รายงานผลการดำเนินโครงการ

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอรี่เฟลกปลอดกลูเตนโดยการใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลี

Development of Gluten Free Riceberry Flake Product using Banana Flour Substituted for Wheat Flour

ผู้ทำวิจัย

ดร. ลลิตา ศิริวัฒนานนท์

ดร.นวพร ลาภส่งผล

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณรายจ่ายอื่น ค่าใช้จ่ายอนุรักษ์พันธุกรรมพืช

อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สนองพระราชดำริ ประจำปี 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย โดยศึกษาแป้งกล้วย 2 ชนิด คือ แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (อายุ 14 – 16 สัปดาห์หลังแทงปลี) และแป้งกล้วยหอมทองดิบ (อายุ 13 – 15 สัปดาห์หลังแทงปลี) ที่ผ่านการทำแห้ง 2 รูปแบบ คือ การทำแห้งแบบอบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการทำแห้งแบบตากแดด ที่อุณหภูมิประมาณ 28 – 30 องศาองศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่า ปริมาณผลผลิตที่ได้ของแป้งกล้วยทั้ง 2 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน จากการศึกษาปริมาณเส้นใยในแป้งกล้วย พบว่า แป้งจากกล้วยหอมทอง มีปริมาณเส้นใยมากกว่าแป้งจากกล้วยน้ำว้า โดยมีค่าอยู่ที่ 0.22% ผลการทดลองคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย นอกจากนี้ การศึกษาปริมาณฟินอลิกและแอนโทไซยานินในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่เฟลก มีกระบวนการทำข้าวให้สุก 2 แบบ คือ การหุงข้าว และการต้มข้าว มีเวลาที่ใช้อบ 2 เวลา คือ 30 และ 40 นาที โดยประเมินคุณภาพด้านค่าสี ค่าความกรอบ ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณฟินอลิก รวมทั้งการประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิม ในด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม วัดแบบ 9- point Hedonic Scaling จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอรี่ เฟลก ที่ใช้วิธีการทำข้าวให้สุกแบบหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที มีปริมาณแอนโทไซยานิน มากที่สุด คือ 0.50 mg/g วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที มีปริมาณฟินอลิกมากที่สุด คือ 52.60 mgGAE/g การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกพบว่า ค่าความสว่างในวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม มากกว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีหุง การวัดค่าความกรอบพบว่า ในวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีหุงมีค่าความกรอบ มากกว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม เวลาที่ใช้อบที่ 40 นาที มีมากกว่าเวลาที่ใช้อบที่ 30 นาที การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนน ความชอบด้านสีและด้านกลิ่นรส พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ด้านเนื้อสัมผัส ที่วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที และวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที มีคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกมากที่สุด

คำสำคัญ : ข้าวไรซ์เบอรี่ กล้วย ไรซ์เบอรี่แฟลก

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอรี่เฟลกปลอดกลูเตนโดยการใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลี ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากจากเงินงบประมาณรายจ่ายอื่น ค่าใช้จ่ายอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สนองพระราชดำริประจำปี 2562 และขอขอบคุณบุคลากร คณะเทคโนโลยีการเกษตรทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องและได้ให้ความช่วยเหลือในการทำงาน ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ลลิตา ศิริวัฒนานนท์

กันยายน 2562

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ ก

กิตติกรรมประกาศ ข

สารบัญ ค

สารบัญตาราง ง

สารบัญภาพ จ

บทนำ ฉ

บทที่ 1 ตรวจเอกสาร 1

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 15

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 20

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 26

เอกสารอ้างอิง 27

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ 30

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี 33

ภาคผนวก ค แบบทดสอบสอบทางประสาทสัมผัส 38

ภาคผนวก ง ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี 40

ภาคผนวก จ ภาพการทดลอง 47

ภาคผนวก ฉ การศึกษาและพัฒนาแป้งกล้วย 49

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1-1 สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ 1

3-1 ส่วนผสมในการผลิตไรซ์เบอร์รี่เฟลก 18

4-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวไรซ์เบอรี่ 21

4-2 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก 22

4-3 ผลการศึกษาวิธีการและเวลาที่ใช้อบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกต่อคุณสมบัติทางกายภาพ 23

4-4 ผลการศึกษาวิธีการและเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกต่อคุณสมบัติทางเคมี 24

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีค่าความสว่าง(L*) 41

2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีค่าแดง(a*) 41

3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีค่าเหลือง(b*) 42

4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความกรอบ(Hardness) 42

5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น 42

6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก 43

7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณฟินอลิกทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก 43

8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านสี 44

9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส 44

10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส 45

11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม 45

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 โครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุลของแอนโทไซยานิดินแหล่งอาหารที่พบแอนโทไซยานิน	1
1-2 สารประกอบแอนโทไซยานิดิน	4
1-3 แหล่งอาหารที่พบแอนโทไซยานิน	6
1-4 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน	7
1-5 สีของแอนโทไซยานิน	7
1-6 โครงสร้างของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (ก), สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (ข)	10
1-7 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก	11
1-8 สารประกอบฟินอลิกที่พบตามธรรมชาติในพืช	12

ภาพภาคผนวกที่	หน้า
1-1 กราฟมาตรฐาน Gallic Acid	36
2-1 ตัวอย่างแบบทดสอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกจากข้าวไรซ์เบอร์รี่	39
2-2 ขั้นตอนการผลิตไรซ์เบอร์รี่เฟลก	47

บทนำ

ผู้บริโภคในยุคปัจจุบันให้ความสำคัญต่อการเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารเพื่อสุขภาพ (healthy foods) หรืออาหารฟังก์ชั่น (functional foods) ซึ่งกำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น สารสำคัญอีกชนิดหนึ่งในอาหารเพื่อสุขภาพและน่าสนใจ คือ เส้นใยอาหาร ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือด ใยอาหาร คือ ส่วนของพืช ผัก ผลไม้ที่มนุษย์รับประทานได้ แต่ไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อยของคน แต่อาจถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ บางชนิดในทางเดินอาหารของคน ใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ ๆ

กล้วยเป็นพืชล้มลุกที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุหลายชนิด อาทิ เช่น ไอโอดีน แมกนีเซียม เหล็ก และโพแทสเซียมซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ช่วยลดความดันเลือด (blood pressure) และช่วยรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อและมีหน้าที่ควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ ลดความเสี่ยงจากอาการเส้นเลือดตีบตันในสมอง นอกจากนี้กล้วยยังมีอุดมไปด้วย แคโรทีน วิตามินซี วิตามินบีเกือบทุกชนิด และกรดอะมิโนทริปโตเฟน เนื้อกล้วยมีลักษณะอ่อนนุ่ม ย่อยง่ายทั้งกับเด็กเล็กและคนชรา ให้พลังงาน และวิตามินเกลือแร่มากกว่าผลไม้ชนิดอื่นๆเพราะกล้วยมีน้ำในเนื้อต่ำ กล้วยรับประทานได้ทั้งผลดิบและสุก เป็นอาหารที่มีคุณค่าสูงพอๆ กับมันฝรั่ง แต่มีไขมัน คอลเลสเตอรอล และเกลือแร่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารของคนที่ต้องการลดน้ำหนัก นอกจากนี้กล้วยดิบสามารถช่วยบำบัด โรคแผลในกระเพาะอาหาร โดยจะไปกระตุ้นให้เซลล์ในเยื่อบุกระเพาะหลั่งสาร mucin ออกมาช่วยเคลือบกระเพาะ ที่เปลือก และเนื้อมี serotonin ช่วยยับยั้งการหลั่งน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร ผลดิบยังใช้รักษาอาการท้องเสีย บิดมูกเลือด การที่กล้วยสามารถแก้อาการท้องเสียได้ เพราะมีสารแทนนิน ผงกล้วยดิบทั้งเปลือกใช้โรยรักษาแผลเรื้อรัง แผลเน่าเปื่อย แผลติดเชื้อต่างๆ เปลือกผลดิบ รสฝาด สมานแผล เพราะในกล้วยดิบมีสารแทนนิน, gallic acid, เพคติน, sitoindosides I-IV, สารกลุ่มเทอร์ปีนอยด์ ฯลฯ จึงมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้แป้งกล้วยดิบในผลิตภัณฑ์อาหาร อาทิ เช่น การใช้ สตาร์ชจากกล้วยดิบเพื่อเพิ่มปริมาณ RS ในสปาเก็ตตี้และการใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในพาสต้า ในคอร์นเฟลก (Cornflakes) เป็นต้น

