.70	0.49^{de} ± 0.11	-2.90^{ef} ± 016	2.86^{bc} ± 0.06	279.58^{e} ± 2.25
28	38.81 ± 0.24	0.41^{e} ± 0.07	-2.76^{de} ± 0.10	2.65^{de} ± 0.10	278.56^{ef} ± 1.54
35	38.71 ± 0.37	0.30^{f} ± 0.15	-2.74^{de} ± 0.14	2.92^{b} ± 0.12	276.33^{f} ± 3.06
42	39.03 ± 0.26	0.53^{cde} ± 0.08	-2.65^{cd} ± 0.12	2.77^{cd} ± 0.07	292.40^{a} ± 1.08
49	38.38 ± 0.29	0.52^{cde} ± 0.18	-3.10^{g} ± 0.14	2.77^{cd} ± 0.14	279.64^{e} ± 3.47
56	38.33 ± 0.40	0.60^{bcd} ± 0.13	-2.65^{cd} ± 0.12	2.70^{de} ± 0.11	282.82^{cd} ± 2.58
63	40.21 ± 0.98	1.08^{a} ± 0.09	-2.12^{a} ± 0.38	2.72^{de} ± 0.12	276.52^{f} ± 3.79
70	39.42 ± 0.83	0.67^{b} ± 0.06	-2.09^{a} ± 0.17	2.53^{f} ± 0.20	285.09^{bc} ± 1.66
77	39.11 ± 0.36	0.69^{b} ± 0.08	-2.49^{bc} ± 0.12	2.58^{ef} ± 0.11	276.42^{f} ± 3.68
84	39.04 ± 0.45	0.58^{bcd} ± 0.08	-2.62^{cd} ± 0.17	2.62^{ef} ± 0.10	283.47^{cd} ± 2.37
91	38.38 ± 0.29	0.52^{cde} ± 0.18	-2.45^{b} ± 0.18	2.52^{f} ± 0.17	279.70^{e} ± 3.56
98	38.88 ± 0.54	0.67^{b} ± 0.55	-3.10^{g} ± 0.14	2.30^{g} ± 0.25	287.57^{b} ± 3.24

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)
ตัวอักษร a-g หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน

วันที่	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	ปริมาณความชื้น
0	$0.28^{g} \pm 0.10$	$5.54^{e} \pm 0.75$
7	$0.31^{f} \pm 0.01$	$6.18^{de} \pm 0.06$
14	$0.32^{ef} \pm 0.01$	$6.23^{de} \pm 0.31$
21	$0.34^{def} \pm 0.00$	$6.40^{cde} \pm 0.29$
28	$0.34^{def} \pm 0.00$	$6.45^{cde} \pm 0.12$
35	$0.34^{def} \pm 0.01$	$6.48^{cde} \pm 0.17$
42	$0.35^{cd} \pm 0.01$	$6.52^{cde} \pm 0.07$
49	$0.35^{cd} \pm 0.03$	$6.53^{cde} \pm 0.06$
56	$0.37^{abc} \pm 0.02$	$6.82^{bcd} \pm 0.70$
63	$0.37^{abc} \pm 0.02$	$6.95^{bcd} \pm 0.53$
70	$0.37^{abc} \pm 0.01$	$7.01^{abcd} \pm 0.57$
77	$0.37^{abc} \pm 0.02$	$7.30^{abc} \pm 0.02$
84	$0.38^{ab} \pm 0.02$	$7.30^{abc} \pm 0.48$
91	$0.40^{a} \pm 0.04$	$7.67^{ab} \pm 0.35$
98	$0.40^{a} \pm 0.02$	$7.92^{a} \pm 0.73$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)
ตัวอักษร a-g หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.18 เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และความชื้นของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน พบว่าอายุการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 91-98 วัน ในขณะที่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 98 วัน

ตารางที่ 4.19 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และเชื้อแบซิลลัส ซีเรียส ในข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน

วันที่เก็บรักษา	ชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำการวิเคราะห์		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ยีสต์และรา (CFU/g)	แบซิลลัส ซีเรียส (CFU/g)
0	$2.0x10^5$	<10	$2.0x10^2$
7	$2.6x10^5$	<10	$3.0x10^2$
14	$2.7x10^5$	<10	$1.0x10^2$
21	$2.5x10^5$	<10	$2.2x10^2$
28	$2.8x10^5$	<10	$1.8x10^2$
35	$3.8x10^5$	<10	$1.5x10^2$
42	$3.2x10^5$	<10	$1.8x10^2$
49	$4.0x10^5$	<10	$2.4x10^2$
56	$2.9x10^5$	<10	$1.8x10^2$
63	$3.2x10^5$	<10	$1.2x10^2$
70	$4.5x10^5$	<10	$2.2x10^2$
77	$3.7x10^5$	<10	$3.0x10^2$
84	$6.0x10^5$	<10	$1.7x10^2$
91	$3.0x10^5$	<10	$1.5x10^2$
98	$4.2x10^5$	<10	$3.4x10^2$

หมายเหตุ: Colony forming unit (CFU) เป็นหน่วยที่ได้จากวิธีการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณา จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และเชื้อแบซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) จากตารางที่ 4.19 ในข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) อยู่ในช่วง $2.0 - 6.0 \times 10^5$ CFU/g ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g (ไม่พบการเจริญของเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง) และเชื้อ *B. cereus* อยู่ในช่วง $1.0 - 3.4 \times 10^2$ CFU/g

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี

ข้าวเหนียวดำเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาคือข้าวสีนิลและข้าวไรซ์เบอร์รี่

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีเพาะงอก

ข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลทำให้ข้าวเหนียวดำมีลักษณะเด่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณโปรตีน และปริมาณสาร GABA เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และพบว่าข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

5.1.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ

ระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h̊) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ความชื้น โปรตีน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และปริมาณสาร GABA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในขณะที่ระยะเวลาในการคั่วไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน เส้นใยหยาบ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPHอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อีกทั้งยังพบว่าระยะเวลาในการคั่วที่ 5 นาที จะส่งผลทำให้มีปริมาณสาร GABA คงเหลืออยู่มากที่สุด (61.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สภาวะในการชงดื่มของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพ (3, 5, 7, 10 และ 15 นาที) ที่ระยะเวลาในการแช่ซองชงเป็นเวลา 3 นาที ถือเป็นสภาวะการชงดื่มที่เหมาะสมที่สุดที่จะส่งผลทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) อีกทั้งยังพบว่าอุดมไปด้วยสาร GABA เท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อ 150 มิลลิลิตร (ต่อ 1 แก้ว) และพบว่าผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (ระดับคะแนนอยู่ในช่วง 6-7) และยินดีที่จะซื้อสินค้ามากถึงร้อยละ 77

5.1.4 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพมีอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 98 วันโดยไม่เสื่อมเสีย ซึ่งมีปริมาณความชื้น จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และเชื้อแบซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มกษ.4404-2555 กำหนด แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยในการบริโภคผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 การคัดเลือกชนิดของข้าวกล้องสี

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ เมื่อพิจารณาของขนาดเมล็ดข้าวซึ่งมีความสำคัญในการแบ่งคุณภาพของข้าวกล้องไทย จากการทดลองพบว่าข้าวเหนียวดำมีขนาดความยาว ความกว้าง และน้ำหนักต่อ 20 เมล็ดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิลมีขนาดความยาว ความกว้าง และน้ำหนักต่อ 20 เมล็ด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะของพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลทำให้ข้าวแต่ละชนิดมีขนาด รูปร่าง และสี ที่แตกต่างกันออกไป (นวลอนงค์ นัยวิกุล, 2556) โดยพบว่าข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะรูปร่างของเมล็ดยาวเรียว ซึ่งเป็นข้าวที่มีคุณภาพดี เมื่อจำแนกข้าวตามปริมาณของแป้งในเมล็ดพบว่าข้าวเหนียวดำเป็นข้าวชนิดข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำ ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิลเป็นข้าวชนิดข้าวเจ้าซึ่งมีปริมาณแอมิโลสสูง จึงอาจส่งผลทำให้ข้าวเหนียวดำมีขนาดที่แตกต่างไปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิล เมื่อพิจารณาถึงสีบริเวณพื้นผิวของเมล็ด พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ มีสีบริเวณพื้นผิวของเมล็ดใกล้เคียงกัน คือมีสีม่วงเข้มจนถึงดำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวทั้ง 3 ชนิดเป็นข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการขัดสี จึงยังคงมีเยื่อหุ้มผลที่ส่งผลทำให้ข้าวกล้องมีสีที่แตกต่างกันออกไป เช่น สีน้ำตาล สีน้ำตาลแดง สีน้ำตาลอ่อน สีม่วง เป็นต้น ซึ่งอุดมไปด้วยสารประกอบแอนโธไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วงถึงดำ (นวลอนงค์ นัยวิกุล, 2556)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) (ปริมาณน้ำอิสระ) และปริมาณความชื้นของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าข้าวแต่ละชนิดมีปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิดนี้มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 และมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 14 (ร้อยละ 10.08-11.63) ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4004-2560 เรื่องข้าวไทยซึ่งจัดอยู่ในประเภทอาหารแห้ง สอดคล้องกับผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ (2555) ที่พบว่าข้าว 9 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ ข้าวหอมกัญญา ข้าวหอมนิล ข้าวสังข์หยด ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเล้าแตก ข้าวสินเหล็ก และข้าวหอมอุบลมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ

12.11-14.83 โดยมักจะมีการเสื่อมเสียได้ยาก เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณมากเป็นที่สองรองจากคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสอดคล้องกับนวลอนงค์ นัยวิกุล (2556) ที่กล่าวว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมีปริมาณมากรองจากคาร์โบไฮเดรตหรือสตาร์ช (นวลอนงค์ นัยวิกุล, 2556) โดยข้าวเหนียวดำเป็นแหล่งของโปรตีนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ (2555) ที่พบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมกัญญา ข้าวหอมนิล ข้าวสังข์หยด ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเล้าแตก ข้าวสินเหล็ก และข้าวหอมอุบล อีกทั้งยังพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิลมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งในข้าวกล้องที่มีเยื้อหุ้มเมล็ดสีเข้มจะอุดมไปด้วยโปรตีนและกรดอะมิโนที่สำคัญ คือ ไลซีน (Lysine) ซึ่งสูงกว่าข้าวขาว (จรัญจิต เพ็งรัตน์ และสุวัฒน์ เจียระคงมั่น, 2552) อย่างไรก็ตามอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่ผลต่อองค์ประกอบทางแคมีของข้าวโดยเฉพาะปริมาณโปรตีนในข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะต่างๆ ขณะที่ข้าวเจริญเติบโตมีผลต่อการสร้างโปรตีนในข้าว นอกจากนี้ระยะเวลาในการปลูก สภาพอากาศ ฤดูกาล เป็นต้น จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนในข้าวอีกด้วย (นวลอนงค์ นัยวิกุล, 2556) ในขณะที่ข้าวสีนิลเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของข้าวกล้องสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าข้าวเหนียวดำเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวเหนียวดำเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิก และแอนโธไซยานินในปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิล ทำให้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าข้าวชนิดอื่นๆ และพบว่าข้าวเหนียวดำอุดมไปด้วยสารแกรมม่า-โอไรซานอล จึงได้มีการนำคุณสมบัตินี้มาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ (จรัญจิต เพ็งรัตน์ และสุวัฒน์ เจียระคงมั่น, 2552) อีกทั้งยังพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยสอดคล้องกับนวลอนงค์ เสมสังข์ และคณะ (2559) ที่พบว่าสารสกัดจากกลุ่มของข้าวเหนียวดำมีปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS มากกว่าข้าวสีนิล และข้าวไรซ์เบอร์รี่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิล เท่ากับ 2.27 และ 2.99 เท่า ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณแอนโธไซยานินมากกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิลเท่ากับ 23 เท่า และพบว่าข้าวเหนียวดำมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสีนิลเท่ากับ 1.05 และ 1.02 เท่า ตามลำดับ สอดคล้องกับ จรัญจิต เพ็งรัตน์ และสุวัฒน์ เจียระคงมั่น (2552) ที่กล่าวว่าเมล็ดข้าวกล้องสีดำและสีแดงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยที่ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดข้าวร่วมด้วย อีกทั้งยังสอดคล้องกับ Shen *et al*. (2009) ที่กล่าวว่าโดยส่วนใหญ่แล้วในธัญพืชที่มีสีมักพบสารประกอบฟลาโวนอยด์ ได้แก่ cyanidin-3-D-β-glucoside และ peonidin-3-D-β-glucoside ซึ่งข้าวกลุ่มที่มีสีดำถึงแดงจะมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกที่เป็น

องค์ประกอบในปริมาณที่มากกว่าข้าวขาวหรือข้าวที่ไม่มีสี และสอดคล้องกับสำราญ พิมราช และคณะ (2558) ที่กล่าวว่าข้าวต่างสายพันธุ์กันจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณแอมิโลส แอมิโลเพกติน เป็นต้น ดังนั้นจึงมีผลทำให้ปริมาณคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสีเพาะงอก

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดข้าวเหนียวดำก่อนและหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลทำให้ข้าวเหนียวดำมีลักษณะเด่นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีปริมาณโปรตีน และปริมาณสาร GABA เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะสาร GABA ที่เพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 8 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการงอกของเมล็ดข้าว เอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกกระตุ้น หรือถูกสร้างขึ้นมาใหม่ เอนไซม์เหล่านี้จะย่อยองค์ประกอบทางเคมีหลักของเมล็ดข้าว เช่น สตาร์ช และโปรตีนเพื่อเป็นสารอาหารลำดับที่ 2 (Secondary metabolites) เช่น GABA และสารประกอบฟีนอลิกเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน การเพิ่มขึ้นของปริมาณ GABA เกิดขึ้นจากเอนไซม์ Glutamate decarboxylase (GAD) ซึ่งเปลี่ยนกรดแอมิโนกลูทามิก (Glutamic acid) ไปเป็นสาร GABA โดยกระบวนการ Decarboxylation ในระหว่างการงอกของเมล็ดข้าว จึงเป็นผลให้เมื่อนำเมล็ดข้าวไปผ่านกระบวนการงอกแล้วจะมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น (กนกกาญจน์ ปานจันทร์, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับ Ohtsubo *et al.* (2005) ที่รายงานว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกส่งผลทำให้มีใยอาหารรวม กรดเฟอร์รูริกรวม และ GABA สูงกว่าข้าวกล้องทั่วไปและข้าวขัดสี และสอดคล้องกับ Maeda *et al.* (2007) และ Komatsuzaki *et al.* (2007) ที่รายงานว่าข้างกล้องงอกมีปริมาณ GABA มากกว่าข้าวกล้องปกติ 2 ถึง 7 เท่า โดยการสังเคราะห์ GABA เป็นกรดอะมิโนที่พืชสังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง และกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดในสมองเป็นต้น และพบว่าข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างแอนโธไซยานินละลายในน้ำได้ดี จึงทำให้ระหว่างกระบวนการงอกเกิดการสูญเสียปริมาณแอนโธไซยานินในขั้นตอนการแช่น้ำ ส่งผลต่อเนื่องทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาร GABA ที่เพิ่มสูงขึ้นภายหลังจากการงอกซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สอดคล้องกับสำราญ พิมราช และคณะ (2558) ที่กล่าวว่าเมล็ดข้าวที่ผ่านการงอกมีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น

5.2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการคั่ว (0, 5, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าระยะเวลาในการคั่วไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการคั่วที่นานขึ้นสอดคล้องกับวชิระ จิระรัตนรังสี และปิยะพร บุตรพรหม (2560) ที่พบว่าการใช้ความร้อนที่สูงที่ระยะเวลานานของกระบวนในการอบและการคั่วมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณแอนโธไซยานินลดลง โดยความร้อนอาจทำให้สารประกอบฟีนอลิกและแอนโธไซยานินเกิดการออกซิเดชันและสลายตัว เมื่อพิจารณาปริมาณสาร GABA พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการคั่วมากขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณสาร GABA มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการคั่วที่ระยะเวลา 5 มีปริมาณสาร GABA (61.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) คงเหลืออยู่มากกว่าการคั่วที่ระยะเวลา 10 นาที (60.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 15 นาที (40.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สอดคล้องกับอินทาวุธ สรรพวรสถิตย์ และคณะ (2557) ที่พบว่าวิธีการในการแปรรูปและความร้อนมีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณสาร GABA และอรัญญา พรหมกูล และคณะ (2557) ที่พบว่าความร้อนในการนึ่งและระยะเวลาการนึ่งที่นาน ส่งผลทำให้ปริมาณสาร GABA ในข้าวฮางหอมนิลและข้าวเหนียวดำลดลง

เมื่อพิจารณาผลของเวลาที่เหมาะสมในการชงดื่ม (3, 5, 7, 10 และ 15 นาที) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าระยะเวลาในการแช่ซองชงที่นานขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสลายตัวของสารสำคัญเมื่อแช่อยู่ในน้ำร้อนเป็นระยะเวลานาน โดยพบว่าการแช่ซองชงที่เวลา 3 นาที เป็นสภาวะการชงดื่มที่เหมาะสมที่สุดที่จะส่งผลทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมทั้งหมด (4.36 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 150 มิลลิลิตร: ต่อ 1 แก้ว) ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 150 มิลลิลิตร: ต่อ 1 แก้ว) และคุณสมบัติอนุมูลอิสระ DPPH (ไมโครโมลสมมูลของ Trolox ต่อ 150 มิลลิลิตร: ต่อ 1 แก้ว) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับวชิระ จิระรัตนรังสี และปิยะพร บุตรพรหม (2560) ที่พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการแปรรูปอาหารสูงขึ้นที่ระยะเวลานานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับ Braud *et al.* (2015) ที่พบว่าการแช่ซองชงชาเป็นเวลา 5-7 นาที จะส่งผลทำให้เครื่องดื่มมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการแช่ซองชงเป็นเวลา 15 และ 30 นาที แต่ขัดแย้งกับ Burilloa *et al.* (2018) ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่ซองชงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้น้ำชาจากใบชาขาวมีปริมาณสารสำคัญ เช่น Gallic acid, Epicatechin, Epicatechin gallate, Epigallocatechin และ Epigallocatechin gallate

เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังพบว่ามีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามการแช่ซองชงเป็นระยะเวลานานมีผลต่อรสชาติของชาคือมีรสขมและฝาดเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองดังกล่าวการแช่ซองชงที่เวลา 3 นาที เป็นสภาวะการชงดื่มที่เหมาะสมที่สุดในการชงดื่ม จากนั้นได้ทำการนำเครื่องดื่มข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพมาชงดื่มเป็นเวลา 3 นาที (ข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุลงในซองชงดื่มจำนวน 10 กรัมต่อซอง ชงกับน้ำดื่มปริมาตร 150 มิลลิลิตร น้ำที่ใช้ชงมีอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส) แล้วนำตัวอย่างไปตรวจปริมาณสาร GABA พบว่ามีปริมาณสาร GABA เท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อ 150 มิลลิลิตร (หรือต่อการบริโภคเครื่องดื่ม 1 แก้ว) โดยจันทรพร ทองเอกแก้ว (2558) แนะนำว่าการบริโภคอาหารที่มีปริมาณสาร GABA จะส่งผลดีต่อสุขภาพ โดยสาร GABA เป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้งในระบบประสาทส่วนกลาง จึงเป็นผลทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและลดความกังวลทำให้นอนหลับสบาย และสามารถรักษาโรควิตกกังวล อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นต่อมไร้ท่อซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโตและเกิดการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังพบว่าสาร GABA ยังช่วยลดความดันโลหิต ลด LDL (low density lipoprotein) ลดอาการอัลไซเมอร์ และยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวได้อีกด้วย

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ พบว่าผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (ระดับคะแนนอยู่ในช่วง 6-7) และยินดีที่จะซื้อสินค้ามากถึงร้อยละ 77

