



รายงานการวิจัย

ผลของการแปรรูปต่อสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำ
สำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต

Effect of Processing on Antioxidant of Ready to Eat Black
Glutinous Rice in Retort Pouch

ขวัญจิตต์ อนุกุลวัฒนา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของการแปรรูปต่อสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำ
สำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต

Effect of Processing on Antioxidant of Ready to Eat Black
Glutinous Rice in Retort Pouch

ขวัญจิตต์ อนุกุลวัฒนา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2559

ชื่องานวิจัย ผลของการแปรรูปต่อสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต
ผู้วิจัย ขวัญจิตต์ อนุกุลวัฒนา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต เป็นการนำข้าวเหนียวดำมาผ่านการแปรรูปต่างๆ เช่น การแช่น้ำ การนึ่งไอน้ำ การฆ่าเชื้อโดยใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำ ในการวิจัยครั้งนี้มีการนำข้าวเหนียวดำมาแช่น้ำรูปแบบต่างๆ 3 แบบคือ แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นลงตามธรรมชาติ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และแช่น้ำที่ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที และนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที จากการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ตพบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด รวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ ทั้งการแช่น้ำ การนึ่ง และการฆ่าเชื้อ โดยขั้นตอนการแช่น้ำ มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าขั้นตอนการนึ่ง และการฆ่าเชื้อ ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ตที่มีการแช่น้ำอุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นลงตามธรรมชาติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดด้วย ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีDPPH และวิธีFRAP

คำสำคัญ : ข้าวเหนียวดำ การแปรรูป สารต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Research Title Effect of Processing on Antioxidant of Ready to Eat Black Glutinous Rice in Retort Pouch

Author Miss Kwanjit Anukulwattana

Institute Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

ABSTRACT

Ready to eat black glutinous rice (BGR) in retort pouch was made from various processed BGR such as soaking, steaming and high temperature sterilization which affect the amount of antioxidants and antioxidant activity. In this research, three preparation methods of BGR were soaked : soaked in water at room temperature for 12 hours (LC), soaked in hot water at an initial temperature of 100°C and allowed to cool down at room temperature for 3 hours (LH) and soaked in a constant heated water at 60°C for 30 minutes (LB). Then steamed for 30 minutes and sterilized at 115 °C for 25 minutes. By measuring the amount of antioxidants and the antioxidant activity of BGR from various processing to produce the ready to eat BGR in retort pouch found that the total anthocyanins, flavonoids and total phenolic compounds contents including the antioxidant activity were decreased gradually. The soaking process was more effective to the antioxidants content than the steaming and sterilizing process. Ready to eat BGR in retort pouch product from LH had the maximum of total anthocyanins, flavonoid and total phenolic compounds contents including the most of antioxidant activity evaluated both by DPPH and FRAP assay.

Keyword : black glutinous rice , processing, antioxidant, antioxidant activity

(ค)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยความช่วยเหลือ และความร่วมมืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่ายที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้

ขวัญจิตต์ อนุกุลวัฒนา

1 มีนาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผัว	3
2.2 สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำ	6
2.3 เทคโนโลยีการผลิตอาหารในถุงรีทอร์ท (Retort Pouch)	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	15
3.1 วัสดุดิบ	15
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	15
3.3 สารเคมี	15
3.4 วิธีการทดลอง	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	18
4.1 ผลการแปรรูปต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำ สำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ท	18
4.2 ผลของการแปรรูปต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำ สำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ท	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	25
บรรณานุกรม	26
ภาคผนวก	30
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพ	31
ภาคผนวก ข ค่าการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ	35
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการหาค่า F_0	37
ประวัติผู้วิจัย	41

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำ สายพันธุ์ลิ้มผั่ว	5
2.2	ปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสี (มิลลิกรัมของแอนโทไซยานิน/100กรัมตัวอย่าง)	9
4.1	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วที่ผ่านการแปรรูป แบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท	23
ข1	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วที่ผ่านกระบวนการแปรรูป แบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท	36

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทั่วไปของแอนโทไซยานิน	8
2.2 การเปลี่ยนรูปโครงสร้าง (Structural transformation) ของแอนโทไซยานิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	11
4.1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท	20
4.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท	21
4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท	22
ค1 ภาพประกอบการหาค่า F_0	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวจัดเป็นอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อประชากรโลก มีผู้คนว่าครึ่งโลกที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก สำหรับประเทศไทย นอกจากมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักแล้ว ข้าวยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญต่อการส่งออกของประเทศ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาข้าวไทยได้รับการพัฒนาพันธุ์ข้าวและคุณภาพมาอย่างต่อเนื่อง จนได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วโลก ทำให้ข้าวไทยเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการแข่งขันในตลาดระหว่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับวิถีชีวิตของสังคมเมืองมีมากขึ้นในทุกประเทศ มีลักษณะการใช้ชีวิตที่เร่งรีบ บุคคลในทุกวัยมีความต้องการอาหารพร้อมบริโภคมากยิ่งขึ้นพร้อมกับการที่สะดวกมีความปลอดภัยต่อการบริโภค มีข้อมูลว่าอาหารกระป๋อง เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในยุคที่ผ่านมา แต่ในปัจจุบันพบว่าอาหารพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุงรีทอร์ต และบรรจุในถ้วยหรือถาดทนความร้อน มีแนวโน้มเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นโดยตลาดผู้บริโภคทั้งในทวีปยุโรป อเมริกา และเอเชียให้การตอบรับอาหารพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุงรีทอร์ตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีส่วนแบ่งของตลาดที่มากขึ้นตามลำดับ และเข้ามาทดแทนตลาดอาหารบรรจุกระป๋อง (วรรณดี, 2555)

ข้าวเหนียวดำ เป็นข้าวเหนียวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกลึงสีดำที่อุดมไปด้วยสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่จำเป็นต่อร่างกายอย่างมาก มีสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ สารแอนโทไซยานิน เป็นสารในกลุ่มของโพลีฟีนอล ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคมะเร็ง (กรมการข้าว, 2556) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ข้าวเหนียวดำมีคุณสมบัติที่ดีในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสำหรับเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการแปรรูปข้าวเหนียวดำเป็นข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต แต่เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน แสง ข้อมูลเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความคงตัวภายใต้สภาวะต่างๆ ยังมีจำกัด ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาผลของการแปรรูปด้วยความร้อน และการเก็บรักษาต่อปริมาณ และ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับข้าวเหนียวดำ การจัดทำฉลากโภชนาการ เป็นการส่งเสริมศักยภาพของข้าวเหนียวดำในการต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการแปรรูปต่อปริมาณ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ขอบเขตด้านวัตถุดิบ

วัตถุดิบข้าวที่ใช้ในการวิจัย คือ ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผัวจากจังหวัดเพชรบูรณ์

1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ตเป็นเวลา 2 เดือน

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 สารต้านอนุมูลอิสระ หมายถึง สารที่สามารถยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)

1.4.2 ข้าวสำเร็จรูป หมายถึง ข้าวที่หุงเรียบร้อยแล้วบรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายได้ทันที

1.4.3 ถุงรีทอร์ต คือบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดอ่อนตัว (flexible packaging) ทำจากฟิล์มหลายชนิดมาเชื่อมประสานขึ้นรูปเป็นถุง (pouch) สามารถปิดผนึกสนิทมีความแข็งแรง สามารถทนต่อความร้อนและความดันสูงได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว

ข้าวเหนียว มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa* var. *glutinosa* ชื่อวงศ์ Poaceae ชื่อสามัญ Glutinous rice เป็นข้าวที่มีอะไมโลสปริมาณต่ำมาก ข้าวสารจะมีสีขุ่น เมล็ดข้าวที่สูงแล้วจะติดกันเหมือนกาว นิยมบริโภคเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากจะบริโภคโดยตรงแล้วยังมีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราพื้นบ้าน การผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร และขนมขบเคี้ยว เป็นต้น ข้าวเหนียวมี 2 ชนิด คือ ข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำ สำหรับข้าวเหนียวดำนั้น ภาษาพื้นเมืองของทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่า ข้าวกำ แต่ข้าวเหนียวดำจะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากกว่าข้าวเหนียวขาว คือ Oligomeric Proanthocyanidin Complexs (OPC) มีสรรพคุณช่วยลดการแก่ก่อนวัย และความเสื่อมถอยของร่างกาย โดยสารโอฟีซีทีพบในข้าวเหนียวดำเป็นสารชนิดเดียวกับสารสกัดที่ได้จาก องุ่นดำ องุ่นแดง และเปลือกสน (กฤษดา, 2552)

ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว เป็นข้าวเหนียวนาปีของกลุ่มชาติพันธุ์ชาวม้ง บ้านรวมไทยพัฒนาที่ 3 ตำบลรวมไทยพัฒนา อำเภอพบพระ จังหวัดตาก ปลูกในสภาพไร่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 650 เมตร และได้มีกลุ่มชาติพันธุ์ชาวม้ง นำเมล็ดพันธุ์มาปลูกในบริเวณรอยต่อระหว่างอำเภอนครไทย และอำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก ต่อมาปี 2533 นายพนัส สุวรรณธาดา ได้ปฏิบัติกรงานราชการโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ภูซัด ภูเมียง ภูสอยดาวบริเวณอำเภอนครไทย และอำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก ได้พบเห็นและสนใจจึงรวบรวมและนำมาปลูกเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกจากแหล่งเดิม (อำเภอพบพระ) และคัดเลือกพันธุ์ให้บริสุทธิ์ระหว่างปี 2534-2538 ณ ส่วนแยกของสถานีทดลองพืชสวนดอยมูเซอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก เพื่อใช้ในโครงการตามพระราชเสาวนีย์ของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ จากนั้นนายพนัส สุวรรณธาดา จึงได้ทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ในปี 2539 แล้วนำเมล็ดพันธุ์ที่ได้ไปให้กลุ่มชาติพันธุ์ชาวม้งตำบลรวมไทยพัฒนา อำเภอพบพระ จังหวัดตาก ซึ่งเป็นแหล่งปลูกดั้งเดิมปลูกขยายพันธุ์ เพื่อให้ประโยชน์ต่อไป แต่เมื่อเวลาผ่านไปด้วยวิธีการปลูกแบบชาวเขา ที่มักปลูก

ข้าวหลายพันธุ์ใกล้เคียงกัน หรือปลูกด้วยกันทำให้ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลืมนิ้ว มีเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์อื่นปน และไม่เป็นพันธุ์บริสุทธิ์ ปี 2550 ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก และศูนย์วิจัยข้าวแพร่ ได้เริ่มทำการคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์อีกครั้ง เริ่มจากการคัดเลือกแบบหมู่ (Mass selection) และคัดเลือกรวงในปี 2551 เพื่อมาทำเป็นพันธุ์บริสุทธิ์โดยปลูกแบบรวงต่อแถว แล้วนำไปเปรียบเทียบผลผลิตเบื้องต้นที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร ทดสอบการปรับตัวในแปลงเกษตรกรที่ อำเภอลำดวน จังหวัดเพชรบูรณ์ ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานี และในนาราชบุรี วิเคราะห์คุณค่าเมล็ดทางโภชนาการ ทดสอบปฏิบัติการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ทดสอบปฏิบัติการต่อโรค และแมลงศัตรูข้าว ที่สำคัญวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ เคมี คุณภาพสี การหุงต้มรับประทาน และทำลายพิมพ์เอกลักษณ์ (DNA fingerprint) และขณะนี้อยู่ในโครงการนำร่องอนุรักษ์พันธุ์ข้าวเพื่อใช้ประโยชน์ ของสำนักวิจัยข้าวและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (อัจฉราพร และอภิชาติ, 2553)

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลืมนิ้ว เป็นข้าวเหนียวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกลี้ยงสีดำ อายุเบาเก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนตุลาคม ลักษณะทรงกอตั้งต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ปล้องสีเหลืองอ่อน กาบใบและใบสีเขียว ลิ้นใบสีน้ำตาลอ่อนหูใบสีเหลืองน้ำตาล ใบธงหักลง คอรวงยาว รวงค่อนข้างแน่น กลีบดอกกระยะออกรวง 50% มีสีเขียวอ่อน เมื่อระยะนํ้าหนักกลีบดอกเปลี่ยนสี เป็นแถบสีม่วงบนพื้นสีเขียวอ่อนต่อมาเมื่อเข้าสู่ระยะแป้งแข็ง สีกลีบดอกจะเปลี่ยนเป็นสีฟางแถบม่วงดำ และเมื่อข้าวระยะสุกแก่สีเปลือกเมล็ด เปลี่ยนเป็นสีฟางแถบดำ หรือสีฟาง มีความสูงเฉลี่ย 151 เซนติเมตร น้ำหนักข้าวเปลือก 10.4 กิโลกรัมต่อถัง ข้าวเปลือก 1,000 เมล็ดหนัก 38.1 กรัม เปลือกเมล็ดเป็นสีฟางแถบดำ ข้าวเปลือกมีขนาดยาว 10.7 มิลลิเมตร หนา 1.9 มิลลิเมตร คุณภาพการสีข้าวได้ข้าวเมล็ดเต็ม และต้นข้าว 48.2 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพเมล็ดทางเคมี มีการสลายเมล็ดในด่างที่ 1.4 และ 1.7% KOH ดํา คุณหมุมิแป้งสุกต่ำอัตราการยี้ดตัวปกติ ระยะพักตัว 5 สัปดาห์

2.1.2 ลักษณะเด่นของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลืมนิ้ว

2.1.2.1 เมล็ดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ แอนโทไซยานิน และแกรมมา-ไฮโรซานอล กรดไขมันอิ่มตัว เช่น โอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 วิตามิน เช่น วิตามินอี ธาตุอาหาร เช่น เหล็ก แคลเซียม แมงกานีส

2.1.2.2 ข้าวกลี้ยงเมื่อหุงสุก มีกลิ่นหอม ลักษณะสัมผัสเมื่อเคี้ยวจะกรุบหนึบภายในนุ่มเหนียว

2.1.3 องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว

จากการวิเคราะห์โดยศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าวพบว่า องค์ประกอบต่างๆ ในข้าวแสดงดังตาราง 2-1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว

สารอาหาร	ปริมาณ
1. Saturated Fat	0.76 g/100g
2. Monounsaturated fatty acid	1.16 g/100g
3. Polyunsaturated fatty acid	1.19 g/100g
4. Unsaturated fat	2.35 g/100g
5. Omega 3	33.94 mg/100g
6. Omega 6	1,160.08 mg/100g
7. Omega 9	1,146.10 mg/100g
8. Vitamin B1	0.05 mg/100g
9. Vitamin B2	0.035 mg/100g
10. Niacin	6.48 mg/100g
11. Dietary Fiber	2.33 mg/100g
12. Vitamin E (Alpha-tocopherol)	16.83 mg/kg
13. Vitamin E (Gamma-tocopherol)	6.48 mg/kg
14. Vitamin E (Delta-tocopherol)	0.39 mg/kg
15. Gamma Oryzanol	490.49 mg/kg
16. Phytate	4,801.15 mg/kg
17. Iron (Fe)	84.18 mg/kg
18. Calcium (Ca)	169.75 mg/kg
19. Zine (Zn)	23.60 mg/kg
20. Manganese (Mn)	35.38 mg/kg

21. Protein (dry basis)	10.63	%
22. Total antioxidant	833.77	Ascorbic acid/100g

(กรมการข้าว, 2556)

ส่วนประกอบต่างๆ ในข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว มีคุณค่าทางโภชนาการต่อร่างกายมนุษย์ ดังต่อไปนี้

- 1) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ
- 2) ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง
- 3) ช่วยลดคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์
- 4) ช่วยลดการหย่อนสมรรถภาพทางเพศ
- 5) ช่วยบำรุงสมอง ป้องกันภาวะสมองเสื่อม
- 6) ช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่ง
- 7) ช่วยป้องกันการอุดตันในเส้นเลือด

2.2 สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำ

เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวมีสารที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่หลายชนิด ส่วนมากจะเป็นสารในกลุ่มของโพลีฟีนอลซึ่งรวมถึงสารแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังมีวิตามินอีและเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 โพลีฟีนอล

โพลีฟีนอลเป็นสารที่พบมากในธรรมชาติทั้งพืชผักและผลไม้ โดยจะพบมากในองุ่น ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ รวมถึงข้าวที่มีรวงควัตุหรือข้าวมีสี (Escribano-Bailon *et al.*, 2004) โพลีฟีนอลเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญโดยมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบและการแพ้ รวมถึงการมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด เป็นสารต้านการก่อมะเร็งและลดความดันโลหิต จากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด (โสภาและคณะ, 2549)

โพลีฟีนอลแบ่งกว้างๆ ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.2.1.1 Phenolic acids มีอยู่หนึ่งในสามของโพลีฟีนอลที่เราบริโภค มีโมเลกุลง่ายๆ เช่น caffeic acid vanillin และ hydroxycinnamic acid ซึ่งพบทั่วไปในพืช