คอร์นเฟลก (Cornflakes) แผ่นข้าวโพดอบแห้ง เป็นซีเรียลชนิดแรกๆ ที่คนนิยมชมชอบมากมายจนกลายมาเป็นชื่อเรียกซีเรียลแทนคำว่าซีเรียล ความนิยมรับประทานซีเรียลเป็นอาหารเช้า

ควบคู่กับนมสดเผยแพร่ไปอย่างกว้างขวาง ทั่วโลกในศตวรรษที่ 20 โดยได้รับยกย่องว่าเป็นอาหารเช้าทรงคุณค่าเพราะมีประโยชน์มากมายเหลือเกิน โดยเฉพาะหากเป็นซีเรียลที่ทำจากธัญพืชเต็มเมล็ด หรือ “โฮลเกรน” ที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ครบถ้วนตามธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นไฟเบอร์ วิตามิน แร่ธาตุ และไฟโตนิวเตรียนท์ หรือสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ซึ่งมีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป สะดวกและรวดเร็วของการรับประทานอาหารเช้าแบบนี้กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก ประกอบกับครอบครัวยุคใหม่ไม่ค่อยมีเวลาปรุงอาหารด้วยความเร่ง รีบในชีวิตประจำวัน จึงทำให้ซีเรียลเป็นอาหารสำคัญประจำวัน

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry) ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลักษณะเป็นข้าวเจ้า สีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ข้าวกล้องมีความนุ่มนวลมาก ปลูกได้ตลอดทั้งปี มีคุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี ฟีนอลิก และโฟเลตสูง การนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก เพื่อต้องการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวไรซ์เบอร์รี่และสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ ให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันในการศึกษานี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ให้ได้วิธีที่เหมาะสมที่สุด

บทที่ 1
การตรวจเอกสาร

1.1 ข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนินกับข้าวขาวดอกมะลิ105 โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดี และให้ประโยชน์สูงสุดแก่ผู้บริโภค ข้าวไรซ์เบอรี่มีเมล็ดยาวเรียว สีม่วงเข้ม มีกลิ่นหอมมะลิประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระทำให้มีคุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ตารางที่ 1-1) คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เบต้า แคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี โฟเลตสูง มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ นอกจากจะใช้รับประทานเพื่อสุขภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง และทางการแพทย์ได้นำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารทางโภชนบำบัด (อรอุมา, 2556)

ตารางที่ 1-1 สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

สารอาหาร	ปริมาณ	หน้าที่
โอเมกา -3	25.51 mg/kg	กรดไขมันจำเป็น มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับและระบบประสาท
ธาตุสังกะสี	31.9 mg/kg	ช่วยสังเคราะห์โปรตีน สร้างคอลลาเจน รักษาสิว ป้องกันผมร่วง กระตุ้นรากผม
ธาตุเหล็ก	13-18 mg/kg	สร้างและจ่ายพลังงานในร่างกาย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง
วิตามินอี	678 ug/100 g	ชะลอความแก่ ผิวพรรณสดใส ลดอัตราเสี่ยงของโรคที่เกี่ยวกับหลอดเลือด สมองและหัวใจ
วิตามินบี 1	0.42 mg/100 g	จำเป็นต่อการทำงานของสมอง ระบบประสาท ระบบย่อย ป้องกันโรคเหน็บชา

ที่มา : http://www.sininrice.com

ตารางที่ 1-1 สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ (ต่อ)

สารอาหาร	ปริมาณ	หน้าที่
เบต้าแคโรทีน	63 ug/100 g	ชะลอความแก่ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง บำรุงสายตา
ลูทีน	84 ug/100 g	ป้องกันจอประสาทตาเสื่อม บำรุงการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดฝอยที่หล่อเลี้ยงตา
โพลิฟีนอล	113.5 mg/100 g	ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้
แทนนิน	89.33 ug/100 g	แก้ท้องร่วง บิด สมานแผล แผลเปื่อย
แกมมาโอไรซานอล	462 ug/100 g	ลดระดับโคเรสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในหลอดเลือด ลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง สมองเสื่อม
เส้นใยอาหาร	มีอยู่ในปริมาณมาก	ช่วยลดระดับไขมันและโคเรสเตอรอล ป้องกันโรคหัวใจ ช่วยควบคุมน้ำหนักและระบบขับถ่าย

ที่มา : http://www.sininrice.com

1.2 คอร์นเฟลก

เกล็ดข้าวโพดหรือคอร์นเฟลกเป็นอาหารเช้า ยอดนิยมที่ทำ โดยปิ้งเกล็ดข้าวโพด การคิดค้นครั้งแรกสร้าง โดยดร.จอห์น ฮาร์วีย์บี.ใน ปีค.ศ. 1894 เป็นอาหารที่เขาคิดว่า จะอาหารสุขภาพที่ดีสำหรับผู้ป่วยของโรงพยาบาล Battle Creek ในรัฐมิชิแกนซึ่ง อาหารเช้านี้พิสูจน์ความนิยมในหมู่ผู้ป่วย และทำให้บริษัทบี.ตั้งขึ้นเพื่อผลิตเกล็ดข้าวโพดสำหรับสาธารณะ และมีการจดสิทธิบัตรสำหรับกระบวนการในปี ค.ศ. 1896

ในช่วงกลุ่มศาสนาเซเวนธ์เดย์ แอดเวนติสต์ ต้องการอาหารชนิดใหม่ที่เป็นมังสวิรัติ สมาชิกในกลุ่มจึงนำธัญพืชหลายชนิดมาทดลองทำดู ทั้งข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวสาร ข้าวบาร์เลย์ จนในปีค.ศ.1894 ดร.จอห์น ฮาร์วีย์ เคลล็อกก์ คุณหมอในสถานส่งเสริมสุขภาพที่เมืองมิชิแกน และสมาชิกกลุ่มแอดแวนทิสต์ จึงนำธัญพืชต่างๆ เหล่านี้มาลองปรุงเป็นอาหารให้คนไข้

อาหารดังกล่าวมีประโยชน์ก็จริง แต่มีรสจืด นายซิลเวสเตอร์ เกรแฮม สมาชิกคนหนึ่ง ซึ่งเป็นคนทำขนมปังกรอบ รวมถึงเคลล็อกก์เห็นตรงกันว่าต้องเติมรสชาติ ในระหว่างนั้น เคลล็อกก์ และ วิล คีธ เคลล็อกก์ น้องชาย ได้ลืมเมล็ดข้าวสาลีไว้บนเตา จนเมื่อกลับมาพบว่า เมล็ดข้าวสาลีเหี่ยวย่นไปแล้ว จึงยัด