5.2.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และความชื้นของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน พบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) (อยู่ในช่วง 0.28-0.40) และปริมาณความชื้น (อยู่ในช่วง 5.54-7.92) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการส่งผ่านความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์กับบรรยากาศในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ของข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษายังคงอยู่ในช่วงที่ทำให้อาหารมีการเสื่อมเสียยาก และเมื่อนำปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4404-2555 ซึ่งได้กำหนดให้ข้าวกล้องที่ผ่านการเพาะงอกแล้วต้องลดความชื้นให้เหลือไม่เกินร้อยละ 12 ดังนี้นความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 98 วัน ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กำหนด

เมื่อพิจารณาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และเชื้อแบซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) ในข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศา

เซลเซียส เป็นระยะเวลา 98 วัน พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) (2.0 – 6.0 x 10^5 CFU/g) ปริมาณยีสต์และรา (น้อยกว่า 10 CFU/g หรือไม่พบการเจริญของเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง) และเชื้อ *B. cereus* (1.0 – 3.4 x 10^2 CFU/g) จากเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4404-2555 ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์จุลินทรีย์ของข้าวกล้องงอกไว้ดังนี้ จุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1x10^6 CFU/g ยีสต์และราไม่เกิน 500 CFU/g และเชื้อ *B. cereus* ไม่เกิน 1x10^3 อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำเพาะงอกที่บรรจุในซองชงภายใต้สภาวะดังกล่าว ปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และเชื้อ *B. cereus* มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยในการบริโภคผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชง

เนื่องจากเชื้อ *B. cereus* เป็นเชื้อแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปในดินทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในอาหารชนิดต่าง ๆ ได้โดยเฉพาะเมล็ดธัญชาติ เช่น ข้าว การปนเปื้อนของเชื้อ *B. cereus* เกิดได้ตั้งแต่จากแหล่งปลูกจนถึงมือผู้บริโภค ซึ่งร้อยละ 95 ของการระบาดของโรคจากอาหารเป็นพาหะชนิดทำให้เกิดอาการอาเจียน (Emetic food poisoning outbreak) มีสาเหตุมาจากการบริโภคข้าว (Kramer and Gilbert, 1989) อาจกล่าวได้ว่าการระบาดของโรคที่เกิดจาก *B. cereus* สัมพันธ์โดยตรงกับการบริโภคธัญชาติ จากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวที่พบในชาข้าวเหนียวดำเพาะงอกบรรจุซองสาเหตุอาจเป็นเพราะว่าในข้าวกล้องเหนียวดำมีการปนเปื้อนเชื้อดังกล่าวอยู่แล้ว การนำข้าวมาเพาะงอกและอบแห้งในสภาวะที่ทำการทดลองไม่ได้มีผลต่อการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อ *B. cereus* เนื่องจากเชื้อชนิดนี้สามารถสร้างสารพิษชนิดทนร้อนในอาหารได้

5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

5.3.1 ผู้ประกอบการ ผู้ผลิตสินค้าระดับชุมชน และผู้บริโภคสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปใช้ผลิตสินค้าเชิงพานิชออกสู่ตลาดได้ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวกล้องของไทย หรือเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคที่ใส่ใจในด้านสุขภาพ และสะดวกในการรับประทานมากยิ่งขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.4.1 ควรพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้มีความทันสมัยและมีประสิทธิภาพยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น

5.4.2 ควรศึกษาคุณค่าสารอาหาร สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด คุณสมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณสาร GABA ของชนิดพันธุ์ข้าวที่หลากหลายในแต่ละท้องถิ่นเพิ่มมากขึ้น เพื่อเอื้อต่อการนำไปต่อยอดเชิงพาณิชย์ต่อไป

5.4.3 ควรเพิ่มระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บรักษาให้มากกว่า 98 วัน เพื่อหาเวลาที่แน่นอนในการเสื่อมเสียของตัวอย่าง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

กนกกาญจน์ ปานจันทร์. (2554). *ผลของกระบวนการผลิตข้าวเปลือกเริ่มงอกต่อคุณสมบัติของข้าวนึ่งกล้องและผลิตภัณฑ์ข้าวพอง.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จรัญจิต เพ็งรัตน์ และสุวัฒน์ เจียระคงมั่น. (2552). “ข้าวเหนียวดำ” หลากประโยชน์ หลายแนวคิดเสริมเศรษฐกิจไทย สู่สากล. ใน *การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว* ประจำปี 2552. โรงแรม ซีบรีท จอมเทียน พัทยา. (หน้า 325-342). แหล่งที่มา : http://www.brrd.in.th/main/document/Pattaya52%20report/25.pdf, วันที่ 15 กรกฎาคม 2561.

จักรพงษ์ โสวะพันธ์, กมลวรรณ แจ้งชัด และพัชรี ตั้งตระกูล. (2554). ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือก. (หน้า 250-257). ใน *รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49*. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทรพร ทองเอกแก้ว. (2558). คุณประโยชน์ของสารกาบาที่มีต่อสุขภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*. 43(2): 205-211.

ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ, วัชรินทร์ อิ่มอารมณ์, อภิวัฒน์ คาสิงห์ และจิรวรรณ โรจนพรทิพย์. (2555). ข้าวของพ่อวิถีพอเพียง. (หน้า 30-38). ใน *เทคโนโลยีชาวบ้าน.* บริษัท มติชน จากัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

นวลอนงค์ นัยวิกุล. (2556). *ข้าว*: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวลอนงค์ เสมสังข์, ณกมล แก้วลังการ์ และวีรพงษ์ จันทะชัย. (2559). ปริมาณฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวไทย. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ.* (หน้า 969-979)

ผาณิต รุจิรพิสิฐ, วิชชุดา สังข์แก้ว และเสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์. (2555). คุณค่าทางโภชนาการของข้าว 9 สายพันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 43(2): 173-176.

พัชราภรณ์ รัตนธรรม, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. (2556). สารประกอบฟีนอลิกแอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีงอก. (หน้า 441-444). ใน *รายงานการประชุมทางวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 11.* คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ.

พีชยา จิระธรรมกิจกุล. (2541). *ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวกล้อง.* วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มกษ. 4003-2555. (2555). *มาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวกล้องงอก.* สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

มกษ. 4004-2560. (2560). *มาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวไทย.* สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วชิระ จิระรัตนรังสี และปิยะพร บุตรพรหม. (2560). ผลของกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแอนโธไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยอมรับจากผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ชาใบข้าวก่ำ. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* 9(17): 91-103.

ศศิธร แท่นทอง. (2551). *ชาข้าวงอก.* คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://dna.kps.ku.ac.th/index.html. 18 มิถุนายน 2558.

สิริการ หนูสิงห์, ปาจารีย์ มันดี และบุศราภา ลีละวัฒน์. (2557). การพัฒนาชาข้าวก่ำเพาะงอกพร้อมชง. *วารสารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* ปีที่ 22 (3): 337-346.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, *กระทรวงสาธารณสุข. (2547).* ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 280 เรื่อง ชาสมุนไพร พ.ศ. 2547.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, *กระทรวงสาธารณสุข. (2556).* ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 356 เรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท พ.ศ. 2556.

สำราญ พิมราช, สุนันท์ บุตรศาสตร์, ธีระรัตน์ ชิณแสน และถวัลย์ เกตมาลา. (2558). ปริมาณกาบาและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมือง 5 สายพันธุ์. *วารสารเกษตรพระวรุณ.* 12(1): 35-40.

อรัญญา พรหมกูล, พัชราภรณ์ ถิ่นจันทร์ และเกรียงไกร พัทยากร. (2557). ผลของการนึ่งต่อสารกาบาและสมบัติเชิงกายภาพและเคมีของข้าวฮางและข้าวฮางงอกสีดำ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 45(2)(พิเศษ): 469-472.

อัสมา อับรู. (2554). *ผลของกระบวนการแปรรูปต่อคุณภาพเครื่องดื่มข้าวมีสี.* วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์, กรุณาพร ปานวรณ์, ชุติกา เกียรติเรืองไกร และสายวรุฬ ชัยวานิชศิริ. (2557). ผลของวิธีการหุงต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (กาบา) และสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องงอก. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม***.** 10 (1): 30-41

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. (2549). *สารต้านอนุมูลอิสระ.* พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์พี. เอส. พริ้นท์: กรุงเทพฯ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Alasalvar, C., J.M. Grigor, D. Zhang, P.C. Quantick & F. Shahidi. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 49: 1410 - 1416.

AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of AOAC International.* 17th ed. Arligition. Va: Associaltion of Official of Analyical Chemists. Inc.

Bacteriological Analytical Manual. (2001); updated 2012, Chapter 14 "Bacillus cereus". (ออนไลน์). 2001 ; (สืบค้น 8 มกราคม 2561)

Bacteriological Analytical Manual. (2001). *Chapter 3 "Aerobic Plate Count"*. (ออนไลน์). 2001 ; (สืบค้น 8 มกราคม 2561)

Bacteriological Analytical Manual. (2001). *Chapter 18 "Yeasts, Molds and Mycotoxins"*. (ออนไลน์). 2001 ; (สืบค้น 8 มกราคม 2561)

Balasundram, N., K. Sundram & S. Samman. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry.* 99: 191 - 203.

Braud, L., Peyre, L., de Sousa, G., Armand, M., Rahmani, R., & Maixent, J. M. (2015). Effect of brewing duration on the antioxidant and hepatoprotective abilities of tea phenolic and alkaloid compounds in a t-BHP oxidative stress-induced rat hepatocyte model. *Molecules.* 20: 14985–15002.

Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews.* 56: 317 - 333.

Burilloa, S.P., R. Giméneza, J.A. Rufián-Henaresa & S. Pastorizaa. (2018). Effect of brewing time and temperature on antioxidant capacity and phenols of white tea: Relationship with sensory properties. *Food Chemistry.* 248: 111-118.

Du, M., M. Li, F. Ma & D. Liang. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry.* 113: 557 - 562.