2.2.1.2 Flavonoids มีอยู่สองในสามของโพลีฟีนอล พบทั่วไปในพืช แต่จะมีมากเป็นพิเศษในพืชบางชนิด โครงสร้างของ flavonoids และ tannins ใกล้เคียงกัน ออกซิเดชัน และสภาวะของการหุงต้มเป็นอย่างมาก flavonoids ยังแบ่งออกเป็น

- Anthocyanins และ anthocyanidins เป็นกลุ่มสารสีที่ละลายน้ำและให้สีจัด พบในผลไม้ ผัก และดอกไม้ที่ออกสีตั้งแต่ชมพูไปจนถึงสีแดงสด ม่วงไปจนถึงน้ำเงิน มีมากพิเศษในองุ่น และผลเบอร์รี่ชนิดต่างๆ

- Catechins พบมากพิเศษในชา องุ่น โกโก้ หอม แอปเปิ้ล ไวน์แดง บรอกโคลี และแปะก๊วย ตัวอย่างสารประเภทนี้ เช่น monomeric flavan-3-ols catechin, epicatechin, gallocatechin, epigallocatechin

- Flavones ได้แก่ apigenin, luteolin

- Flavanones ได้แก่ hesperidin, naringin

- Isoflavones ได้แก่ genistein, daidzein ซึ่งพบในถั่วเหลือง และมีผลกับสุขภาพของกระดูกสำหรับผู้หญิงหลังวัยหมดประจำเดือนซึ่งมีฮอร์โมนลดลง

- Lignins พบในพืชเปลือกแข็ง และธัญพืชทั้งเมล็ด

- Proanthocyanidins พบในองุ่น ไวน์แดง และเปลือกสน สารสกัดเมล็ดองุ่นเป็นแหล่งโพลีฟีนอลที่เข้มข้นมาก

- Proyanidins พบมากในไวน์แดง องุ่น เมล็ดองุ่น โกโก้ แอปเปิ้ล

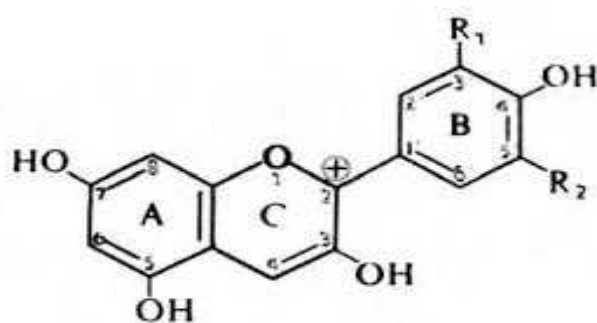
- Tannins พบในไวน์แดง ชา และถั่ว มีโมเลกุลใหญ่

Choi *et al.* (2007) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากธัญพืชบางชนิดที่พบในประเทศเกาหลี ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของโพลีฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของแคทีโคโนยด์ และวิตามินอี พบว่าปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มโพลีฟีนอลมีปริมาณสูงที่สุดในข้าวฟ่าง รองลงมาคือข้าวสาลีดำ ซึ่งพบในปริมาณเท่ากับ 733 และ 313 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนปริมาณของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ พบมาก

ในถั่วเขียว (102 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง) มีการศึกษาเพิ่มเติมถึงฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวต่ออนุมูล DPPH- และ ABTS+ ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และ reducing power ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่าง และข้าวสาลีดำ มี scavenging capacity ความสามารถในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระในกรดไลโนเลอิก และ reducing power สูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าวขาว ข้าวบาร์เลย์ และถั่วเขียว เป็นต้น

2.2.2 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โครงสร้างของแอนโทไซยานินประกอบด้วย แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) หรืออะไคโคนกับน้ำตาลและแอซิล (acyl group) ซึ่งส่วนนี้จะไม่มีหรือไม่มีก็ได้ แอนโทไซยานิดินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (A) ต่อกันกับวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก (C) และมีวงแหวนอะโรมาติกหรืออาจเป็นหมู่ของเมทอกซิล (methoxyl, -OCH₃) และไฮดรอกซิล (hydroxyl, -OH) มาต่ออีก 1 วง (B) (Castaneda-Ovando *et al.*, 2009) ดังภาพที่ 2.1 เมื่อมีหมู่ของน้ำตาลมาสร้างพันธะกับแอนโทไซยานิดินที่ตำแหน่ง 3 และ 5 เรียกโครงสร้างนี้ว่าแอนโทไซยานิน



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Castaneda-Ovando *et al.* (2009)

แอนโทไซยานินมีสูตรโครงสร้างต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของแอนโทไซยานิดิน และหมู่ของน้ำตาลที่มาสร้างพันธะกัน สารกลุ่มแอนโทไซยานินในพืชอาจพบได้มากกว่า 500 ชนิด แต่ที่พบในบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์มีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ pelargonidin (Pg), peonidin (Pn), cyanidin (Cy), malvidin (Mv), petunidin (Pt) และ delphinidin (Dp) ซึ่งมีความแตกต่างกันที่โครงสร้าง

และจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลหรืออาจมีหมู่ของน้ำตาลเช่นไซโรส อาราบิโนส และแรมโนสมาเกาะที่บริเวณอะไกลโคนที่แตกต่างกัน (Castaneda-Ovando *et al.*, 2009) โดยแอนโทไซยานินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่หมู่ R₃, R_{3'} และ R₅ และมีค่าการส่องผ่านที่แตกต่างกัน

สำหรับสารให้สีกลุ่มแอนโทไซยานินที่พบในข้าวมีสีส่วนใหญ่ คือ cyanidin-3-glucoside รองลงมาคือ peonidin-3-glucoside นอกจากนี้อาจพบ cyanidin-3-gentiobioside, cyanidin-3-rhamnoside, cyanidin-3,5-diglucoside, cyanidin-3-rhamnoglucoside, malvidin-3-galactoside, peonidin-3-rhamnoglucoside และ delphinidin ซึ่งจะพบในปริมาณน้อย และในข้าวต่างชนิดจะมีปริมาณแอนโทไซยานินที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 2.2 พบว่าข้าวชนิด Suwon #415 มีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-glucoside สูงที่สุดเท่ากับ 470 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และข้าวชนิด Suwon #425 มีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด peonidin-3-glucoside สูงที่สุดเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (Escribano-Bailon *et al.*, 2004)

ตาราง 2.2 ปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสี (มิลลิกรัมของแอนโทไซยานิน/100กรัมตัวอย่าง)

พันธุ์ข้าว	Cyanidin-3-glucoside	Peonidin-3-glucoside	รวม
Suwon #415	470	23	493
Kilimheugmi	240	26	266
Suwon #425	206	40	246
Heugjinmi	200	32	232
Sanghaehyeolla	50	5	55
Hongmi	30	6	36
Suwon #405	16	4	20
Suwon # 420	10	nd	10
Jawangdo	10	t	10

(Ryu *et al.*, 1998)

nd: not detected, t: trace

Sompong *et al.* (2011) ศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสีแดงและดำ โดยแบ่งเป็นข้าวสีแดง 9 พันธุ์ และ ข้าวดำ 3 พันธุ์ จากประเทศไทย จีน และศรีลังกา จากการศึกษาพบว่า ในข้าวสีดำ ทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน 109.5-256.6 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าข้าวสีแดงทั้ง 9 พันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.3-1.4 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ตัวอย่าง และพบว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาวจากประเทศไทยและข้าวสีดำจากประเทศจีน มีปริมาณ cyanidin 3-glucoside เท่ากับ 137 และ 141 มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

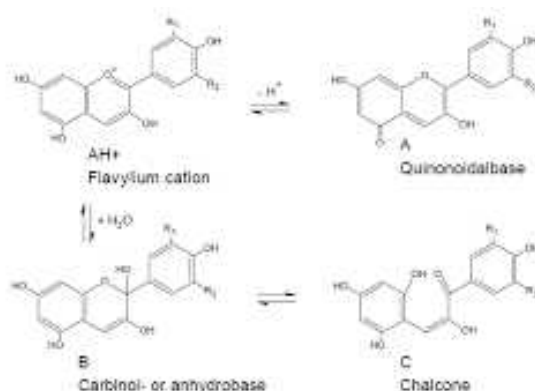
2.2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานิน ได้แก่ โครงสร้างเคมี และองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แสง และการรวมตัวกับสารอื่น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