ใส่ลงไปในเครื่องบดเพื่อยีดให้มันเป็นแผ่น เมล็ดข้าวกลายเป็นเหมือนเกล็ด ปิ้งแล้วรสชาติดีขึ้น เลยนำไปเสิร์ฟให้คนไข้ ก็ได้รับคำชมถึงความอร่อย และได้รับความนิยมสูงมาก พี่น้องเคลล็อกก์รู้จึงไปทดลองทำเมล็ดพืชอื่นๆ เป็นเกล็ดแบบนี้บ้าง ซึ่งได้ผลดีทีเดียวปัจจุบัน คอร์นเฟลกผลิตในโรงงานแทรฟฟอร์ด ปาร์ก ในเมืองแมนเชสเตอร์ ประเทศอังกฤษ เป็นโรงงานผลิตภัณฑ์ธัญพืชที่ใหญ่ที่สุดในโลก (ข่าวสด, 2555)

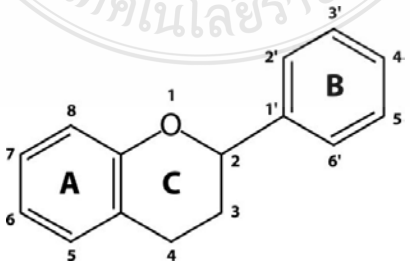
1.3 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่พบอยู่ใน Cell sap ของพืช อยู่ในรูปของไกลโคไซด์ให้สีแดง น้ำเงิน และสีม่วง ในผัก ผลไม้และในดอกไม้ชนิดต่างๆ แอนโทไซยานินที่สกัดออกมาได้ครั้งแรกจากดอกกุหลาบ เมื่อปี พ.ศ.2456 (ค.ศ.1913) คือไซยานิน –3,5- ไดกลูโคไซด์ (Cyaniding-3,5-digluccopside) ปัจจุบันพบว่ามีแอนโทไซยานิน 120 ชนิด

ในอดีต รงควัตถุสามารถแยกออกมาได้เฉพาะชนิดที่มีปริมาณมากๆเท่านั้น ไม่สามารถแยกรงควัตถุที่มีปริมาณน้อยๆหรือมีหลายชนิดผสมรวมกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนผสมได้ จนกระทั่งต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการสกัดแยกสารด้วย Paper Chomatrography จึงทำให้สามารถแยกสารรงควัตถุทุกชนิดที่มีปริมาณน้อยๆได้

เนื่องจากโมเลกุลของงแอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นไกลโคน เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidin) ซึ่งแยกออกจากกันได้โดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดในเนื้อเยื่อพืชจะไม่พบอะไกลโคนในรูปอิสระ จะพบเฉพาะในรูปของไกลโคไซด์ คือรวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์เท่านั้น

โครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุลของแอนโทไซยานิดิน ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน (benzopyran) 2 วงต่อกับวงแหวนฟินิน (Phenyl Ring) มีสูตรโครงสร้างดังนี้

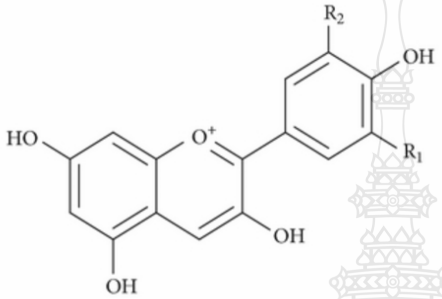


ภาพที่ 1-1 โครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุลของแอนโทไซยานิดิน

ที่มา : Chemical structure of anthocyanins (2554)

แอนโทไซยานินส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ ของ 3,5,7 ไตรไฮดรอกซีฟลาวิลเลียมคลอไรด์ โมเลกุลของน้ำตาลจะเอสเทอริไฟด์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3

สารประกอบแอนโทไซยานิดินที่พบมากและอยู่ในรูปของออกโซเนียมไอออน (Oxonium ion) คือออกซิเจนอะตอมที่มีประจุบวก ได้แก่ ไซยานิดิน (Cyanidin) ฟิลาร์โกนิดิน (Pelargonidin) เดลฟินินดิน (Delphinidin) และพีโอนิดิน (Peonidin) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังนี้



	R_1	R_2
Pelargonidin	H	H
Cyanidin	OH	H
Peonidin	CH_3	H
Delphinidin	OH	OH
Peturidin	OCH_3	OH
Malvidin	OCH_3	OCH_3

ภาพที่ 1-2 สารประกอบแอนโทไซยานิดิน

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2553)

สีของแอนโทไซยานินถูกควบคุมด้วยปัจจัยที่สำคัญ 2 อย่าง คือ

1. โครงสร้าง หากในโครงสร้างวงแหวนฟีนิลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้น จะมีผลต่อแอนโทไซยานิน เช่นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีที่เข้มมากยิ่งขึ้นและสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นด้วย และการเพิ่มหมู่เมทอกซิลแทนที่หมู่เมทอกซิลตำแหน่งที่ 3 และ 5 จะทำให้มีสีแดงเพิ่มขึ้น

2. พีเอช ที่สารละลายที่แอนโทไซยานินละลายอยู่นั้น มีผลต่ออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้สีเปลี่ยนไปได้ เช่น ไซยานินที่เป็นสีแดงของเชอรี่ และแครนเบอรี่จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินเมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 3 เป็น 11 และโครงสร้างของโมเลกุลมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

การเปลี่ยนแปลงพีเอชอาจเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผักและผลไม้ เช่นระหว่างการสุกของผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอช มีผลทำให้สีของผลไม้เปลี่ยนสีเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพีเผลไม้จำพวกเบอรี่ การเปลี่ยนสีนอกจากการเปลี่ยนแปลงพีเอชแล้วยังขึ้นอยู่กับเกลือของแอนโทไซยานินด้วยว่าเป็นโพแทสเซียมไอออน โซเดียมไอออน แคลเซียมไอออนหรือแอมโมเนียมไอออน

รงควัตถุแอนโทไซยานินที่อยู่ในผักและผลไม้จะถูกทำลายได้ง่ายในกระบวนการแปรรูปอาหาร ตัวอย่าง เช่น การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง พีเอช กรดอะมิโน กรดแอสคอร์บิก และภาวะที่มีออกซิเจน จะมีผลเร่งอัตราเร็วของสารละลายตัวของสารแอนโทไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชั่นของแอนโทไซยานินกับสารประกอบเหล่านี้ ตัวอย่างเช่นแยมสตอเบอรี่ที่มีสีแดง เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ปี จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง เนื่องจากมีสารฟลาโบเฟนเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (ณัฏฐา, 2556)

พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2558) กล่าวว่าแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นรงควัตถุ ที่พบในพืชทั้งในดอกและในผลของพืช ให้สีแดง น้ำเงิน หรือม่วง เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน และการตกตะกอนของเกล็ดเลือด ทำให้แอนโทไซยานินมีบทบาทในการป้องการการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่นโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง เบาหวานโครงสร้างของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วยสารประกอบ 2 หรือ 3 ชนิด ได้แก่

- แอนโทไซยานิน หรืออะไกลโคน (Aglycone) มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย คาร์บอนเชื่อมต่อกันในรูป C-6-C-3-C-6 เชื่อมต่อกัน ซึ่งแอนโทไซยานิดินที่พบมากในปัจจุบันจะมีอยู่ 6 ชนิด คือ เพลาโกนิดินไซยานิดิน เดลฟินิดิน พีโอนิดิน เพทุนิดิน และมอลวิดิน
- น้ำตาล ซึ่งจะเกิดพันธะกับคาร์บอน ตำแหน่งที่ 3 หรือตำแหน่งที่ 3 และ 5 โดยน้ำตาลที่เกิดพันธะได้ เช่น กลูโคส กาแลกโตส รูติโนส แรมโนส เป็นต้น