Cáceres, P.J., Martínez-Villaluenga, C., Amigo, L. & Frias, J. (2014). Maximising the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chemistry.* 152: 407–414.

Charoenthaikij, P., K. Jangchud, A. Jangchud, K. Piyachomkwan, P. Tungtrakul & W. Prinyawiwatkul. (2009). Germination conditions affect physicochemical properties of germinated brown rice flour. *Journal of Food Science.* (74): 658–665.

Chen. X.Q., Nagao, N., Itani, T. & Irifune, K. (2012). Anti-oxidative analysis, and identification and quantification of anthocyanin pigments in different coloured rice. *Food Chemistry.* 135(4): 2783-2788.

Chung S.I., L.M.P. Lo & M.Y. Kang. (2016). Effect of Germination on the Antioxidant Capacity of Pigmented Rice (Oryza sativa L. cv. Superjami and Superhongmi). *Food Science and Technology Research.* 22(3):3 87-394.

Giusti, M.M. & R.E. Wrolstad. (2005). *In* R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy, pp. 19 - 31. *Handbook of Food Anlytical Chemistry.* Wiley-Interscience, Hoboken, New Jerey.

Hao, J., Zhu, H., Zhang, Z., Yang, S. & Li, H. (2015). Identification of anthocyanins in black rice (*Oryza sativa* L.) by UPLC/Q-TOF-MS and their *in vitro* and *in vivo* antioxidant activities. *Journal of Cereal Science.* 64: 92–99.

Ichikawa, H., T. Ichiyanagi, B. Xu, Y. Yoshii, M. Nakajima & T. Konishi. (2004). Antioxidant Activity of Anthocyanin Extract from Purple Black Rice. *Journal of Medicinal Food.* 4 (4): 211-218.

Jiang, Y.S., Liu, X.Z., Long, X.L. & Sheng, J.P. (1999). Black rice composition analysis and their functions. *The Journal of* Production *Agriculture.* 8: 8-9.
(2002). Extraction and isolation of polyphenolics. *Current Protocols in Food Anlytical Chemistry.* R.E. Wrolstad. New York, Wiley: 11.2.1-11.2.12.

Kim, D.O. & C.Y. Lee. (2002). Extraction and isolation of polyphenolics. *Current Protocols in Food Anlytical Chemistry.* R.E. Wrolstad. New York, Wiley: 11.2.1 - 11.2.12.

Konwatchara, T. & A. Ahromrit. (2014). Effect of cooking on functional properties of germinated black glutinous rice Songklanakarin. *Journal* of *Science* and *Technology.* 36 (3): 283-290.

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

บรรณานุกรม (ต่อ)

Kramer, J.M. & Gilbert, R.J. (1989). *Bacillus cereus* and other *Bacillus* species. In Foodborne Bacterial Pathogens. (ed. Doyle, M.P.) Marcel Dekker, New York, p. 21 –70.

Lo, L.M.P., M.Y. Kang, S.J. Yi & S.I. Chung. (2016). Dietary supplementation of germinated pigmented rice (*Oryza sativa* L.) lowers dyslipidemia risk in ovariectomized Sprague Dawley rats. *Food Nutr.* Res. 2016;60doi: 10.3402/fnr.v60.30092.

Maeda S, Shinmura H, Nakagawa K, Asai T, & Morita A. (2007). Comparison of the free amino acid content and certain other agronomic traits of germinated and non-germinated brown rice in monocultured and mixed plantings. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics.* 39(2):107-115.

Maizura, M., A. Aminah & W.M. Wan Aida. (2011). Total phenolic content and Antioxidant capacity of kesum (*Polygonum minus*), ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) extract. *International Food Research Journal.* 18: 529 - 534.

Ohtsubo K, Suzuki K, Yasui Y & Kasumi T. (2005). Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin- screw extruder. *J Food Compos Anal.* 18: 303–316.

Parr, A.J. & G.P. Bolwell. (2000). Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of The Science of Food and Agriculture.* 80: 985 - 1012.

Randhir, R., Y.T. Lin & K. Shetty. (2004). Phenolics, their antioxidant and antimicrobial activity in dark germinated fenugreek sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition.* 13: 295 - 307.

Rodriguez-Saona, L.E. & R.E. Wrolstad. (2005). Extraction, isolation, and purification of anthocyanins, pp. 7 - 17. *In* R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns, eds. *Handbook of Food Analytical Chemistry.* Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.

Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. & Bao, J.S. (2009). Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *J Cereal Sci.* 49: 106-111.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Tian, S.; Nakamura, K. & Kayahara, H. (2004). Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 52: 4808-4813.

Ti, H., Zhang, R., Zhang, M., Li, Q., Wei, Z., Zhang, Y., Tang, X., Deng, Y., Liu, L & Ma, Y. (2014). Dynamic changes in the free and bound phenolic compounds and antioxidant activity of brown rice at different germination stages. *Food Chemistry.* 161:337-44.

Vicente, A.R., G.A. Manganaris, G.O. Sozzi & C.H. Crisosto. (2009). *In* Florkowski, Shewfelt, Brueckner and Prussia, eds. *Nutritional Quality of Fruit and Vegetables.* Chapter 5, pp. 57 - 106. Postharvest Handling: A Systems Approach, Second Edition. Oxford: Academic Press, Elsevier.

Zaupa, M., Calani, L., Del Rio, D., Brighenti, F & Pellegrini, N. (2015). Characterization of total antioxidant capacity and (poly) phenolic compounds of differently pigmented rice varieties and their changes during domestic cooking. *Food Chemistry.* 187: 338-47.

Zhang, M.W., Guo, B.J. & Peng, Z.M. (2004). Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P contents in *Indica* black pericarp rice and their genetic correlations with grain characteristics**.** *Euphytica.* 135: 315-323.

Zhang, M.W., Guo, B.J. & Peng, Z.M. (2005). Genetic Effects on Grain Characteristics of *Indica* Black Rice and their Useson Indirect Selections for some Mineral Element Contents in Grains. Genetic Resources and Crop Evolution *December.* 52: 1121-1128.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ภาคผนวก ก1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ตามวิธีของ AOAC (2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can) พร้อมฝาปิด
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
4. โถดูดความชื้น (Desiccator)

วิธีการทดลอง

1. อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นพร้อมฝาปิดในตู้อบไฟฟ้าที่ 105°C นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นน้าภาชนะมาใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาทีหรือจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง บันทึกน้ำ
2. ท้าซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนน้ำหนักคงที่หรือผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 1-2 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดประมาณ 2 กรัม (B) ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นน้าไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่ 105°C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วน้ามาใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาทีหรือจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นบันทึกน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่างหลังอบ (C)
4. ท้าซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 3 จนน้ำหนักคงที่หรือผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 1-2 มิลลิกรัม
5. น้าผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นดังนี้

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{100 \times [(A + B) - C]}{B}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (กรัม)
B = น้ำหนักตัวอย่างอาหารก่อนอบ (กรัม)
C = น้ำหนักของภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดและตัวอย่างอาหารหลังอบ (กรัม)

ภาคผนวก ก2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเคลดาล (Kjeldahl method) ตามวิธีของ AOAC (2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
2. หลอดย่อยโปรตีน (Kjeldahl flask) ขนาด 250-300 มล.
3. ชุดกลั่นโปรตีน (semi-micro distillation apparatus)
4. ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1000 มล.
5. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล.
6. บิวเรตต์ ขนาด 50 มล.
7. Glass bead หรือ Octanol

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ความถ่วงจำเพาะ (ถพ.) 1.84, N_2-free
2. สารเร่งปฏิกิริยา: ทองแดงซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) 1 ส่วน ต่อโปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) หรือ anhydrous Na_2SO_4 9 ส่วน
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 40
4. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล: HCl 8.2 มล. ในน้ำกลั่น 1 ลิตร
5. สารละลายกรดบอริกร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v): เตรียมโดยใช้น้ำร้อน
6. Mix indicator: Methyl red 0.1 กรัม ผสมกับ Bromocresol green 0.1 กรัม ในเอทานอล 100 มล.

วิธีการ

1. พับกระดาษกรองเป็นรูปซองจดหมาย ชั่งตัวอย่างลงในกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัม
2. เติมทองแดงซัลเฟต 0.5 กรัม โปตัสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และ glass bead 2 เม็ด หรือ หยด octanol 2-3 หยด ลงในหลอดย่อย
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มล.
4. ต่อชุดย่อยเข้ากับชุดจับไอกรด เสียบปลั๊ก เปิดสวิทซ์เครื่องย่อย ตั้งอุณหภูมิที่ 420 องศาเซลเซียส
5. ตั้งหลอดย่อยบน stand ปิด heat shield ยก stand ที่มีหลอดย่อยใส่ลงในหลุมของเตาย่อย ปิดฝาหลอดย่อย (exhaust manifold) เปิดสวิทซ์ชุดจับไอกรด (Scrubber unit)
6. ย่อยจนได้สารละลายใส ในตู้ควัน (ใช้เวลาประมาณ 30-60 นาที) ย้าย stand พร้อมหลอดย่อยมาตั้งไว้ข้างๆ เครื่องย่อย โดยยังไม่ถอดฝาหลอดย่อย รอให้ไอกรดหมดก่อน ทิ้งให้เย็น

7. นำไปกลั่น โดยเติมน้ำกลั่น 30 มล. และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 50 มล.
8. รองรับสิ่งที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มล. และหยด mix indicator 2-3 หยด (สารละลายในฟลาสค์เปลี่ยนเป็นสีชมพู) นำฟลาสค์ไปตั้งไว้ที่ตำแหน่งรองรับของเครื่องกลั่น และเลื่อนฐานขึ้นให้ปลายแท่งแก้วจุ่มอยู่ใต้สารละลาย
9. กลั่นประมาณ 7 นาที (สารละลายในฟลาสค์เปลี่ยนเป็นสีเขียว) ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในฟลาสค์รองรับ
10. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล จนได้สีชมพู (จุดยุติ) จดปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
11. ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2-10
12. ก่อนกลั่นตัวอย่างต่อไป ควรล้างระบบโดยใช้น้ำกลั่นใส่ในหลอดย่อยแล้วทำการกลั่นโดยไม่เติมด่าง ประมาณ 3 นาที
13. เมื่อกลั่นตัวอย่างสุดท้ายเสร็จแล้ว ใส่หลอดเปล่า และ ฟลาสค์ ในตำแหน่งที่รองรับ ปิดสวิทซ์ เช็ดทำความสะอาดเครื่องทั้งหมด