โครงสร้าง ความคงตัวของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของน้ำตาลที่ใกล้กับฟลาวิลเลียมไอออน และจำนวนของกรดที่เชื่อมต่อกับไกลโคซิลิก รวมทั้งเกี่ยวข้องกับจำนวนและตำแหน่งในการแทนที่ฟลาวิลเลียมไอออนของไฮดรอกซิลและเมทอกซิล ตัวอย่างเช่น 3-deoxy anthocyanins ที่มีสีเหลืองเนื่องจากการดีไฮดรอกซีเลชัน (dehydroxylation) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ทำให้มีความเสถียรมากกว่า 3-hydroxy anthocyanins ที่มีสีแดง และหากโครงสร้างในส่วนของวงแหวน ฟีนอลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อแอนโทไซยานินเช่น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นและการเพิ่มหมู่เมทอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' และ 5' จะทำให้มีสีแดงเพิ่มขึ้น (Mercadante and Bobbio, 2008)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในสารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด เป็นกลาง และเป็นเบส โครงสร้างของแอนโทไซยานิน จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ 4 รูปแบบ คือ quinonoidal, flavylium cation, carbinol หรือ pseudobase และ chalcone (ดังภาพ 2.2) เมื่อ pH สูงขึ้นทำให้ความเข้มของสีและความเข้มข้นของ flavylium cation ลดลง ส่งผลให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนจาก flavylium cation ซึ่งมีสีแดงในสารละลายที่เป็นกรดไปเป็น carbinol ซึ่งไม่มีสี และเมื่อค่า pH สูงขึ้นต่อไปอีกทำให้ carbinol เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone ซึ่งไม่มีสีส่งผลให้เกิดการเปิดออกของ วงแหวน (Rien, 2005) สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบสอ่อน pH ประมาณ 9

แอนโทไซยานินจะมีสีม่วงเข้มเกือบดำ และที่ pH มากกว่าหรือเท่ากับ 11 แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ blue quinoidal ซึ่งมีสีน้ำเงิน



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนรูปโครงสร้าง (Structural transformation) ของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Rein (2005)

อุณหภูมิ มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยอัตราการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น cyanidin 3-glucoside และ cyaniding 3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอ่อน (pH 1-4) ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจนและการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแปรรูปสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการเปิดออกของวงแหวนpyrylium ในโครงสร้างของแอนโทไซยานินทำให้แอนโทไซยานินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone และการสลายตัวของอะโกลโคน เป็นขั้นแรกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานิน และอาจเกิดการแตกสลายเป็นอนุพันธ์ coumarin รวมถึงอาจเกิดการสลายตัว หรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้

แสง การสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกับแสง โดยกลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเกิดขึ้นจากเมื่อแอนโทไซยานินสัมผัสกับแสงทำให้อิออนเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลแอนโทไซยานิน ทำให้เกิด

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน และเป็นตัวเร่งให้เกิดการสลายตัวของสาร แอนโทไซยานินจากความร้อน

ออกซิเจน มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ hydrogen peroxide ทำให้พันธะคู่ (conjugate bond; พันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว) ของวงแหวน pyrylium หายไปส่งผลให้แอนโทไซยานินไม่มีสีและเกิดเป็นอนุพันธ์ของ coumarin

การรวมตัวกับสารอื่น (copicmentation) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานินกับสารอื่น (intermolecular copicmentation) เช่น ฟลาโวนอยด์ อัลคาลอยด์ กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ นิวคลีโอไทด์ และโพลีแซคคาไรด์ โดยพันธะเคมีที่เกิดขึ้นเป็น hydrogen bonding เกิดปฏิกิริยาขึ้นภายในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (intramolecular copicmentation) ระหว่างส่วนที่เป็นแอนโทไซยานินติดกับกรดอินทรีย์ โดยพันธะโควาเลนต์ การเกิดปฏิกิริยาของแอนโทไซยานินกับไอออนของโลหะ (metal copicmentation) และการเกิดปฏิกิริยาของแอนโทไซยานินด้วยกันในสถานะที่มีความเข้มข้นของแอนโทไซยานินสูง (self association) ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของ flavylium cation และเพิ่มความคงตัวของ flavylium cation ให้มีสีแดงเข้มขึ้น (Castaneda-Ovando *et al.*, 2009)

2.2.2.2 ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน

1) ใช้เป็นสีย้อมอาหาร (food dye) เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารแอนโทไซยานิน สามารถอยู่ในรูปแบบผงและของเหลว จึงสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการของอาหารและผสมกับส่วนของไข่ขาวเพื่อใช้เป็นสารช่วยให้ความคงตัว (stabilizer) แทนการใช้แป้ง รวมทั้งเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ต่ำ แต่ทั้งนี้สีผสมอาหารแอนโทไซยานินไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น นมเปรี้ยว และครีมเปรี้ยว

2) ใช้เป็นส่วนผสมในแฮมพู ซึ่งสารแอนโทไซยานินจะช่วยให้เซลล์รากผมสร้างผมได้มากขึ้นถึง 3 เท่า รวมทั้งเป็นส่วนผสมในครีมวดผม

3) ใช้เป็นส่วนผสมในสารกันแดด ช่วยให้ผิวหนังดูอ่อนกว่าวัย ชะลอความเสื่อมสภาพของผิวหนัง เนื่องจากสารแอนโทไซยานินช่วยยับยั้งความเสียหายของผิวหนัง

จากกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดจากแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เมื่อใช้ร่วมกับวิตามินอีจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4) ช่วยดูดซับอนุมูลอิสระ โดยทำหน้าที่เป็นตัวต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะกระบวนการออกซิเดชัน เช่น ในการสังเคราะห์แสงจะมีการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ขึ้น แอนโทไซยานินจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนี้ ทำให้พิษของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หมดไป ในแง่ของโภชนาการแอนโทไซยานินจะช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โดยยับยั้งการรวมตัวระหว่างออกซิเจนกับคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDL-cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันที่ไม่พึงประสงค์ ในขณะที่เดียวกันจะเพิ่มปริมาณของคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นสูง (HDL-cholesterol) ที่เป็นไขมันดีได้

2.2.3 วิตามินอี

วิตามินอี พบมากในรำข้าว จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยยับยั้งและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ และทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ ภายในร่างกาย องค์ประกอบของวิตามินอีที่พบในรำข้าวจะอยู่ในรูปของแอลฟาโทโคฟีรอล แอลฟาโทโคไทรอินอล แกมมาโทโคฟีรอล และแกมมาโทโคไทรอินอล (เพ็ญพรรณ, 2550)

2.2.4 เบต้าแคโรทีน

เบต้าแคโรทีน เป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นสารสำคัญของพืชที่มีสี เบต้าแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอกล่าวคือ สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอหลังจากถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ การรับประทานอาหารประเภทที่มีเบต้าแคโรทีนสูง จะช่วยบำรุงสายตา ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด และ สร้างความต้านทานให้ระบบหายใจ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาพันธุ์ข้าวในบริเวณที่ราบสูงของประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกันของปริมาณเบต้า แคโรทีนโดยจะขึ้นอยู่กับสีของธัญพืช และจากการศึกษาพบว่า ข้าวมีสีมีปริมาณค่าเฉลี่ยของเบต้าแคโรทีน 0.13 ไมโครกรัม/ กรัมตัวอย่าง ซึ่งผลเป็นไปในทางตรงเดียวกันกับพันธุ์ข้าวของประเทศมาเลเซีย เวียดนาม และประเทศไทย (เพ็ญพรรณ, 2550)

2.3 เทคโนโลยีการผลิตอาหารในถุงรีทอร์ท (Retort Pouch)

เทคโนโลยีนี้นำมาใช้บรรจุอาหารสำเร็จรูปและผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนในปี ค.ศ.1965-1968 สหรัฐอเมริกานำเทคโนโลยีนี้ไปผลิตเสบียงอาหารให้กองทัพ และปี ค.ศ.1980 องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้ให้การรับรองให้ใช้ ถุงรีทอร์ท และบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว (Retort Pouch or Flexible Can)

อาหารพร้อมบริโภคบรรจุในถุงรีทอร์ท หรือการบรรจุในถ้วยหรือถาดทนความร้อน และผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนแบบสเตอริไรซ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์จึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค ถุงรีทอร์ทเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวที่ประกอบด้วยแผ่นฟิล์มหลายชั้นที่ฉีกแน่น โดยแผ่นฟิล์มทำด้วยวัสดุที่ทนความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า 121 องศาเซลเซียส โดยจะทนความร้อนได้สูงถึง 132 องศาเซลเซียส (หรือประมาณ 270 องศาฟาเรนไฮต์) จึงสามารถใช้บรรจุอาหารและเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยให้ความร้อนในระดับสเตอริไรซ์คือ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า ขึ้นกับชนิดหรือประเภทของอาหาร

วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของถุงรีทอร์ท เช่น ถุงรีทอร์ทชนิดใส ประกอบด้วย พลาสติกในกลุ่มของ PET พอลิโพรพิลีน ไนลอน และชนิดทึบแสงมีชั้นฟิล์มที่เป็นอะลูมิเนียมฟอยล์เพิ่มอีกหนึ่งชั้น นอกจากถุงรีทอร์ทแล้วยังมีบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวที่มีรูปร่างเป็นถ้วยหรือถาดที่มีสมบัติทนความร้อนได้สูงจึงเรียกว่า ถ้วยหรือถาดทนความร้อน (Retortable tray) ซึ่งวัสดุของบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้ประกอบด้วยพอลิโพรพิลีนที่ผิวภายในและภายนอกและวัสดุชั้นกลางเป็นพอลิเมอริ์นกลุ่มพอลิไวนิลและพอลิโพรพิลีน

ข้อดีของรีทอร์ทแพคเกจ

- 1) อาหารที่บรรจุในรีทอร์ทแพคเกจ มีน้ำหนักเบา ขนส่งได้ง่าย
- 2) ตัวบรรจุภัณฑ์ มีน้ำหนักเบา ประหยัดค่าขนส่งและประหยัดพื้นที่เก็บรักษา
- 3) แข็งแรง ไม่แตกหัก ง่าย

4) มีรูปร่างแบน มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าทำให้มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนได้มาก ความร้อนแทรกผ่านได้ดีกว่า ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (thermal processing) น้อยกว่า ประหยัดพลังงานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารปริมาณเท่ากันที่บรรจุในกระป๋อง หรือขวดแก้ว นอกจากนั้นการใช้เวลาในการฆ่าเชื่อน้อย ช่วยทำให้รักษาคุณภาพด้านต่างๆ ของ

อาหาร เช่น สีส กลิ่น รส เนื้อสัมผัส ของอาหารได้ดีกว่า เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน เช่น น้ำพริกแกง

5) สามารถพิมพ์สี ภาพถ่าย ข้อมูล ที่สวยงาม ดึงดูดความสนใจผู้บริโภคลงบนพื้นผิวได้เลย

6) การเปิดถุงเพื่อนำอาหารออกมาทำได้ง่ายกว่าการเปิดกระป๋องโลหะ โดยเฉพาะถ้าถุงนั้นมีย่อยตัดเพื่อช่วยในการเปิด โดยสามารถเปิดถุงได้ด้วยมือเปล่า โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ช่วย

กระบวนการผลิตอาหารในถุงรีทอร์ท มีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญประกอบด้วยการนำอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อปรุงให้สุกในระดับหนึ่ง บรรจุในถุงรีทอร์ท กรณีที่อาหารมีของเหลวเป็นส่วนประกอบ เช่น น้ำเชื่อม น้ำปรุงรสหรือน้ำแกงให้เติมส่วนของเหลวในขณะร้อน จากนั้นทำการปิดผนึกถุงให้แน่นสนิท และนำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อที่มีระบบฉีดพ่นน้ำร้อนเพื่อรักษาสมดุลของความดันภายในถึงฆ่าเชื้อและความดันภายในบรรจุภัณฑ์ซึ่งจะมีผลช่วยป้องกันไม่ให้อากาศเกิดการฉีกขาด ดังนั้นกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จึงต้องใช้เครื่องฆ่าเชื้อที่มีความจำเพาะดังกล่าวและโรงงานผลิตอาหารต้องลงทุนเครื่องจักรที่ใช้ในการฆ่าเชื้อนี้ซึ่งมีความแตกต่างจากเครื่องฆ่าเชื้อที่ใช้กับอาหารบรรจุกระป๋อง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว จากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 3.2.1 เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3.2.2 เครื่องผสม
- 3.2.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง
- 3.2.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
- 3.2.5 อ่างน้ำร้อน
- 3.2.6 ตู้อบลมร้อน
- 3.2.7 โถดูดความชื้น
- 3.2.8 เครื่องฆ่าเชื้อความดันชนิดดีดสเปรย์น้ำร้อน
- 3.2.9 เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ
- 3.2.10 เครื่องแก้วต่างๆ
- 3.2.11 อุปกรณ์เครื่องครัว

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) (Labscan Asia Co. Ltd., ประเทศไทย)
- 3.3.2 เมทานอล (methanol, CH₃O) (Labscan Asia Co. Ltd., ประเทศไทย)
- 3.3.3 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na₂CO₃) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 3.3.4 โฟลินซิโอคัลทิว (Folin-Ciocalteu) (BHD, ประเทศเยอรมัน)
- 3.3.5 DPPH[•] (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, C₁₈H₁₂N₅O₆) (Labscan Asia Co. Ltd., ประเทศไทย)

3.3.6 กรดแกลลิก (gallic acid, C₇H₆O₅) (Sigma-aldrich, ประเทศเยอรมัน)

3.3.7 สารมาตรฐานโทรลอกซ์ (6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, C₁₄H₁₈O₄) (Merck, ประเทศเยอรมัน)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษาผลของการแปรรูปต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต

นำข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผัวมาแช่น้ำ 3 รูปแบบคือ ข้าวเหนียวดำแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (LC) ข้าวเหนียวดำแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นลงตามธรรมชาติ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (LH) และข้าวเหนียวดำแช่น้ำที่ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (LB) โดยใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำเท่ากับ 1:2 หลังจากนั้นนำข้าวมาทิ้งในลังถึง 30 นาที แล้วบรรจุใส่ในถุงรีทอร์ต ปิดผนึกแบบสุญญากาศ นำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องฆ่าเชื้อชนิดฉีดสเปรย์นําร้อนที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ตไปวัดค่าคุณภาพต่างๆ ดังนี้

3.4.1.1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

3.4.1.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์

3.4.1.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

3.4.2 ศึกษาผลของการแปรรูปต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต

3.4.2.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

3.4.2.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay

นำผลการวิเคราะห์คุณภาพ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพต่างๆ โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

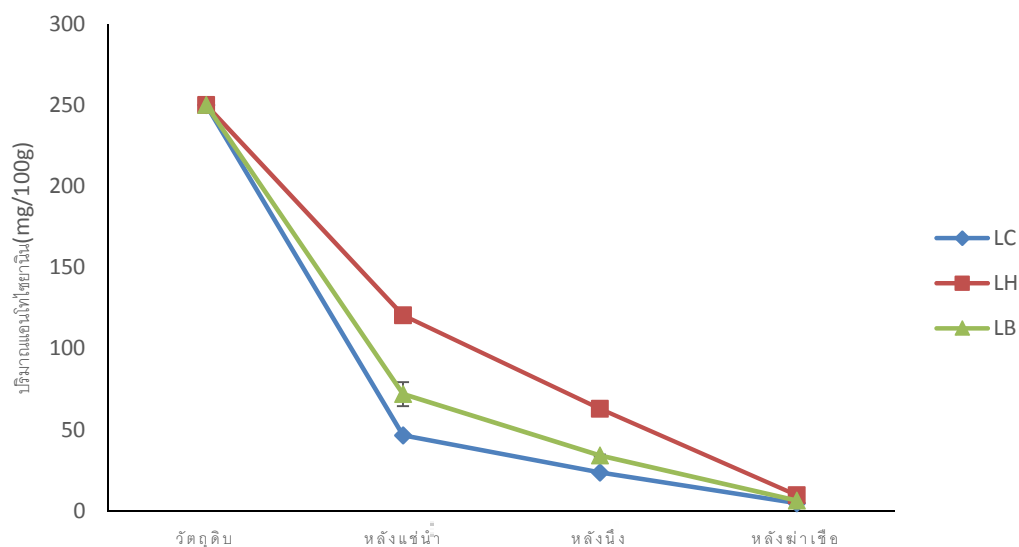
ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุสุญญากาศ เป็นการนำข้าวเหนียวดำมาผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น การแช่น้ำ การนึ่งไอน้ำ การฆ่าเชื้อโดยใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำ ในการวิจัยครั้งนี้ มีการนำข้าวเหนียวดำมาแช่น้ำรูปแบบต่างๆ 3 แบบคือ ข้าวเหนียวดำแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (LC) ข้าวเหนียวดำแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นลงตามธรรมชาติ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (LH) และข้าวเหนียวดำแช่น้ำที่ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (LB) แล้วนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที และนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที การวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำ ได้ผลดังนี้

4.1 ผลของการแปรรูปต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุสุญญากาศ

4.1.1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

กระบวนการแปรรูปวัตถุดิบข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่ว เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุสุญญากาศ ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของข้าวเหนียวดำเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวเหนียวดำมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ ทั้งการแช่น้ำ การนึ่ง และการฆ่าเชื้อโดยขั้นตอนการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ นั้น มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าขั้นตอนการนึ่งและการฆ่าเชื้อ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Volden *et al.* (2008) ที่พบว่าการแปรรูปกะหล่ำปลีสีแดงด้วยการลวก และต้ม มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงมากกว่าการนึ่ง คือลดลงร้อยละ 59 41 และ 29 ตามลำดับ เนื่องจากการแช่น้ำ และการใช้ความร้อนมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน กล่าวคือที่ระยะเวลาเท่ากัน ข้าวเหนียวดำที่แช่น้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินมากขึ้นและที่อุณหภูมิเท่ากัน ระยะเวลาการแช่น้ำที่นานขึ้น ข้าวเหนียวดำก็จะเกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินมากขึ้นเช่นกัน (สุไหงนิย์, 2557) เนื่องจาก

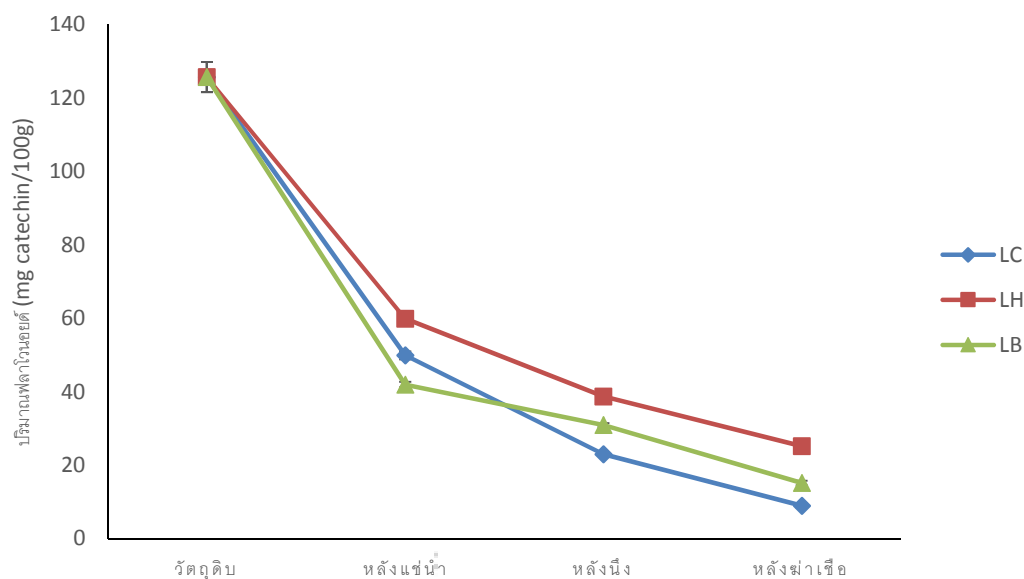
แอนโทไซยานินเป็นสารที่สามารถละลายได้ดีในน้ำ การแช่น้ำจึงเป็นการทำให้แอนโทไซยานินละลายออกมาจากวัตถุดิบ และความร้อนมีผลทำให้ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายและสัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินจากวัตถุดิบมากขึ้น (Jerez et al., 2006) สำหรับการให้ความร้อนด้วยการนึ่ง และการฆ่าเชื้อก็ส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง เนื่องจากเกิดการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน ทั้งนี้เนื่องจากการเปิดออกของวงแหวน pyrylium ในโครงสร้างของแอนโทไซยานินทำให้แอนโทไซยานินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone และการสลายตัวของอะโกลโคน เป็นขั้นแรกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานิน และอาจเกิดการแตกสลายเป็นอนุพันธ์ coumarin รวมถึงอาจเกิดการสลายตัว หรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ จากผลการทดลองสิ่งทดลอง LH มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากที่สุด ทั้งหลังแช่น้ำ หลังนึ่ง และหลังฆ่าเชื้อ อาจเนื่องมาจากการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น Hillmann et al. (2011) พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินในน้ำอุ่น โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราการสลายตัวแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ($k \times 10^{-3}$) เพิ่มขึ้น และค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ของแอนโทไซยานินลดลง Crowe and Murray (2013) พบว่ากระบวนการผลิตน้ำผลไม้ส่งผลอย่างยิ่งต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่น การผลิตผลิตภัณฑ์จากสตอเบอรี่ เช่น น้ำสตอเบอรี่ และแยมสตอเบอรี่ มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง เนื่องจากกระบวนการบดผลสตอเบอรี่และการให้ความร้อน



ภาพที่ 4.1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท

4.1.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ ในข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท แสดงดังภาพที่ 4.2

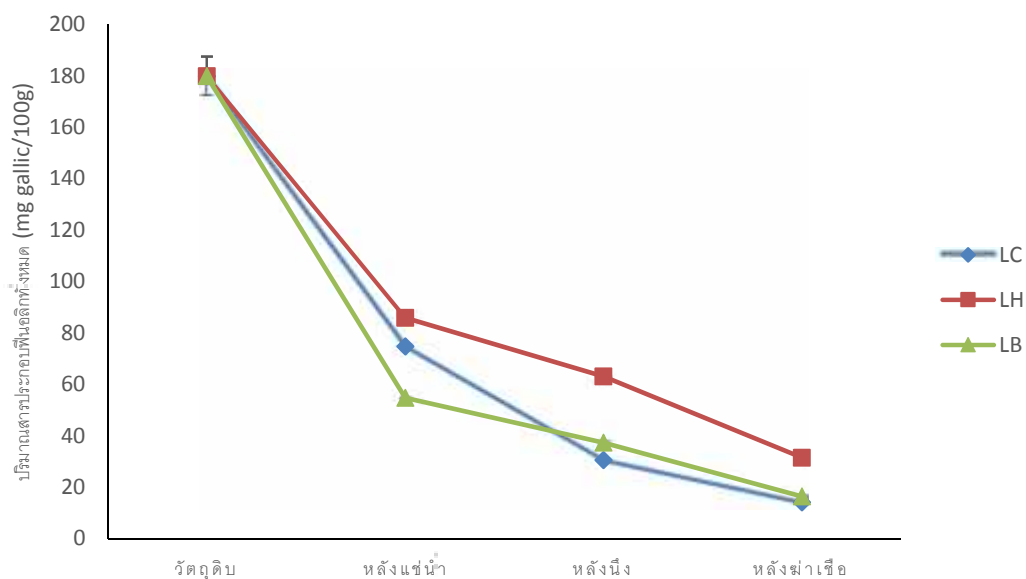


ภาพที่ 4.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผิวที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท

ปริมาณฟลาโวนอยด์ในข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผิวมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ ทั้งการแช่น้ำ การนึ่ง และการฆ่าเชื้อ ขั้นตอนการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ นั้น มีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์มากกว่าขั้นตอนการนึ่ง และการฆ่าเชื้อ จากกราฟจะพบว่าสีทดลอง LH มีปริมาณฟลาโวนอยด์เหลือมากที่สุด ทั้งหลังแช่น้ำ หลังนึ่ง และหลังฆ่าเชื้อ อาจเนื่องมาจากการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้อยกว่าสีทดลองอื่น เพราะการแช่น้ำ และการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ เช่นเดียวกับปริมาณแอนโทไซยานิน แต่ฟลาโวนอยด์จะมีความคงตัวต่อความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ได้ดีกว่าแอนโทไซยานิน (ณัฐสุภา, 2549)

4.1.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผิวที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วที่ผ่านการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ ทั้งการแช่น้ำ การนึ่ง และการฆ่าเชื้อ ขั้นตอนการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ นั้น มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าขั้นตอนการนึ่ง และการฆ่าเชื้อ จากกราฟจะพบว่าสิ่งทดลอง LH มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเหลือมากที่สุด ทั้งหลังแช่น้ำ หลังนึ่ง และหลังฆ่าเชื้อ อาจเนื่องมาจากการแช่น้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น เพราะการแช่น้ำ และการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เช่นเดียวกับปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณฟลาโวนอยด์

4.2 ผลของการแปรรูปต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ต

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ในข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ต แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผั่วที่ผ่านการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ต

การแปรรูป	ตัวอย่าง	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ			
		DPPH		FRAP	
		(μM Trolox/100g)		(μM Trolox/100g)	
หลังแช่น้ำ	วัตถุดิบข้าว	1151.69	± 3.82	612.93	± 7.29
	LC	795.93 ^a	± 1.68	348.52 ^b	± 13.44
	LH	777.15 ^a	± 23.09	432.17 ^a	± 7.52
	LB	478.24 ^b	± 20.61	263.56 ^c	± 7.46
หลังนึ่ง	LC	347.91 ^c	± 24.34	176.70 ^c	± 4.53
	LH	641.09 ^a	± 27.17	337.55 ^a	± 3.72
	LB	425.56 ^b	± 16.26	195.30 ^b	± 10.36
หลังฆ่าเชื้อ	LC	116.53 ^b	± 10.93	75.08 ^b	± 4.57
	LH	232.00 ^a	± 14.75	176.36 ^a	± 6.97
	LB	116.20 ^b	± 11.67	83.12 ^b	± 4.46