- โครงสร้างที่เป็นกรด ซึ่งส่วนนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ แอนโทไซยานินที่มีกรดเป็นองค์ประกอบเรียกว่า นอนอะซิเลตเทต แอนโทไซยานิน ถ้าไม่มีกรดเป็นองค์ประกอบเรียกว่า อะซิเลตเทต แอนโทไซยานินโดยกรดจะเกิดเอสเทอริฟิเคชัน กับน้ำตาล กรดที่เกิดพันธะเอสเทอร์กับน้ำตาล เช่น กรดคูมาริก กรดเฟอร์รูริก กรดคาร์เฟอิก เป็นต้น

อาหารที่เป็นแหล่งสำคัญของแอนโทไซยานิน ได้แก่

- ผลไม้ เช่น องุ่น ทับทิม และผลไม้ในกลุ่มเบอร์รี่ เช่น สตรอเบอรี่ (Strawberry) ผลหม่อน (Mulberry) บลูเบอรี่ (Blueberry) แครนเบอรี่ (Cranberry) เชอรี่ (Cherry)
ราสเบอรี่ (Raspberry) เป็นต้น
- ผัก เช่น กะหล่ำปลีสีม่วง (Red Cabbage) และเรดิชสีแดง (Red Radish)
- เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวก่ำ หรือข้าวสีนิล ข้าวโพดสีม่วง
- พืชหัว ได้แก่ มันเทศสีม่วง
- ดอกไม้ เช่น กระเจี๊ยบแดง และดอกอัญชัน เป็นต้น

- แหล่งของแอนโทไซยานิน ได้แก่ มันเทศสีม่วง ชมพู่มะเหมี่ยว ชมพู่แดง ลูกหว้า ข้าวแดง ข้าวนิล ข้าวเหนียวดำ ถั่วแดง ถั่วดำ หอมแดง ดอกอัญชัน น้ำว่าน-กาบหอย เผือก หอมหัวใหญ่สีม่วง มะเขือม่วง พริกแดง องุ่นแดง-ม่วง แอปเปิลแดง ลูกไหน ลูกพรุน ลูกเกด ลูกหม่อน (มัลเบอรี่) บลูเบอรี่ เชอรี่ แบล็กเบอรี่ ราสเบอรี่ สตรอเบอรี่ แสดงดังภาพที่ 1-3

ภาพที่ 1-3 แหล่งอาหารที่พบแอนโทไซยานิน
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2558)

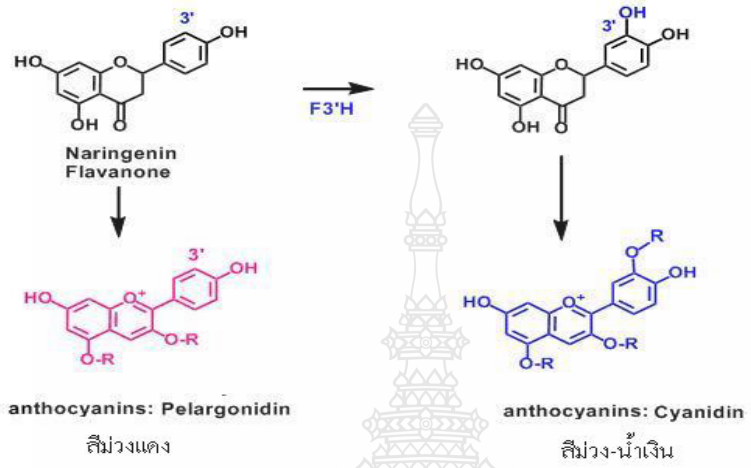
โมเลกุลของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (Phenolic Compounds) กลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) แสดงดังภาพที่ 1-4

ภาพที่ 1-4 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2558)

สีของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน เป็นสารสีที่พบได้ทั่วไปในดอกไม้ ผลไม้บางชนิด ใบหรือลำต้นของพืชบางชนิดที่มีสีตั้งแต่สีแดงถึงน้ำเงินเข้ม ในสภาพที่เป็นกรดมีค่า pH ต่ำกว่า 3 (เป็นกรดสูง) จะทำให้แอนโทไซยานิน มีสีแดง ในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกลาง หรือมีค่า pH ประมาณ 7-8 แอนโทไซยานินจะมีสีม่วง และเมื่อสภาพเป็นเบสหรือมีค่า pH มากกว่า 11 (เป็นเบสสูง) แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน แสดงดังภาพที่ 1-5



ภาพที่1-5 สีของแอนโทไซยานิน
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2558)

ประโยชน์ต่อสุขภาพของแอนโทไซยานิน

พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2558) สารสกัดแอนโทไซยานิน มีสมบัติเป็นโภชนะเภสัช (Nutraceutical) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง ด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (Aathogen) อีโคไล (*Escherichia coli*) ในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงและอาหารเป็นพิษ

อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือโมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ (Free Radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์ อาทิ ไธออล กรดแอสคอร์บิก และโพลีฟีนอล

แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต หากแต่ก็ยังเกิดโทษเช่นกัน ดังนั้นพืชและสัตว์จึงรักษาสมดุลด้วยระบบอันซับซ้อนของปฏิกิริยาโดยสารต้านอนุมูลอิสระดังเช่น กลูตาไธโอน วิตามินซี และวิตามินอี เช่นเดียวกับเอนไซม์อย่างตัวเร่งปฏิกิริยาและเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ รวมถึงเพอรอกซิเดสต่างๆ ระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากเกินไป จะยังผลให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (Oxidative Stress) นำมาซึ่งการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่เซลล์ได้

สารต้านอนุมูลอิสระถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิด ด้วยคาดหวังในการรักษาสุขภาพและป้องกันโรคอย่างโรคมะเร็งและโรคหลอดเลือดหัวใจ รวมไปถึงโรคกลัวความสูง แม้การศึกษาในช่วงแรกให้การสนับสนุนถึงการเติมสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ช่วยให้สุขภาพดีนั้น ภายหลังการศึกษาในระยะคลินิกพบว่าสารที่เติมลงไปไม่ได้ช่วยหรือก่อให้เกิดประโยชน์อันใดแก่ผู้บริโภค ซ้ำยังผลมาซึ่งอันตรายจากการรับประทานที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในเภสัชภัณฑ์ และส่วนประกอบอื่นๆในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเช่นสารกันบูดในอาหารและเครื่องสำอาง และช่วยลดการสึกกร่อนของยางและแก๊สโซลีนอีกด้วย

สารต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Preventive antioxidant ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ
2. Scavenging antioxidant ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น
3. Chain breaking antioxidant ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2558)

สารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food Additive)

1. สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ ได้แก่ สารเคมีจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ชา

- Phenolic Compounds ได้แก่ polyphenol ในเครื่องเทศ (Spices) สารสกัดจากเมล็ดองุ่น ชา ขมิ้น

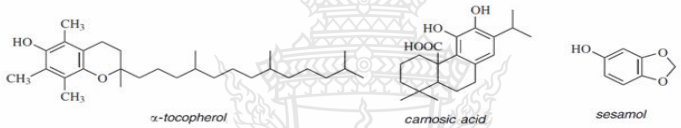
- แอสตาแซนทิน (Astaxanthin)
- ยูจีนอล (Eugenol) ในกานพลู
- วิตามินซี (Vitamin C)
- วิตามินอี (Vitamin E)
- กรดซิตริก
- แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)
- ซีลีเนียม (Selenium)

2. สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เช่น

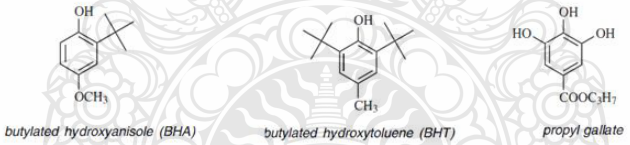
- Butylated hydroxyanisole เรียกย่อว่า BHA เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food Additive) ที่ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) ป้องกันการหืน (Rancidity) ของไขมันและน้ำมัน จากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (Lipid Oxidation)