การคำนวณ

$$\%N = \frac{(T-B) \times 14.007 \times 100 \times N}{\text{Weight of sample (mg)}}$$

$$\%\text{Protein} = \%\text{Nitrogen} \times \textit{conversion factor (F)}$$

T = sample titration (ml)
B = blank titration (ml)
N = normality of titrant (N)

Conversion factor = แฟคเตอร์สำหรับแปลงกลับ = 6.25
(น้ำหนักกรัมสมบูรณ์ของไนโตรเจนเท่ากับ 14.007)

ภาคผนวก ก3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat) ตามวิธีของ AOAC (2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์เครื่อง Soxtec Avanti 2050 Auto System
2. หลอดบรรจุตัวอย่าง (thimble) พร้อมที่จับ (thimble holder)
3. ถ้วยสกัด (extraction cup) พร้อมที่จับ (extraction cup holder)
4. Motar and pestle สำหรับบดตัวอย่าง
5. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
6. โถดูดความชื้น (Desiccator)

สารเคมี

1. เฮกเซน (จุดเดือด 62-67 องศาเซลเซียส)
2. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส)

วิธีการ

1. เปิดเครื่องทำน้ำเย็น (Cooling bath) ควบคุมอุณหภูมิที่ 12-15 องศาเซลเซียส

2. Warm เครื่อง Soxtec โดยเปิดปุ่ม power ปรับอุณหภูมิและตั้งโปรแกรมการทำงานตามชนิดของ ตัวทำละลายที่ใช้ ถ้าใช้ Hexane (over temp. = 210°C, hot plate = 155°C, boiling time = 45 min., rinse=15 min., recovery =15 min., pre-drying = 30 min.)

3. Pre-heat hot plate โดยกดปุ่ม §§

4. ชั่งตัวอย่างอาหารที่อบแห้ง และบดละเอียดแล้ว 1.xxxx กรัม (W) ใส่ใน thimble (ตัวอย่างที่มีความชื้น นำไปอบให้แห้งใน hot air oven ที่ 110 องศาเซลเซียส, 20 นาที)

5. นำ Thimble มาใส่ในตัวเครื่อง Soxtec ด้วย thimble holder

6. เติมตัวทำละลายประมาณ 50 มล. ใน Extraction cup ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (w_2) (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส, 2 ชั่วโมง) นำไปต่อเข้ากับ condenser

7. กดปุ่ม Start 1 ครั้ง โปรแกรมจะเริ่มการทำงานตั้งแต่ขั้นตอน boiling จนถึงขั้นตอน pre-drying

8. เมื่อครบเวลาการทำงาน นำ Extraction cup อบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 100 ± 3 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนมีน้ำหนักคงที่ (w_1) ระบายตัวทำละลายออกจากเครื่อง ใส่ในขวดตัวทำละลายที่ใช้แล้ว (Used)

9. คำนวณหาปริมาณไขมันที่สกัดได้

การคำนวณ

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

W_1 คือ น้ำหนักของ EXTRACTION CUP และน้ำหนักไขมันที่สกัดได้ภายหลังการอบแห้งแล้ว (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของ EXTRACTION CUP ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (กรัม)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่อบแห้งแล้ว (กรัม)

ภาคผนวก ก4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ (Crude fiber) ตามวิธีของ AOAC (2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยแก้ว (Glass crucible)
2. บีกเกอร์ (Beaker) แก้ว และ สแตนเลส
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
4. เครื่องสกัดร้อน (Cold extractor)
5. เครื่องสกัดเย็น (Hot extractor)
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
7. โถดูดความชื้น (Desiccator)
8. เตาเผา (Muffle furnace)
9. ถาด และทอง (Tong) คีบ
10. เตาไฟฟ้า
11. โกร่งบดตัวอย่าง

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 1.25 โดยปริมาตร (v/v)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v)
3. อะซีโตน (Acetone)
4. ออกทานอล (Octanol)
5. ซีไลท์ (Celite)
6. น้ำกลั่นร้อน (นักศึกษาเตรียม)

วิธีการ

1. อบ Glass crucible ใน Hot air oven นำมาไว้ใน Desiccator เพื่อรอใช้งาน
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารลงใน Glass crucible 1.xxxx กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_1)
3. ชั่ง Celite 1 กรัม เททับตัวอย่างอาหาร
4. นำตัวอย่างเข้าเครื่องสกัดเย็น เพื่อสกัดไขมันออกจากตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องปราศจากไขมัน และความชื้น (หากตัวอย่างอาหารมีปริมาณไขมันเกินร้อยละ 10)
5. เติม Acetone ให้ท่วมตัวอย่าง แช่ตัวอย่างไว้ใน Acetone 10 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 3 รอบทำเช่นนี้ 2 ครั้ง
6. นำตัวอย่างที่ปราศจากไขมัน เข้ามาไว้ในเครื่องสกัดร้อน เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อน ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร หยดสารละลาย Octanol เพื่อกันเดือด 3 หยด จากนั้นสกัดด้วยอุณหภูมิสูง 30 นาที
7. ปล่อยสารละลายกรดร้อนทิ้ง และล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 รอบ
8. เติมสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อน ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) (w/v) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร หยดสารละลาย Octanol เพื่อกันเดือด 3 หยด จากนั้นสกัดด้วยอุณหภูมิสูงอีก 30 นาที
9. ปล่อยสารละลายด่างร้อนทิ้ง และล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 รอบ

10. นำตัวอย่างเข้าเครื่องสกัดเย็นเพื่อสกัดไขมันออกจากตัวอย่างอีกรอบ โดยแช่ตัวอย่างไว้ในAcetone 10 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 3 รอบทำเช่นนี้ 2 ครั้ง

11. นำตัวอย่างอาหารที่บรรจุใน Glass crucible ไปอบไล่ความชื้นด้วยเครื่อง Hot air oven อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นใน Desiccator นาน 15 นาที และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

12. นำตัวอย่างอาหารที่บรรจุใน Crucible ไปเผาใน Muffle furnace 525-530 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปอบใน Hot air oven อีก 1 ชั่วโมง จึงย้ายไปเก็บในโถดูดความชื้น (Desiccator) 1 ชั่วโมง แล้วจึงบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_3)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 คือ น้ำหนัก Glass crucible + น้ำหนักตัวอย่างอาหารก่อนเผา

W_3 คือ น้ำหนัก Glass crucible + น้ำหนักตัวอย่างอาหารหลังเผา

ภาคผนวก ก5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash determination)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ภาชนะสำหรับเผาเถ้า (Porcelain crucible)
3. เตาไฟฟ้า (Electric burner)
4. เตาเผา (Electric muffle furnace)
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. ถุงมือกันร้อน
7. คีมคีบ (Tong)

วิธีการ

1. อบ Porcelain crucible ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ Porcelain crucible (W_1)

2. จากนั้นนำภาชนะมาใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดประมาณ 2.xxxx กรัม (W) ลงในถ้วย Porcelain crucible แล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าจนตัวอย่างอาหารไม่มีควันจากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ปิดสวิตช์เตาเผา และรอจนอุณหภูมิภายในเตาลดลงจึงนำถ้วยออกจากเตาเผา เพื่อไม่ให้ถ้วยแตก

4. นำถ้วย Porcelain crucible ไปตั้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาทีหรือจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง บันทึกน้ำหนักของภาชนะ (W_2)

การคำนวณ

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

เมื่อ W_1 = น้ำหนักของถ้วย Porcelain crucible (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างอาหารก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถ้วย Porcelain crucible และตัวอย่างอาหารหลังเผา (กรัม)

ภาคผนวก ก6 การวิเคราะห์สมบัติต้านออกซิเดชันในอาหารด้วยวิธี DPPH

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลอง ขนาดเล็ก
2. ปิเปต
3. บีกเกอร์
4. แท่งแก้วคนสาร
5. Vortex
6. เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
8. คิวเวท (Cuvette)

สารเคมี

1. สารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 200 micromole (μM)
2. เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 50
3. น้ำกลั่น
4. สารมาตรฐาน Trolox
5. เมทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80

การเตรียมสารละลาย DPPH

- สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 200 micromole (μM) (DPPH, MW 394.33 g/mol)

1 mM = 0.394.33 g/1000 ml

1 mM = 0.039433 g/ 100 ml = 1000 micromole (μM)

ต้องการเตรียมความเข้มข้น 200 micromole (μM) ปริมาตร 100 ml น้ำหนัก DPPH ที่ใช้คือ

= 0.03944/5 = 0.0079 g

เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 200 micromole (μM) ใน 50% ethanol ปริมาตร 100 ml ดังนี้

- ชั่ง DPPH 0.0079 g
- เติม Ethanol 50 ml กวนผสมโดยใช้ Magnetic bar 15 นาที
- เติมน้ำกลั่น 50 ml กวนโดยใช้ Magnetic bar ต่ออีก 10 นาที
- สารละลาย DPPH สำหรับการวิเคราะห์ (ควรเตรียมทุกวันก่อนการวิเคราะห์ และเก็บในที่มืด)

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox

- สารละลายมาตรฐาน Trolox (Trolox, MW = 250.29 g/mol)

1 mM = 0.25029 g/1000 ml

1 mM = 0.025029 g/ 100 ml = 1000 micromole (µM)

ต้องการเตรียมความเข้มข้น 200 micromole (µM) ปริมาตร 100 ml น้ำหนัก DPPH ที่ใช้คือ

= 0.025029 /5 = 0.0050 g

การเตรียมสารละลาย Trolox ความเข้มข้น 200 micromole (µM) ปริมาตร 100 ml ดังนี้

- ชั่ง Trolox 0.0050 g
- เติม 80% methanol และปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml.
- เจือจางด้วย 80% methanol ที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 micromole (µM)
- ปริมาตร 5 ml. (ใช้ 80% methanol ที่ความเข้มข้น 0 และ Trolox (200 micromole (µM)) 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 ตามลำดับ)
- ปรับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานด้วย 80% methanol ให้ได้ปริมาตร 5 ml. (4.75, 4.5, 4.25, 4.0 และ 3.75 ตามลำดับ)