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพื่อทดสอบความสามารถในการจับอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า วัตถุบิข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลุ่มฝั้วที่ยังไม่ผ่านการแช่น้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด สามารถกำจัดอนุมูลอิสระโดยให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูล DPPH ได้ดี และเมื่อผ่านการแช่น้ำ การนึ่ง และการฆ่าเชื้อ ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระก็ลดลงเรื่อยๆตามลำดับ โดยถ้าเปรียบเทียบตามกระบวนการแปรรูปจะพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุจุรืทอรัทที่มี การแช่น้ำเดือดแล้วปล่อยให้เย็นลงตามธรรมชาติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (LC) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด และจากการศึกษาความสามารถในการให้อิเล็กตรอนเมื่อทดสอบด้วย FRAP assay ก็ได้ผลลัพธ์สอดคล้องกันคือ วัตถุบิข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลุ่มฝั้วที่ยังไม่ผ่านการแช่น้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด และเมื่อผ่านการแช่น้ำ การนึ่ง และการฆ่าเชื้อ ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระก็ลดลงเรื่อยๆตามลำดับ โดยถ้าเปรียบเทียบตามกระบวนการแปรรูปจะพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุจุรืทอรัทที่มีการแช่น้ำเดือดแล้วปล่อยให้เย็นลงตามธรรมชาติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (LC) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด สอดคล้องกับปริมาณสาร ประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินก็อยู่ในสารกลุ่มนี้ ผลของการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ วิธี FRAP อาจไม่ได้สอดคล้องกันทั้งหมด เนื่องจากการวิเคราะห์ ๒แบบนี้มีการวัดกลไกการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน

ข้าวเหนียวดำมีสารพิษเคมีที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกเป็นส่วนใหญ่ มีโครงสร้างหลักประกอบด้วย Aromatic ring แทนที่ด้วย Hydroxy group กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกอยู่ที่โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นสามารถเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนไปทั่วโครงสร้างได้ (Delocalization) เมื่อมีอนุมูลอิสระมาต้งอิเล็กตรอนไป โครงสร้างจึงยังคงเสถียรไม่เกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ ปฏิกริยาถูกใช้จึงสิ้นสุดลง (Pietta, 2000) ซึ่งผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ให้ผลที่สอดคล้องกับวิธี FRAP และมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากสารสกัดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นสารสกัดหยาบ ซึ่งอาจจะประกอบด้วยสารหลายชนิดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรวมกันอยู่ แต่สารออกฤทธิ์ที่เป็นหลักในการต้านอนุมูลอิสระเป็นสารกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

กระบวนการแปรรูปวัตถุดิบข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผัว เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ท มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด รวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ ทั้งการแช่น้ำ การนึ่ง และการฆ่าเชื้อ

ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ทที่มีการแช่น้ำเดือดแล้วปล่อยให้เย็นลงตามธรรมชาติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (LC) มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดด้วย ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูงในการฆ่าเชื้อเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา แต่ยังคงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีทั้งเป็นตัวจัดอนุมูลอิสระ และเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระเพื่อให้อยู่ในสถานะเสถียร ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ทเป็นการส่งเสริมศักยภาพของข้าวเหนียวดำในการต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

บรรณานุกรม

- กรมการข้าว. 2556. *ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและชีวเคมีของข้าว*. [online]. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.ricethailand.go.th>. (27 สิงหาคม 2556)
- กฤษฎา ศิรามพุช. 2552. *สรรพคุณข้าวเหนียว*. [online]. แหล่งที่เข้าถึง : <http://kulc.lib.ku.ac.th/blog/?p=946>. (10 สิงหาคม 2556)
- ณัฐิกา ศิลาฉาย. 2549. “พลาโวนอยด์ในใบชา : หน้าที่ การใช้ประโยชน์ และการวิเคราะห์.” *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร*. 2 (1): 1-10.
- บุหรีน พันธุ์สุวรรณ. 2556. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 21(3), 275-286.
- พัชรภรณ์ รัตนธรรม ณัฐา เลานกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. 2556. สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีออก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 44(2) (พิเศษ): 441-444.
- เพ็ญพรรณ จันท์พรหม. 2550. สารต้านอนุมูลอิสระและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวมีสีสายพันธุ์ต่างๆและรำข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วรรณดี มหรรณพกุล. 2555. เทคโนโลยีอาหารพร้อมบริโภครูปแบบใหม่ การบรรจุในถุงรีทอร์ตและถาดทนความร้อน. บทความวิทยุกระจายเสียง รายการ “วันนี้กับวิทยาศาสตร์” ครั้งที่ 48 กระจายเสียงจากสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทยประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2555.
- สุไณย์ เบญจเหม. 2557. ผลร่วมของคลื่นเสียงความถี่สูงและความร้อนต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าวเหนียวดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ และอภิชาติ เนินพลับ. 2553. ข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว : พันธุ์กรรมอนุรักษ์เพื่อโภชนาการ. ประชุมวิชาการข้าวและพืชเมืองหนาว ประจำปี 2553 สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.

บรรณานุกรม (ต่อ)

โสภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญสูง จันทนา บุญะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ พี.เอส.พรินท์, นนทบุรี.

Aguilar-Garcaí, C., Gavino, G., Baragono-Mosqueda, M., Hevia, P. and Gavino, V.C.

2007. Correlation of tocopheral, tocotrienol, γ -oryzanol and total polyphenol content in rice bran with different antioxidant capacity assays. *Food Chemistry* (120): 1228-1232.

Brownmiller, C., Howard, L.R. and Prior, R.L. 2008. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric colour, and antioxidant capacity of processed blueberry products. *J. Food Sci.* 5(73): 72-79.

Butsat, S. and Siriamornpun, S. 2010. Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice. *Food Chemistry*. (119): 606–613.

Castaneda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, L., Paez-Hernandez, E., Rodriguez, J. and Galan- Vidal, C.A. 2009. Chemical studies of anthocyanins. *Food Chemistry*. (113): 859-871.

Choi, Y., Jeong, H. S., and Lee, J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some Grains consumed in Korea. *Food Chemistry*. (103): 130-138.

Crowe, K.M. and Murray, E. 2013. Deconstructing a fruit serving : Comparing the antioxidant density of select whole fruit and 100% fruit juice. *Journal of the academy of nutrition and dietetics*.

Escribano-Bailon, M.T., Buelga, C.S. and Rivas-Gonzalo, J.C. 2004. Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A*. (1054): 129-141.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Finocchiaro, F., Ferrari, B. and Gianinetti, A. 2010. A study of biodiversity of flavonoid content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation of anthocyanins and proanthocyanidins in a black-grained genotype. *Journal of Cereal Science*. (51): 28–34.
- Hillmann, M.C.R., Burin, V. M. and Bordignon-Luiz, M.T. 2011. Thermal degradation kinetics of anthocyanins in grape juice and concentrate. *International Journal of Food Science and Technology*. (46): 1997–2000.
- Horvathova, J., Suhaj, M. and Simko, P. 2007. Effect of thermal treatment and storage on antioxidant activity of some species. *Journal Food and Nutrition Research*. (46): 20-27.
- Jerez, M., Pinelo, M., Sineiro, J. and Nunez, J.M. 2006. Influence of extraction conditions on phenolic yields from pine bark: assessment of procyanidins polymerization degree by thiolysis. *Food Chemistry*. (94): 406–414.
- Kanitha Tananuwong and Wanida Tewaruth. 2010. Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice. *Journal of Food Science and Technology*. (43): 476-481.
- Li, W., Mark, D. and Beta, T. 2007. Effect of thermal processing on antioxidant properties of purple wheat bran. *Food Chemistry*. (104): 1080-1086.
- Mercadante, A.Z. and Bobbio, F.O. 2008. Anthocyanin in food: occurrence and physicochemiscal properties. In Food Colorants Chemical and Functional Properties. C. Socaciu, editor. CRC Press, Boca Raton FL, pp 260-261.
- Miguel, M.G. 2011. Anthocyanin: Anthocyanin and/ or anti-inflammatory activities. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 01(06): 07-15.
- Patras, A., Brunton, N.P., Donnell, C.O. and Tiwari, B.K. 2010. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*. (21): 3-11.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Pietta, P.G. 2000. Flavonoids as antioxidants. *J. Nat. Prod.* (63): 1035-1042.
- Ryu, S.N., Park, S.Z. and Ho, C.T. 1998. High performance liquid chromatographic determination of anthocyanin pigments in some variety of black rice. *Journal of Food and Drug Analysis*. 6(4): 729-736.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G. and Berghofer, E. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*. (124): 132–140.
- Suchada Manok and Paveena Limcharoen. 2015. Investigation antioxidant by DPPH, ABTS and FRAP assay and total phenolic compounds of herbal extracts in Ya-Hom Thepphachit. *Advanced Science*. 15(1): 107-117.
- Volden, J., Grethe, I., Borge, A., Gunnar, B., Magnor, B. and Ingrid, H. 2008. Effect of thermal treatment on glucosinolates and antioxidant-related parameters in red cabbage (*Brassica oleracea* L. ssp. *Capitata* f. *rubra*). *Food Chemistry*. 109(3): 595-605.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ

1. การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ

การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ทำโดยการปั่นตัวอย่างข้าวให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นชั่งตัวอย่างข้าวจำนวน 5 กรัม เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่า บนเครื่องเขย่าสารแนวราบที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และทำการสกัดด้วยวิธีเดิมอีกครั้ง นำสารสกัดที่ได้ทั้งสองครั้งรวมกัน ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล เก็บใส่ขวดที่ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อนำไปทดสอบสมบัติของสารสกัดต่อไป โดยสารสกัดจากข้าวทุกชนิดคำนวณในรูปของน้ำหนักแห้ง

2. การวิเคราะห์ Total anthocyanin content

การวิเคราะห์ Total anthocyanin content โดยใช้ เทคนิค pH differential method บัฟเฟอร์ที่ใช้คือ KCl pH 1.0 และ CH_3COONa pH 4.5

2.1 นำตัวอย่างสารสกัดข้าวที่ได้มาเจือจางด้วยบัฟเฟอร์พีเอช 1.0 ทิ้งให้เข้าสู่สมดุล 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 520 และ 700 nm. ตามลำดับ

2.2 ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่เปลี่ยนเป็นบัฟเฟอร์พีเอช 4.5

2.3 คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินในรูปของ cyanidin-3-glucoside โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{Total anthocyanins (mg/100g)} = (A \times Mw \times 1000) / (\epsilon \times l)$$

$$\text{เมื่อ } A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH 1.0}} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH 4.5}}$$

$$Mw = 449.2 \text{ g/mol for cyanidin-3-glucoside}$$

$$\epsilon = 26900 \text{ molar extinction coefficient in L/mol/cm for cyanidin-3-glucoside}$$

$$l = \text{path length in cm}$$

$$1000 = \text{conversion from g to mg}$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

3.1 ปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 100 μl ใส่ในหลอดทดลอง

3.2 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.25 ml

3.3 เติมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ (NaNO_2) เข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 75 μl บ่ม 6 นาที

3.4 เติมสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl_3) เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 150 μl บ่ม 5 นาที

3.5 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 μl

3.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่างและใช้ catechin ที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นสารมาตรฐาน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบสารสกัดไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยรายงานผลในหน่วย มิลลิกรัมของ catechin ต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วย เทคนิค Folin-Ciocalteu method โดยใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน

4.1 ปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 200 μl ใส่ในหลอดทดลอง

4.2 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 800 μl และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 4 ml ผสมให้เข้ากัน

4.3 เติมสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 2 ml เขย่าให้เข้ากัน 2 นาที

4.4 เติมน้ำกลั่น 3 ml ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง

4.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm

สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่างและใช้ gallic acid ที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 50, และ 100 ppm เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลในหน่วยของ mg of gallic acid ต่อตัวอย่างข้าว 100 g

5. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging ability

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าว โดยวิธี DPPH radical scavenging ability โดยใช้ 2,2- diphenyl - 1 - picryl - hydrazyl radical (DPPH) เป็นอนุมูลอิสระ คำนวณในรูปของ $\mu\text{mol/g}$ of TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity)

5.1 ปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 150 μl ใส่ในหลอดทดลอง

5.2 เติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.6 mM ปริมาตร 3 ml ผสมให้เข้ากัน

5.3 เก็บในที่มืด อุณหภูมิห้อง 30 นาที

5.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นblank แทนสารสกัดตัวอย่างและใช้ Trolox ความเข้มข้น 25, 50, 100, 300, และ 600 μM เป็น สารมาตรฐานรายงานผลในหน่วยของ μmol Trolox ต่อตัวอย่างข้าว 1 g

6. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

6.1 ปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 150 μl ใส่ในหลอดทดลอง

6.2 เติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 2850 μl ผสมให้เข้ากัน

6.3 เก็บในที่มืด อุณหภูมิห้อง 30 นาที

6.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นblank แทนสารสกัดตัวอย่างและใช้ Trolox ความเข้มข้น 25, 50, 100, 300, และ 600 μM เป็น สารมาตรฐานรายงานผลในหน่วยของ μmol Trolox ต่อตัวอย่างข้าว 1 g

ภาคผนวก ข

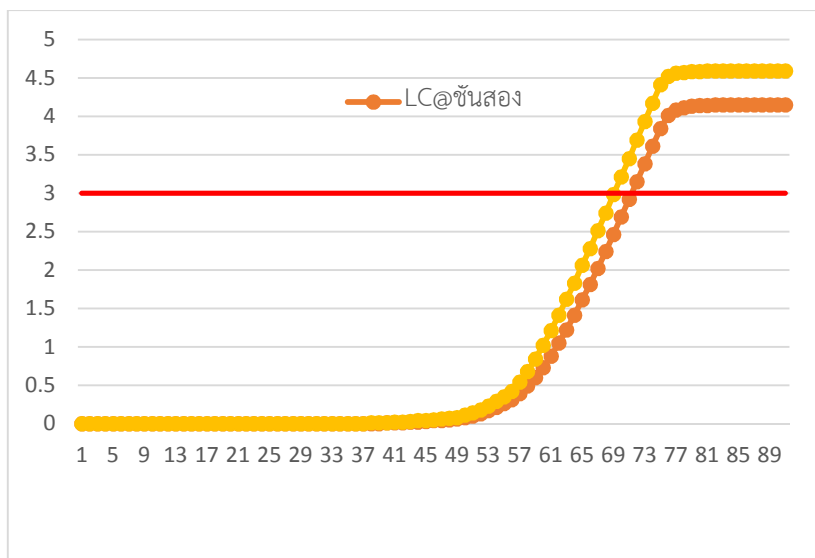
ค่าการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ ข1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลิ้มผัวที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวดำบรรจุถุงรีทอร์ท

การแปรรูป	ตัวอย่าง	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ								
		anthocyanin			flanonoid			phenolic compound		
		(mg/100g dry basis)			(mg catechin/100g)			(mg gallic/100g)		
	วัตถุดิบข้าว	250.46	±	2.54	125.69	±	4.07	179.91	±	7.58
หลังแช่น้ำ	LC	46.67	^c	± 1.06	49.91	^b	± 1.10	74.88	^b	± 0.80
	LH	120.64	^a	± 0.40	59.90	^a	± 1.43	85.86	^a	± 1.04
	LB	64.85	^b	± 7.49	41.96	^c	± 0.71	54.73	^c	± 0.16
หลังนึ่ง	LC	23.76	^c	± 0.28	22.99	^c	± 0.30	30.68	^c	± 0.23
	LH	63.06	^a	± 0.54	38.69	^a	± 1.27	63.09	^a	± 0.42
	LB	34.15	^b	± 0.59	30.95	^b	± 0.52	37.35	^b	± 0.60
หลังฆ่าเชื้อ	LC	4.81	^c	± 0.65	9.00	^c	± 0.64	14.22	^c	± 0.29
	LH	9.65	^a	± 0.24	25.17	^a	± 0.34	31.52	^a	± 0.41
	LB	6.37	^b	± 0.00	15.13	^b	± 0.61	16.40	^b	± 0.47

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบการหาค่า F_0





ภาพ ค1 ภาพประกอบการหาค่า F_0

- 2555 ခုနှစ် နိုဝင်ဘာလ ၁၀ ရက်နေ့တွင် နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်
 နယ်လုပ်ငန်းများကို “နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်”

- 2554 ခုနှစ် နိုဝင်ဘာလ ၁၀ ရက်နေ့တွင် နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်
 နယ်လုပ်ငန်းများကို “နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်”

- 2553 ခုနှစ် နိုဝင်ဘာလ ၁၀ ရက်နေ့တွင် နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်
 နယ်လုပ်ငန်းများကို “နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်”

- 2553 ခုနှစ် နိုဝင်ဘာလ ၁၀ ရက်နေ့တွင် နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်
 နယ်လုပ်ငန်းများကို “နယ်လုပ်ငန်းများ ပြန်လည်စတင်ရန်”