- Butylated Hydroxytoluene หรือเรียกย่อว่า BHT เป็นสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compound) ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food Additive) ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) ป้องกันการหืน (Rancidity) ของไขมันและน้ำมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid Oxidation) เช่นเดียวกับ BHA มักผสมรวมกับวัตถุกันหืนชนิดอื่น เพื่อเสริมให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

- Tertiary Butyl Hydro Quinone เรียกย่อว่า TBHQ เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food Additive) มี E-number คือ E319 เป็น Phenolic Compounds ใช้เพื่อเป็นเป็นสารกันหืน (Antioxidant) ป้องกันการหืน (Rancidity) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (Lipid Oxidation) แสดงดังภาพที่ 1-6



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1-6 โครงสร้างของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (ก), สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (ข)

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2558)

ประโยชน์ของสารต้านอนุมูลอิสระ

1. ชะลอกระบวนการแก่ชรา
2. ช่วยให้ร่างกายขับสารพิษที่ก่อมะเร็ง
3. ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งทุกชนิด
4. ยับยั้งการเจริญเติบโตจากเนื้องอกต่างๆในร่างกาย
5. ช่วยป้องกันโรคปอดเรื้อรัง หอบหืด หลอดลมอักเสบ ถุงลมโป่งพอง
6. ช่วยบรรเทาอาการของโรคอัลไซเมอร์ได้
7. ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลได้ด้วย

8. ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ

9. ช่วยป้องกันโรคเส้นเลือดโลหิตในสมองตีบ

10. ช่วยป้องกันโรคศูนย์กลางจอประสาทตา

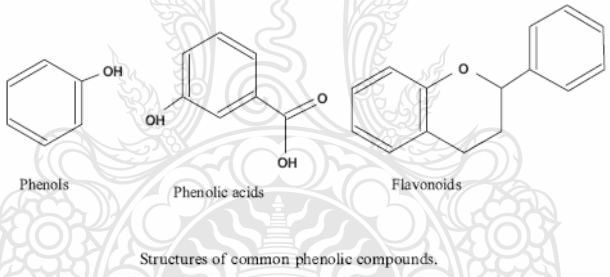
11. ช่วยเป็นเกราะในการป้องกันมลพิษต่างๆจากสิ่งแวดล้อม

1.4 สารประกอบฟีนอลิก

เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่นผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอลิก มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลิสระ (Antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ

โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟีนอลิกพื้นฐาน คือ สารฟีนอลิก (Phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่



ภาพที่ 1-7 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2558)

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid)

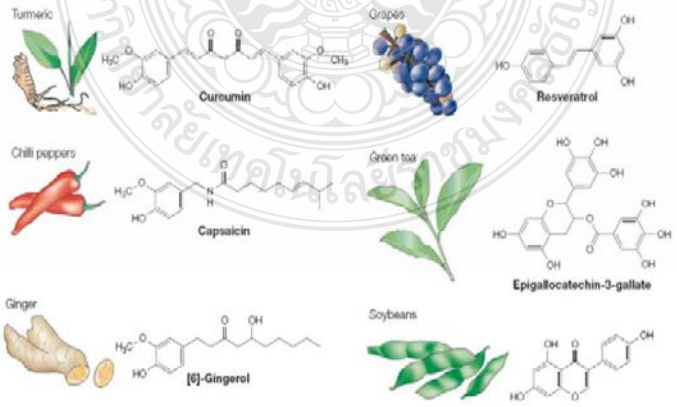
สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (Organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (Alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) เป็นต้น (อรพิน, 2556)

สารประกอบฟีนอลิก พบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (Cell Vacuole) ในส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด

- ถั่วเมล็ดแห้ง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง
- เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว และ งา
- ผลไม้ ได้แก่ องุ่น ส้ม กระท้อน
- เครื่องเทศ เช่น พริกไทย พริก ขิง กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่
- พืชเครื่องดื่ม ได้แก่ ชา โกโก้
- พืชหัว ได้แก่ มันเทศ

ตัวอย่างของสารประกอบฟินอลิกที่พบตามธรรมชาติในพืช

- จินเจอรอล (Gingerol) พบใน ขิง
- ยูจินอล (Eugenol) ใน กานพลู ตะไคร้ ใบกระเพรา
- แคปไซซิน (Capsaicin) ในพริก
- เคอคิวมิน (Curcumin) ในขมิ้น
- แคทีชิน (Catechin) ในชา



ภาพที่ 1-8 สารประกอบฟินอลิกที่พบตามธรรมชาติในพืช

ที่มา : Newsletter (2554)

สารประกอบฟินอลิก ประเภทสารสังเคราะห์

- BHT
- BHA
- TBHQ

สรรพคุณของสารประกอบฟินอลิก

1. ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟินอลิกหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (Antimutagrns) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟินอลิก จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (Free Radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย

2. ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (Lipid Oxidation) (พิมพ์เพ็ญ, 2546)

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พงษ์ศักดิ์ เกษรา และ อรอุมา (2556) ได้ศึกษาการยอมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นจากปลายข้าวไรซ์เบอรี่ฯ และเผยแพร่การถ่ายทอดเทโนโลยีจากงานวิจัยสู่ชุมชน ทำการทดลองโดยการศึกษาหาสูตรมาตรฐานการทำผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่น ได้ปริมาณปลายข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ 160 กรัม น้ำสะอาด 1,120 กรัม ซึ่งพบว่าผลวิจัย ผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นจากปลายข้าวไรซ์เบอรี่ เสริมน้ำพริกเผาเกสรดอกบัวหลวงที่ดีรับการยอมรับจากผู้บริโภค เสริมน้ำพริกเผาที่ 6 เปอร์เซ็นต์ และมีคุณค่าทางโภชนาการด้านสารต้านอนุมูลอิสระ 49.52 mg eq(เอาบรรทัดขึ้น 1 ที)

วศินี และ อรนุช (2547) ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างข้าวกล้องกับเครื่องปรุงรส(พริกแกงเขียวหวาน)ที่เหมาะสม ในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้อง ผลของการเคลือบด้วยไฮโดรคอลลอยด์ที่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 ผลของการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ในการทดลองได้นำข้าวกลองและเครื่องปรุงรสที่อัตราส่วน 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ขึ้นรูปและนำไปอบที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง นำมาทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 3-5 นาที พบว่าอัตรส่วนที่เหมาะสมคือ 90:10 มีค่าคะแนนการยอมรับรวมเท่ากับ 7.73 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมศึกษาการเคลือบด้วยไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ คาราจีแนนร้อยละ 0.4 มีค่าคะแนนการยอมรับรวมเท่ากับ 6.80 ทำการศึกษาผลของการอบแห้งโดยสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง พบว่าผลของการอบแห้งชั่วโมงที่ 5 มีการพองตัวได้ดี การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ส่งผลต่อการยอมรับรวมของผู้บริโภค