<u>การเตรียมสารละลาย Trolox ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จาก stock solution</u>

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox	**ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Trolox (มิลลิลิตร)**	**80% methanol (มิลลิลิตร)**
0	0	5
10	0.25	4.75
20	0.50	4.50
30	0.75	4.25
40	1.0	4.0
50	1.25	3.75

วิธีการ

1. สารละลายมาตรฐาน (0-50 micromole (µM)) หรือตัวอย่างปริมาตร 1.0 ml (3 ซ้ำ)
2. เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 200 micromole (µM) 1.0 ml เขย่าให้เข้ากัน
3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที (สารละลายจะมีสีซีดม่วงจางลงตามความเข้มข้นของสารละลาย Trolox)
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm.(ใช้น้ำกลั่นเป็น blank)
5. พลอตกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของ Trolox micromole (µM)

6. คำนวณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox

การคำนวณ

1. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox ที่ระดับเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 micromole (μM)
2. หาสมการเส้นตรง $y = ax + b$
   โดยที่ x คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างเมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox micromole (μM)
   y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร
3. รายงานความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของ Trolox ต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่าง

ภาคผนวก ก7 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดในอาหารด้วยวิธี pH differential method

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer)
3. เครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมหัวปั่น (Homogenizer)
4. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
5. ปิเปตต์แก้ว
6. คิวเวทท์ (Cuvette)
7. อุปกรณ์เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ เช่น กรวยกรอง หลอดทดลอง ขวดรูปชมพู่ เป็นต้น

สารเคมี

1. Potassium chloride (KCl) buffer, 0.025 M, pH 1.0
2. Sodium acetate (CH3CO2Na·3 H2O) buffer, 0.4 M, pH 4.5

การเตรียมสารละลาย

1. Potassium chloride (KCl) buffer, 0.025 M, pH 1.0

ชั่ง Potassium chloride 1.86 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 980 ml ในบีกเกอร์ วัดค่า pH และปรับค่า pH ให้ได้ 1.0 โดยใช้ Hydrochloric acid เข้มข้น เมื่อได้ pH 1.0 ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml ด้วยน้ำกลั่น สารละลาย buffer pH 1.0 มีความคงตัวที่อุณหภูมิ 1-2 เดือน แต่ก่อนที่จะนำมาใช้งานควรตรวจสอบค่า pH และปรับค่าก่อนการใช้งานทุกครั้ง

2. Sodium acetate (CH3CO2Na·3 H2O) buffer, 0.4 M, pH 4.5

ชั่ง Sodium acetate 54.43 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 960 ml ในบีกเกอร์ วัดค่า pH และปรับค่า pH ให้ได้ 4.5 โดยใช้ Hydrochloric acid เข้มข้น เมื่อได้ pH 4.5 ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml ด้วยน้ำกลั่น สารละลาย buffer pH 4.5 มีความคงตัวที่อุณหภูมิ 1-2 เดือน แต่ก่อนที่จะนำมาใช้งานควรตรวจสอบค่า pH และปรับค่าก่อนการใช้งานทุกครั้ง

วิธีการ

การสกัดแอนโธไซยานินจากตัวอย่าง (กรณีตัวอย่างอาหารแห้ง)

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1.xxxx กรัม
2. เติมสารละลายเมทานอลที่มีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 1 ปริมาตร 12 มิลลิลิตร
3. ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน หล่อเย็นด้วยน้ำแข็ง นาน 2 นาที
4. สั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5. นำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
6. แยกส่วนใสใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลิลิตร (ถ้าตัวอย่างขุ่นให้กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1)
7. นำส่วนกากที่เหลือไปสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ตามวิธีข้างต้น
8. ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: ถ้าตัวอย่างอาหารเป็นของเหลวสามารถนำมาวิเคราะห์ได้เลย โดยที่ไม่ต้องผ่านการสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด

1. กำหนดอัตราส่วนในการเจือจางตัวอย่างให้เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับ buffer pH 1.0 โดยค่า absorbance ต้องไม่เกิน 1.2
2. เติม buffer pH 1.0 และ buffer pH 4.5 ในแต่ละชุด 4.5 ml
3. ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที (ไม่ควรเกิน 1 ชั่วโมง)
4. วัดค่า Absorbance ที่ 510 และ 700 nm โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank
5. คำนวณค่า Absorbance (A) $A = (A_{520} - A_{700})_{pH\ 1} - (A_{520} - A_{700})_{pH\ 4.5}$
6. คำนวณค่า Total anthocyanin (mg/L) $A = (A \times MW \times DF \times 1000)/(\varepsilon \times 1)$

ภาคผนวก ก8 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในอาหารด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer)
3. เครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมหัวปั่น (Homogenizer)
4. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
5. ปิเปตต์แก้ว
6. คิวเวทท์ (Cuvette)
7. อุปกรณ์เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ เช่น กรวยกรอง หลอดทดลอง ขวดรูปชมพู่ เป็นต้น

สารเคมี

1. สารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10 % ในน้ำกลั่น (เตรียม 250 มิลลิลิตร)
2. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 5% ในน้ำกลั่น (เตรียม 250 มิลลิลิตร)
3. สารละลายมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้น 100 microgram/ml ในน้ำกลั่น (เตรียม 50 มิลลิลิตร)
4. สารละลายเมทานอลความเข้มข้น 80% ในน้ำกลั่น
5. น้ำกลั่น

วิธีการ

การสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่าง (กรณีตัวอย่างอาหารแห้ง)

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1.xxxx กรัม
2. เติมสารละลายเมทานอลที่มีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 1 ปริมาตร 12 มิลลิลิตร
3. ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน หล่อเย็นด้วยน้ำแข็ง นาน 2 นาที
4. สั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
5. นำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
6. แยกส่วนใสใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร (ถ้าตัวอย่างขุ่นให้กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1)
7. นำส่วนกากที่เหลือไปสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ตามวิธีข้างต้น
8. ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: ถ้าตัวอย่างอาหารเป็นของเหลวสามารถนำมาวิเคราะห์ได้เลย โดยที่ไม่ต้องผ่านการสกัด

การเตรียม Standard curve

1. เตรียมสารละลาย Gallic acid ความเข้มข้น 100 microgram/ml ปริมาตร 50 ml (ชั่ง Gallic acid 0.0050 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 50 ml)
2. เจือจางที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, และ 80 microgram /ml ปริมาตร 5 ml (ใช้น้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 0 และ Gallic acid (100 microgram /ml) 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0, ml. ตามลำดับ)
3. ปรับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 5 ml

<u>การเตรียมสารละลาย Gallic acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จาก stock solution</u>

น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	5	4	3	2	1	0
Gallic acid ความเข้มข้น 100 microgram/ml (มิลลิลิตร)	0	1	2	3	4	5
ความเข้มข้น (ppm)	0	20	40	60	80	100

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

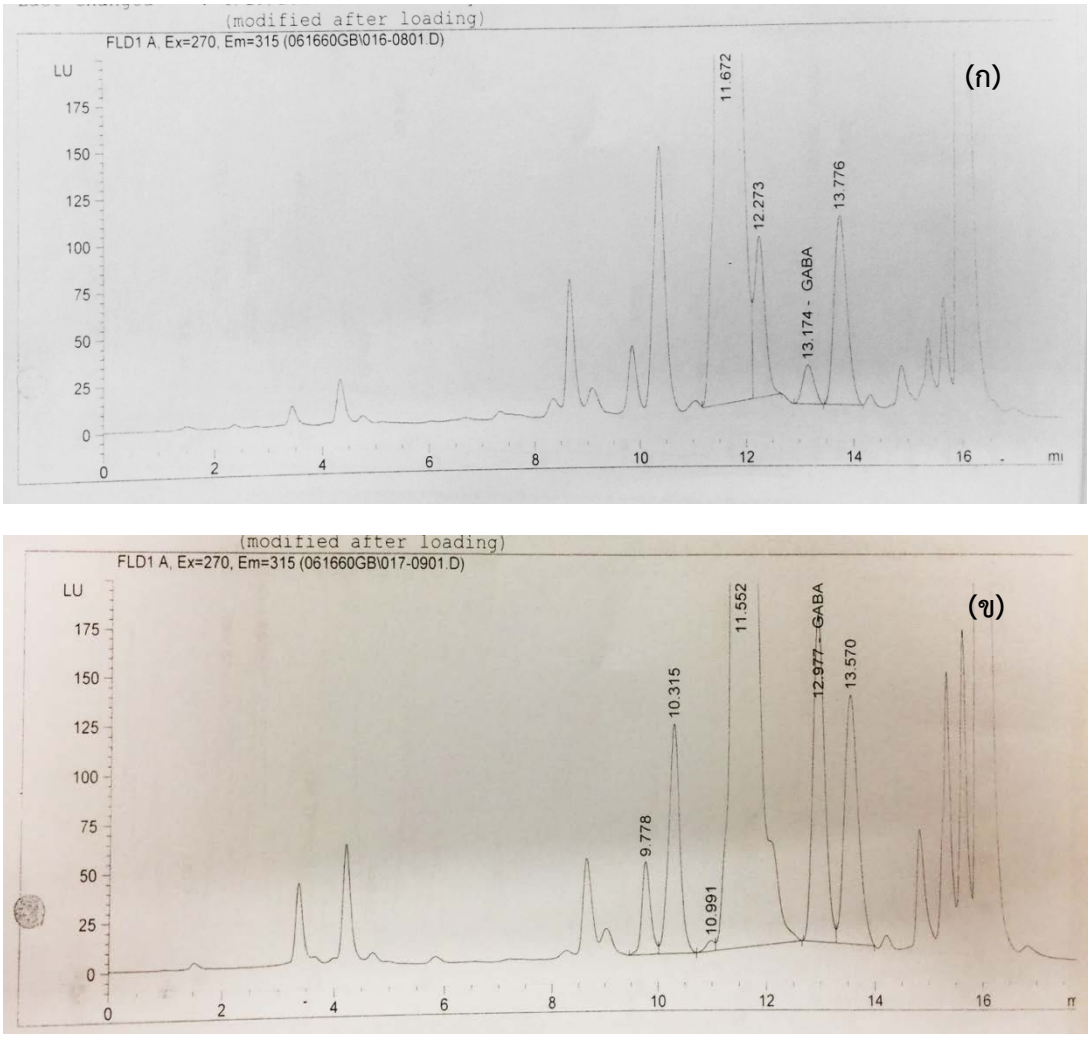
1. สารละลายมาตรฐาน (0-100 microgram/ml) หรือตัวอย่างปริมาตร 0.4 ml (3 หลอด)
2. เติม Folin-Ciocalteu 2 ml. ทิ้งไว้ 4 นาที
3. เติมสารละลาย Na_2CO_3 1.6 ml. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที (สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ความเข้มของสีตามความเข้มข้นของ gallic acid)
4. Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm 10 นาที (ถ้าสารละลายขุ่น)
5. นำสารละลายส่วนใสวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm. (ใช้น้ำกลั่นเป็น blank)
6. พลอตกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของ Gallic acid (microgram/ml)
7. คำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

การคำนวณ

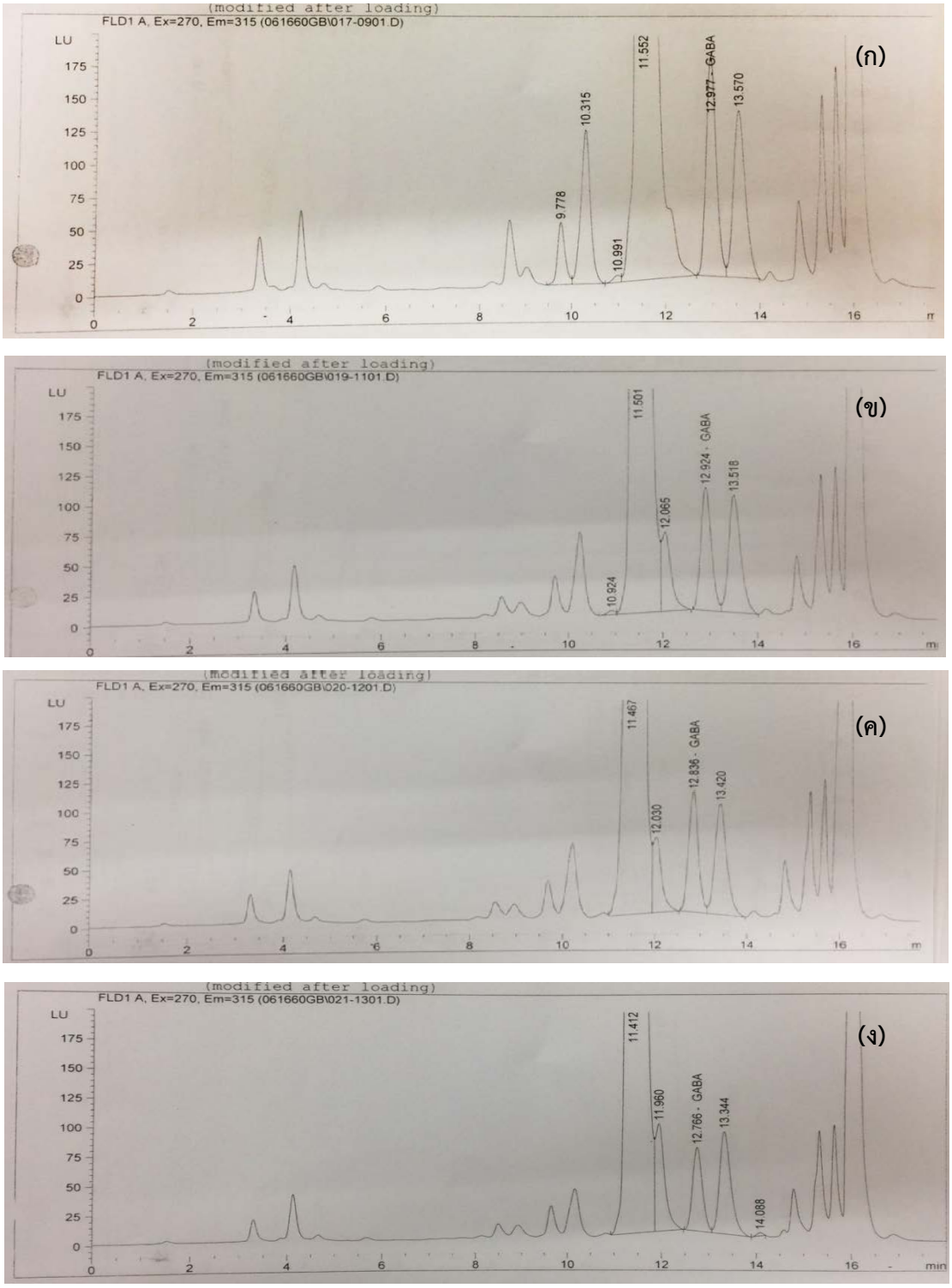
1. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิคที่ระดับเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm
2. หาสมการเส้นตรง $y = ax + b$
   โดยที่ x คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างเมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค (ppm หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)
   y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
3. คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิคต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่าง

ภาคผนวก ข

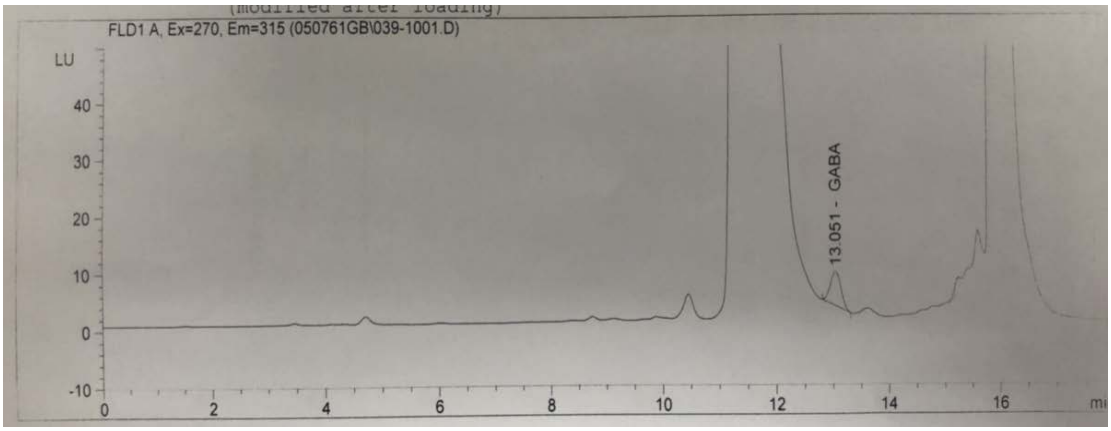
โครมาโทแกรมของสาร GABA ด้วยเทคนิค HPLC



ภาพผนวกที่ ข1 โครมาโทแกรมของสาร GABA ในข้าวเหนียวดำ (ก) และข้าวเหนียวดำเพาะงอก 24 ชั่วโมง (ข)



ภาพผนวกที่ ข2 โครมาโทแกรมของสาร GABA ที่ระยะเวลาในการคั่ว 0, 5, 10 และ 15 นาที ของข้าวเหนียวดำหลังเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพผนวกที่ ข3 โครมาโทแกรมของสาร GABA ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวเหนียวดำเพาะงอกพร้อมชงเพื่อสุขภาพที่ ใช้ระยะเวลาการชงดื่มเป็นเวลา 3 นาที (สภาวะที่คัดเลือกได้)

ภาคผนวก ค

แบบสอบถาม

ภาคผนวกที่ ค1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

คำชี้แจง: แบบสอบถามนี้เป็นการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารเครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพ จึงขอความร่วมมือในการแสดงความคิดเห็น โดยข้อมูลของท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป โปรดทำเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อที่ตรงกับความเป็นจริงของท่าน

ตอนที่ 1 รายละเอียดของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. อายุ ( ) น้อยกว่า 18 ปี ( ) 18 – 30 ปี ( ) 31 – 45 ปี
   ( ) มากกว่า 45 ปี
3. อาชีพ ( ) นักเรียน/นักศึกษา ( ) รับราชการ ( ) รัฐวิสาหกิจ
   ( ) เจ้าของกิจการ ( ) ผู้บริหารหน่วยธุรกิจ ( ) พนักงานหน่วยธุรกิจ
   ( ) อื่นๆโปรดระบุ.....

ตอนที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคชาหรือเครื่องดื่มคล้ายชา

1.ท่านซื้อชาหรือเครื่องดื่มคล้ายชาบ่อยหรือไม่

( ) มากกว่า 1 ครั้ง ( ) สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ( ) เดือนละ 1-2 ครั้ง
( ) มากกว่า 3 เดือนครั้ง ( ) อื่นๆ(โปรดระบุ).....

2. ปริมาณการซื้อต่อครั้ง

( ) มาก ( ) ปานกลาง ( ) น้อย

3. ท่านมีโอกาสซื้อเนื่องในโอกาสใดมากที่สุด

( ) ซื้อเพื่อบริโภคเอง ( ) ซื้อเพื่อเป็นของฝาก/ของที่ระลึก ( ) ซื้อเพื่อจำหน่าย

4. สถานที่ซื้อสินค้าบ่อยที่สุด

( ) ตลาด ( ) ร้านสะดวกซื้อ ( ) ห้างสรรพสินค้า
( ) ร้านขายของฝาก ( ) ผู้ผลิตโดยตรง ( ) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ตอนที่ 3 ทดสอบชิมตัวอย่างอาหาร

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างอาหารต่อไปนี้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแล้วให้คะแนนความชอบตามลำดับ คะแนนที่กำหนดไว้ด้านล่างตามปัจจัยคุณภาพและกรุณาจิบน้ำเพื่อล้างปากระหว่างชิมตัวอย่างอาหาร

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

ความพึงพอใจด้านผลิตภัณฑ์	คะแนนความชอบ
1.ลักษณะปรากฏ	
2.สี	
3.กลิ่น	
4.รสชาติ	
5.ความชอบโดยรวม	

ตอนที่ 4 ท่านสนใจหรือยินดีที่จะซื้อผลิตภัณฑ์อาหารเครื่องดื่มจากข้าวกล้องสีเพาะงอกบรรจุซองพร้อมชงเพื่อสุขภาพหรือไม่

( ) ยินดีที่จะซื้อ เพราะ

.....