วรกานต์ (2557) ได้ทำการศึกษาผลของรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลหลังรับประทานอาหารน้ำตาลสูงในกลุ่มคนที่มีสุขภาพดี เพื่อตรวจสอบผลกระทบของรำข้าวไรซ์เบอร์รี่กับระดับน้ำตาลในเลือดในกลุ่มคนที่มีสุขภาพดี โดยเป็นการศึกษาแบบเชิงทดลอง ซึ่งได้แบ่งอาสาสมัครออกเป็นกลุ่มทั้งหมด 2 กลุ่ม รวม 46 คน ได้แก่กลุ่มที่ 1 ได้รับ รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 10 กรัม + กลูโคส 75 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร กลุ่มที่ 2 ได้รับยาหลอก ไฮโดรไลซ์ คอลลาเจนชนิดเม็ด 10 กรัม + กลูโคส 75 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร วัดค่าระดับน้ำตาลหลังอาหาร ในนาทีที่ 0, 15, 30,45, 60และ120 พบว่าระดับน้ำตาลในเลือดกลุ่มได้รับรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 10 กรัม + กลูโคส 75 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตรในนาทีที่ 120 หลังรับประทานมีค่าต่ำกว่าในกลุ่มที่ได้รับยาหลอก ไฮโดรไลซ์ คอลลาเจนชนิดเม็ด 10 กรัม + กลูโคส 75 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร (กลุ่มรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ = 117.35±21.96 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่มยาหลอก = 121.91±19.85 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร) แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

สุพรรณิกา (2557) ได้ศึกษาประสิทธิผลของการใช้ครีมสารสกัดข้าวไรซ์เบอร์รี่ในการปรับผิวขาว โดยอาสาสมัครชาวไทยทั้งหมด 30 คน ที่ผ่านเกณฑ์ในการคัดเลือกได้รับการสุ่มให้ใช้ครีมบริเวณต้นแขนทั้งสองด้าน โดยด้านหนึ่งใช้ครีมสารสกัดข้าวไรซ์เบอร์รี่ อีกด้านหนึ่งใช้ครีมเบสทาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ การประเมินจะถูกเก็บข้อมูลก่อนเริ่มการทาครีมและหลังทาครีมตอนสัปดาห์ที่ 4,8 และ 12 โดยใช้การวัดค่าเฉลี่ยเม็ดสีเมลานินโดยใช้เม็กซามิเตอร์และมีการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบและประเมินโดยแพทย์ 3 คน ผลความพึงพอใจจะถูกประเมินในสัปดาห์ที่ 12 จากการตอบแบบสอบถามของผู้เข้าร่วมวิจัย ในส่วนของผลข้างเคียงจากการใช้ครีมจะถูกประเมินโดยแพทย์และจากการตอบแบบสอบถามของผู้เข้าร่วมวิจัย ผลการศึกษาพบว่า ครีมสารสกัดข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถลดค่าเฉลี่ยเม็ดสีเมลานินได้มากกว่าครีมเบส โดยเริ่มเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 ($P<0.05$)และค่าเฉลี่ยเม็ดสีเมลานินยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 12 ผลการประเมินจากรูปถ่ายโดยแพทย์และผลการประเมินความพึงพอใจของการรักษาโดยผู้เข้าร่วม ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้งสองด้าน($P>0.05$) ในด้านผลข้างเคียง ไม่พบว่าเกิดผลข้างเคียงจากการใช้ครีมสารสกัดข้าวไรซ์เบอร์รี่ตลอดการวิจัย ครีมสารสกัดข้าวไรซ์เบอร์รี่มีประสิทธิภาพในการลดค่าเฉลี่ยเม็ดสีเมลานินในได้จริง และสามารถพัฒนาเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับผิวขาว

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์

- **วัตถุดิบ**
    1. ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่
    2. แป้งมัน
    3. ไข่ไก่
    4. ผงฟู
    5. เกลือ
    6. น้ำตาล
    7. กลิ่นวนิลา

- **สารเคมี**
    1. สารละลาย gallic acid
    2. 10 % Folin-Ciocalteu reagent
    3. โซเดียมคาร์บอเนต
    4. น้ำกลั่น
    5. เอทานอล
    6. บัฟเฟอร์KCl pH 1.0
    7. บัฟเฟอร์ CH_3COONa pH 4.5

- **วัสดุอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์**
    1.ขวดปรับปริมาตร
    2. หลอดทดลอง
    3. ปิเปต
    4. บีกเกอร์
    5. กระดาษกรองเบอร์ 1
    6. เครื่อง UV-Vis spectrophotometer
    7. เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT.Plus

- วัสดุเครื่องครัว

1. หม้อต้ม
2. ทัพพี
3. ช้อนและถ้วยตวง
4. ถาดสำหรับอบขนม
5.กระดาษไข
6. ผ้าขาวบาง
7. ถังน้ำ/กะละมัง
8. กระชอน

- เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. เตาอบขนม
4. เครื่องปั่น
5. หม้อหุงข้าว

3.2 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง

3.2.1 การศึกษาปริมาณสาระสำคัญในข้าวไรซ์เบอร์รี่

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาทำความสะอาด คัดแยกสิ่งปลอมปนด้วยมือและการร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะสาระสำคัญในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้แก่ สี ความชื้น ปริมาณสารฟินอลิก แอนโทไซยานิน สารต้านอนุมูลอิสระ และ อะไมโลส

3.2.2 การเตรียมข้าวไรซ์เบอร์รี่

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไปล้างทำความสะอาด นำข้าวที่ทำความสะอาดแล้วมาใช้ในการผลิตไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยการทำข้าวให้สุก 2 วิธี คือ นำไปหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ในอัตราส่วน ข้าวสาร 1 : น้ำ 2 อีกส่วน นำมาต้มในหม้อต้ม ในอัตราส่วน ข้าวสาร 1 : น้ำ 2 โดยใช้เวลาต้ม 30 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปสะเด็ดน้ำให้แห้งด้วยกระชอน จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการทำให้สุกทั้ง 2 วิธี มาเป็นส่วนผสมในการผลิตไรซ์เบอร์รี่เฟลก ตามสูตรแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ส่วนผสมในการผลิตไรซ์เบอร์รี่เฟลก

วัตถุดิบ	ปริมาณ
1. ข้าวหุงสุก	200 กรัม
2. น้ำสะอาด	200 มิลลิลิตร
3. แป้งมัน	1 ½ ช้อนโต๊ะ
4. ไข่ไก่	2 ช้อนโต๊ะ
5. ผงฟู	1/2 ช้อนชา
6. เกลือ	1/2 ช้อนชา
7. น้ำตาล	2 ช้อนโต๊ะ
8. กลิ่นวนิลา	1 ช้อนชา

ที่มา : ดัดแปลงมาจากวิธีของ ชุษณา (2559)

3.2.3 กระบวนการทำไรซ์เบอร์รี่เฟลก

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการหุงและต้ม ตามขั้นตอนในข้อ 3.2.2 ใส่หม้อพร้อมกับ น้ำสะอาดและแป้งมัน นำไปให้ความร้อนประมาณ 3 นาที พักไว้พออุ่น ใส่ส่วนผสมทั้งหมด ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปปั่นให้ละเอียด หยอดส่วนผสมลงบนถาดสำหรับอบขนมที่มีกระดาษไขรอง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (ดังภาพที่ 3-1)

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้ไปหุงและต้มให้สุก

↓

นำข้าวใส่ลงหม้อ ใส่น้ำสะอาดและแป้งมัน นำไปตั้งบนเตาด้วยไฟอ่อน 3 นาที

↓

ใส่ไข่ไก่ ผงฟู เกลือ น้ำตาล และ กลิ่นวนิลา ผสมให้เข้ากัน นำไปปั่นให้ละเอียด

↓

หยอดส่วนผสมลงในถาดสำหรับอบขนม

↓

นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 3-1 วิธีการทำไรซ์เบอร์รี่เฟลก
ที่มา : ดัดแปลงมาจากวิธีของ ชุษณา (2559)

3.2.4 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการอบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่ เฟลก

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการในข้อ 3.2.3 มาอบโดยใช้เวลาอบ ที่เวลาต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มีสิ่งการทดลอง 4 สิ่งทดลองดังต่อไปนี้