( ) ไม่ยินดีที่จะซื้อ เพราะ

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ–นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว กันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์
ชื่อ–นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Kankanit Jongrattanavit
หมายเลขบัตรประชาชน 1 1020 00816 16 6
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร
สถานที่ติดต่อ หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร
โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
เลขที่ 228-228/1-9 ถนนสิริธร บางบำหรุ บางพลัด กรุงเทพฯ
10700 โทร 02-4239435 โทรศัพท์ (มือถือ) 083-0797606
E-mail Address: kankanit.1717@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	ปีที่สำเร็จ	สถาบันการศึกษา	วิชาเอก/สาขา	ชื่อปริญญา
ปริญญาตรี (Bachelor degree)	2553	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	วท.บ.
ปริญญาโท (Master degree)	2557	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)	วิทยาศาสตร์การอาหาร	วท.ม.

ผลงานวิจัย

กันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์ และศศิธร ตรงจิตภักดี. (2555). **ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด และความสามารถต้านออกซิเดชันของผลพิลังกาสา**, น. 336-334 *ใน* รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. กรุงเทพฯ.

กันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์ และนิซุฟยาน นิมะมิง. (2558). **ผลของระยะความแก่อ่อนต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโธไซยานินทั้งหมด และคุณสมบัติต้านออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อมังคุด**, น. 24-32 *ใน* รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติสวนดุสิต ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.

Nukit Meeprathom, N., Jongrattanavit K. and Kooprasertying P. (2018). Proximate Compositions, Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Antibacterial Activity of Chulta (*Dillenia indica* Linn.) Fruits: Effects of Maturity Stage and Extraction Solvent. **Journal of Food Health and Bioenvironmental Science,** 11(1): 89-78.

ชื่อ-นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร
สถานที่ติต่อ หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต เลขที่ 228-228/1-9 ถ.สิรินธร บางบำหรุ บางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700 โทร โทร 02-4239435
E-mail Address pi_suwanna@hotmail.com
ประวัติการศึกษา Ph.D. (Food Science; Internation Program) Faculty of Agro-Industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkabang
วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดบังกระบัง
วทบ (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม)

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1 **Pichaiyongvongdee, S**. & Haruenkit, R. (2009). Comparative Studies of Limonin & Naringin Distribution in Different Parts of Pummelo [Citrus grandis (L.) Osbeck] Cultivars Grown in Thailand. J. Kasetsart (Nat. Sci.) 43 (1): 28–36.

2. **Pichaiyongvongdee, S**. & Haruenkit, R. (2009). Investigation of Limonoids, Flavanones, Total Polyphenol Content & Antioxidant Activity in Seven Thai Pummelo Cultivars. J. Kasetsart (Nat. Sci.) 43(3): 458-466.

3. **Pichaiyongvongdee, S.** & Haruenkit, R. (2011). Effect of Ethylene Treatments on Limonin Reduction in Thai Pummelo (Citrus grandis (L.) Osbeck) Fruit. J. Kasetsart (Nat. Sci.) 45 : 1105 – 1114.

4. **Pichaiyongvongdee, S**., Rattanapun. B & Haruenkit, R. (2014). Total Polyphenol Contents and Antioxidant Properties in Different Tissues of Seven Pomelo [Citrus maxima Mer.] Cultivars. J. Kasetsart (Nat. Sci.). 48(6):989-996.

5. **Pichaiyongvongdee, S.** and Rattanapun. B. (2015). เรื่อง Effect of Chemical Treatment to Reduce the Bitterness and Drying on Chemical Physical and Functional Properties of Dietary Fiber Pomelo Powder from Citrus grandis (l.) osbeck Albedo. J. Kasetsart (Nat. Sci.) 4 (1). 122-132

6. ธีรนุช ฉายศิริโชติ และ **สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี.** (2558). การพัฒนาเต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ. มหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ 2558 (Thailand Research Expo 2015) 16-20 สิงหาคม 2558 ณ โรงแรมเซ็นทาราแกรนด์ และบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพ โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
7. พรทวี ธนสัมบัณณ์ และ **สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี.** (2516). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำลูกเดือยพร้อมดื่มผสมน้ำใบย่านางเข้มข้น. วารสารวิจัย มสด. 8(2):53-65.
8. Sutasinee C. and **Pichaiyongvongdee, S.** (2016). Response surface methodology study on optimization on fish Tofu as affected by dietary powder from pomelo (Citrus grandis (L.) Osbeck) albedo and tapioca starch. Kasetsart University Fisheries Research Bulletin. 40 (3).:113-125
9. **สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี** และ นเรศ บางศิริ. (2561). ผลของกระบวนการทำแห้งและสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในของส้มโอ. ประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 3 “งานวิจัยสร้างมูลค่า บูรณาการสหสาขา พัฒนาชาติก้าวไกล Thailand 4.0” ในวันที่ 31 กรกฎาคม 2561 ณ อาคารเฉลิมพรพะเกียรติ 50 พรรษา มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
10. **สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี** และ กันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์ พัชญ์รฐา ป้อมภู่ และ สุชานุช หนุนจันทร์. (2561). การทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนด้วยผงควินัวในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก. การประชุมวิชาการวิจัยระดับชาติ “สืบสารศิลปวัฒนธรรมอาหารไทยในยุคไทยแลนด์ 4.0 “ วันที่ 18 กรกฎาคม 2561 ณ อาคารปฏิบัติการอาหารฮาลาล มหาวิทยาลัยสวนดุสิต วิทยาเขตสุพรรณบุรี
11. พรทวี ธนสัมบัณณ์ และ **สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี**. (2560). การใช้ประโยชน์ปลายข้าวเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเต้าหู้พลังงานต่ำ . วารสารวิจัย มสด. ฉบับ 10(3): กย.-ธค. 105-128

ชื่อ–นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวนเรศ บางศิริ
ชื่อ–นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Naraet Bangsiri
หมายเลขบัตรประชาชน 3 4805 00660 25 6
ตำแหน่งปัจจุบัน: เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหารโรงเรียนการเรือน
สถานที่ติดต่อ: โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
เลขที่ 228-228/3 ถนนสิรินธร เขตบางพลัด กทม. 10700 โทร 02-4239435
E-mail: yaiplang@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	ปีที่สำเร็จ	สถาบันการศึกษา	วิชาเอก/สาขา	ชื่อปริญญา
ปริญญาตรี	2546	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต	สาขาคหกรรมศาสตร์ทั่วไป	วท.บ
ปริญญาโท	2557	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)	สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร	วท.ม.

งานวิจัยที่กำลังทำ

ผลของกระบวนการทำแห้งและสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในส้มโอ (แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปี 2557 ผู้ร่วมวิจัย)

ผลของสนามแม่เหล็กต่อการเพิ่มมูลค่าและการเก็บรักษาธัญพืชและข้าวสารไทย (ทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต (งบประมาณแผ่นดิน) ปี 2558 ผู้ร่วมวิจัย)

การเปลี่ยนแปลงความหลากหลายชนิดของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตรในเขตอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี (ทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต (งบประมาณโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา) ปี 2558 ผู้ร่วมวิจัย)

ชื่อ–นามสกุล (ภาษาไทย) นางณัชนก มีประถม
ชื่อ–นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Natchanok Meeprathom
หมายเลขบัตรประชาชน 3102000679386
ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ
สถานที่ติดต่อ: หลักสูตรเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต เลขที่ 228-228/1-9 ถนนสิริธร บางบำหรุ บางพลัด กรุงเทพฯ 10700 โทร 02-4239435 มือถือ 095-5242936
E-mail: natchanoknukit@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	ปีที่สำเร็จ	สถาบันการศึกษา	วิชาเอก/สาขา	ชื่อปริญญา
ปริญญาตรี	2545	มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ	วิทยาศาสตร์การอาหาร และโภชนาการ	วท.บ
ปริญญาโท	2549	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)	พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร	วท.ม.
ปริญญาเอก	2557	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)	สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร	ปร.ด.

หัวหน้าโครงงาน

: การพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วมังกรแช่อิ่มจากผลตกเกรด
: การลดการตกตะกอนของน้ำใบเตยและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่
: การศึกษาการใช้มะนาวผงแทนกรดซิตริกในผลิตภัณฑ์แยมแก้วมังกร
: การเปรียบเทียบสภาวะการผลิตพิวเร่แก้วมังกรต่ออายุการเก็บ
: การศึกษาสูตรและกรรมวิธีที่เหมาะสมการผลิตเฟรนช์ฟรายแก่นตะวันแช่เยือกแข็ง
: การศึกษาการใช้ผงแก่นตะวันในผลิตภัณฑ์เกี๊ยวซ่า

ผู้ร่วมโครงงาน

: การศึกษาพฤติกรรมการบริโภคอาหารกับภาวะการมีอายุยืนของผู้สูงอายุ ไทย
: เยลลี่ข้าวหอมมะลิผสมธัญพืชพร้อมดื่ม
: การวิจัยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในโครงการตำรับมาตรฐานอาหารไทยยอดนิยมสำหรับชาวต่างชาติ

ผลงานวิจัย

Nukit Meeprathom, N., Jongrattanavit K. and Kooprasertying P. (2018). Proximate Compositions, Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Antibacterial Activity of Chulta (*Dillenia indica* Linn.) Fruits: Effects of Maturity Stage and Extraction Solvent. **Journal of Food Health and Bioenvironmental Science,** 11(1): 89-78.