สิ่งทดลองที่ 1 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการหุงในการทำไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยใช้เวลา 30 นาที ในการอบ
สิ่งทดลองที่ 2 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการหุงในการทำไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยใช้เวลา 40 นาที ในการอบ
สิ่งทดลองที่ 3 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการต้มในการทำไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยใช้เวลา 30 นาที ในการอบ
สิ่งทดลองที่ 4 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการต้มในการทำไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยใช้เวลา 40 นาที ในการอบ

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และวิเคราะห์คุณภาพของไรซ์เบอร์รี่เฟลกดังนี้

คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ - การวิเคราะห์ค่าสีในรูปค่าสี L*, a* และ b* (ดวงสมร, 2555)

- การวิเคราะห์ค่าความกรอบ (Crispness) (Mui *et al*., 2002)

คุณภาพทางเคมี ได้แก่ - การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (Wrolstad และคณะ, 2005)

- การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (วชิราภรณ์ และคณะ, 2557)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน และใช้แบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสแบบ 9-Point Hedonic Scaling โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย Duncan’s New Multiple Rang Test : DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยวางแผนการทดสอบทางประสามสัมผัสแบบ การทดลองที่มีแผนแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของข้าวไรซ์เบอร์รี่

เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่นำมาใช้ในการทดลอง จึงจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตารางที่ 4-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวไรซ์เบอรี่

ค่าสี			ความชื้น (ร้อยละ)	อะไมโลส (ร้อยละ)	ปริมาณฟินอลิก (mgGAE/g)	ปริมาณแอนโธไซยานิน(mg/g)	สารต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ)
L*	a*	b*					
27.5	4.60	2.18	2.974	13.50	782.77	2.27	57.28

4.1.2 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก

จากการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก มีกระบวนการทำข้าวให้สุก 2 แบบ คือ การหุงข้าว และการต้มข้าว มีเวลาที่ใช้อบ คือ 30 และ 40 นาที ดังวิธีการทดลองที่ 3.2.2

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยใช้ มาตรวัดแบบ Hedonic Scaling (1-9 คะแนน) เพื่อประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิมในคุณลักษณะ ด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน แสดงผลในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก

วิธีการทำข้าวให้สุก	เวลาที่ใช้อบ	สี[ns]	กลิ่นรส[ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ต้ม	30 นาที	6.90	6.93	7.40[a]	7.50[a]
	40 นาที	6.80	6.73	6.90[b]	6.87[ab]
หุง	30 นาที	6.73	6.60	6.77[b]	6.70[b]
	40 นาที	7.13	6.97	7.40[a]	7.47[a]
C.V.(ร้อยละ)		17.22	18.49	15.48	17.71

หมายเหตุ : [a,b] แสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] แสดงถึงความไม่แตกต่างของค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความชอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านสีและด้านกลิ่นรส พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากมีสี ที่ใกล้เคียงกันมาก และมีกลิ่นรสที่คล้ายคลึงกัน จึงทำให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกออกได้อย่างแน่ชัด

ความชอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยที่วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที และวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด คือ 7.40 รองลงมาคือ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที และวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที ตามลำดับ

ความชอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยที่วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที มีคะแนนมากที่สุดคือ 7.50 รองลงมาคือวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที รองลงมาคือ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที และวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที ตามลำดับ

4.1.3 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก

ผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกที่ได้จาการพัฒนาได้ถูกนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญได้แก่ สี ความแข็ง ความกรอบ ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-3 ผลการศึกษาวิธีการและเวลาที่ใช้อบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกต่อคุณสมบัติทางกายภาพ

วิธีการทำข้าวให้สุก	เวลาที่ใช้อบ	ค่าสี ^{ns}			ค่าความกรอบ (Crispness)(N)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
		L*	a*	b*		
ต้ม	30 นาที	40.07	5.26	3.36	16.73^{b}	0.39^{a}
	40 นาที	40.65	5.28	3.76	24.74^{a}	0.31^{c}
หุง	30 นาที	37.05	5.21	3.49	20.79^{ab}	0.34^{b}
	40 นาที	39.52	6.16	3.80	25.80^{a}	0.29^{c}
C.V.(ร้อยละ)		6.25	21.49	17.90	23.39	12.19

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

^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างของค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที มีค่าความสว่างมากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 40.65 รองลงมาคือวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที และวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที ตามลำดับ

ค่าสีแดง (a*) ของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที มีมากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 6.16 รองลงมาคือ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที

วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที และ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที ตามลำดับ

ค่าสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที มีมากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 3.80 รองลงมาคือ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที และ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที ตามลำดับ

จากการวัดค่าความกรอบ พบว่าในวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที มีค่าความแข็ง (Hardness) มากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 25.80 รองลงมาคือ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที และ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที

4.1.4 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก

ผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกที่ได้จากการพัฒนาได้ถูกนำไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญได้แก่ ปริมาณแอนโธไซยานินท และปริมาณฟินอลิก ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการศึกษาวิธีการและเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกต่อคุณสมบัติทางเคมี

วิธีการทำข้าวให้สุก	เวลาที่ใช้อบ	ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด (mg/g)	ปริมาณฟินอลิกทั้งหมด (mgGAE/g)
ต้ม	30 นาที	0.33^{ab}	52.60^{a}
	40 นาที	0.11^{b}	45.16^{ab}
หุง	30 นาที	0.50^{a}	47.32^{ab}
	40 นาที	0.28^{ab}	39.36^{b}
C.V.(ร้อยละ)		19.93	13.63

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

^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างของค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณแอนโธไซยานินของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกมี พบว่าที่วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที มากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 0.50 mg/g รองลงมาคือ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที, วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที และ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที ตามลำดับ

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าที่วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 30 นาที มีมากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 52.60 (mgGAE/g) รองลงมาคือ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 30 นาที, วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม แล้วนำไปอบ 40 นาที และ วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง แล้วนำไปอบ 40 นาที ตามลำดับ

4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง มีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่า วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม เนื่องจากวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้มใช้ระยะเวลานานถึง 30 นาที ซึ่งวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุงจะใช้เวลาเพียง 15 นาที จึงทำให้วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้มสูญเสียแอนโทไซยานินมากกว่า (สิริธรและอิสรีย์, 2553) ปริมาณฟินอลิกทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้มมีปริมาณมากกว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุง เนื่องจากวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการต้ม ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าคือ 80 องศาเซลเซียส วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยการหุงจะใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความคงตัวของฟินอลิก ได้แก่ อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น ส่งผลทำให้มีปริมาณฟินอลิกลดลง เนื่องจากเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน(ศรัณย์และคณะ, 2555) สอดคล้องกับ พงศธรและคณะ (2551) รายงานว่าการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปมีส่วนทำให้ปริมาณฟินอลิกลดลง ความร้อนที่แตกต่างกันก็มีผลต่อปริมาณฟินอลิกทั้งหมด

การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าค่าความสว่างในวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม มีมากว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีหุงทำให้สีของไรซ์เบอร์รี่เฟลกมีสีม่วงที่อ่อนกว่า และในวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้มยังมีค่าสีแดงและสีเหลือง มากกว่าอีกด้วย เนื่องจากวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม ใช้ระยะเวลานานในการทำข้าวให้สุก ทำให้สูญเสียแอนโทไซยานินมากกว่าซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของสิริธรและอิสรีย์ (2553) ที่ได้รายงานถึงผลของอุณหภูมิ ความร้อน ที่มีผลต่อการสูญเสียแอนโทไซยานิน จึงทำให้วิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม มีค่าความสว่างมาก และมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองน้อย

การวัดค่าความกรอบพบว่าในวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีหุงมีค่าความกรอบ มากกว่าวิธีการทำข้าวให้สุกด้วยวิธีต้ม เวลาที่ใช้อบที่ 40 นาที มีมากกว่าเวลาที่ใช้อบที่ 30 นาที อาจเป็นเพราะมีค่าความชื้นที่มีน้อยกว่าซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของเกศรินทร์ สุนิษาและ จีราพร (2554)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกที่มีวิธีการทำให้ข้าวสุก 2 แบบ คือ การหุงข้าว และการต้มข้าว และเวลาที่ใช้อบไรซ์เบอร์รี่เฟลกที่ 30 และ 40 นาที ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เฟลกที่มีวิธีการทำให้ข้าวสุกด้วยวิธีต้ม มีปริมาณแอนโธไซยานิน น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เฟลกที่มีวิธีการทำให้ข้าวสุกด้วยวิธีหุง แต่มีปริมาณฟินอลิกมากกว่า มีค่าความสว่างมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแอนโธไซยานิน มีค่าความกรอบน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เฟลกที่มีวิธีการทำให้ข้าวสุกด้วยวิธีหุง เวลาที่ใช้อบ ที่ 30 นาที พบว่ามีปริมาณแอนโธไซยานินและปริมาณฟินอลิกมากกว่า แต่มีค่าความสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เฟลก พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับด้านคุณลักษณะด้านสีสว่าง และค่าความกรอบ น้อยกว่า เวลาที่ใช้อบ ที่ 40 นาที

จากการทดสอบทางประสาทและกลิ่นรสที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ส่วนคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทดสอบให้การยอมรับที่วิธีการทำให้ข้าวสุกด้วยวิธีต้ม และเวลาที่ใช้อบ 30 นาที มากที่สุด

จากผลการทดลองสรุปได้เป็นข้อเสนอแนะในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกเพื่อให้ได้ปริมาณแอนโธไซยานินสูงที่สุดด้วยวิธีการทำข้าวให้สุกแบบหุง และใช้เวลาในการอบที่ 30 นาที ปริมาณฟินอลิกสูงที่สุดด้วยวิธีการทำข้าวให้สุกแบบต้ม และใช้เวลาในการอบที่ 30 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ ควรใช้เครื่องมือมาช่วยในการผลิต

เอกสารอ้างอิง

คอร์นเฟลก. (19 เมษายน พ.ศ. 2555). *ข่าวสด*. สืบค้นจาก http://daily.khaosod.co.th/view_news.php?newsid=TURONWIzVXdNakU1TURR

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2550. “ อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21(3). หน้า 275-286.

ปรานอม ธรรมศิริ. 2555. “การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและความสามารถในการต้านอนุมูล อิสระในสมุนไพรประกอบยาดองและยาดองเหล้า”. ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พัชราภรณ์ รัตนธรรม, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. 2556. “สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีงอก”. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, สกุลกานต์ สิมลา. 2558. “ผลของกรรมวิธีการประกอบอาหารต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในดอกชมจันทร์”. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2558. สารต้านอนุมูลอิสระ. (ออนไลน์). สืบค้นจาก. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0188/antioxidant. (11กันยายน59).

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2558. สารประกอบฟีนอล. (ออนไลน์). สืบค้นจาก. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/phenolic-compound. (11กันยายน 59).

พงษ์ศักดิ์ ทรงพระนาม, เกษรา มานันตพงศ์ และอรอุมา คำแดง. 2556. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นจากปลายข้าวไรซ์เบอรี่เสริมน้ำพริกเกสรดอกบัวหลวง”. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วชิราภรณ์ ภักดี, .ถวนันท์ ศรีพิสุทธิ์. 2557. “การพัฒนาสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เพื่อ เป็นสารต้านอนุมูลอสิระ”. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

วศินี จงจิตวิมล, อรนุช สอนน้อย. 2547. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้อง”. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสรรค์.

วรกานต์ วรรณวิจิตร, 2557. “ผลของรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลหลัง

รับประทานอาหารน้ำตาลสูงในกลุ่มคนที่มีสุขภาพดี". สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

สิริธร คุณสารสมบัติ, อิสรีย์ อัครวรพิทักษ์. 2553. "การหาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวกล้องงอก". ภาควิชา ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุพรรณิกา มาแตง. 2557. "การศึกษาประสิทธิผลของการใช้ครีมสารสกัดข้าวไรซ์เบอร์รี่เทียบกับครีมเบสในการปรับผิวขาว". สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. การวัดค่าต้านแรงกดของไรซ์เบอร์รี่เฟลก (ดัดแปลงจาก Mui *et al*.,2002)

เครื่องมือ

1. เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT.Plus
2. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์

วิธีการทดลอง

1. ทำการเปิดเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและคอมพิวเตอร์ที่ผ่านกระบวนการทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ

2.ทำการคาลิเบตแรงของเครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้ลูกตุ้มหนัก 500 กรัม

3. ติดหัวเข็มชนิด A/OTC และฐานวางตัวอย่างบนเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ทำการคาลิเบตหัววัด

4. เลือก T.A. setting เพื่อตั้งสภาวะของเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ดังนี้

Test Mode	: Compression
Test Speed	: 2.0 mm/sec
Post-Test Speed	: 10.0 mm/sec
Target Mode	: Distance
Distance	: 30 mm
Trigger Type	: Button
Break Mode	: Off
Stop Plot At	: Start Position
Tare Mode	: Auto
Advenced Option	: On

5. ชั่งตัวอย่าง ประมาณ 50 กรัม เทใสลงกล่องบนฐานวางตัวอย่าง เลือกความสูงไว้ที่ 65 มิลลิเมตร จากนั้นกด OK เพื่อวัดค่าความกรอบของไรซ์เบอร์รี่เฟลก โดยค่าอ่านได้จากความชันของกราฟ

2. การวิเคราะห์วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Colormeter**)** (ดัดแปลงตามวิธีของดวงสมร,2555)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Colormeter
2. จานแก้ว
3. ฟิล์มใส

วิธีการทดลอง

1. กดปุ่ม on-off
2. กดปุ่ม L* a* b*
3. เตรียมผลิตภัณฑ์
4. ใช้ฟิล์มใสปิดให้สนิท
5. วางเครื่องวัดค่าสี Colormeter ใลงบนฟิล์มใสให้มีลักษณะแนบสนิท
6. กดปุ่มด้านข้าง แล้วอ่านค่าสีที่แสดง L* a* และ b* แล้วทำการบันทึกผล

ระบบนี้จะวัดค่าสีในรูป ค่าสี *L*, a** และ *b** โดยค่า *L** แสดงถึงความมืดสว่าง (darkness/lightness) ค่า *a** แสดงถึงสีแดงและสีเขียว (redness/greenness) และค่า *b** แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness) โดยมีการกำหนดความหมายของค่าที่วัดได้ดังนี้

ค่าสี *L** มีค่าเท่า 0 หมายถึงความมืด (darkness) มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงความสว่าง (lightness)

ค่าสี *a** มีค่าเท่ากับ (+) หมายถึงสีแดง (redness) มีค่าเท่ากับ (-) หมายถึงสีเขียว (greenness)

ค่าสี *b** มีค่าเท่ากับ (+) หมายถึงสีเหลือง (yellowness) มีค่าเท่ากับ (-) หมายถึงสีน้ำเงิน (blueness)

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ทางเคมี

1.การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดัดแปลงตามวิธีของ วิไลพร, 2551)

เครื่องมือ

1. Spectrophotometer

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. หลอดทดลอง
3. ปิเปต

เตรียมสารละลายในการทดลอง

1.เตรียม standard Garlic Acid monohydrate อัตราส่วน 1 มิลลิลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยการชั่ง Garlic Acid monohydrate 0.050 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมตรขนาด 50มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 70% ให้ได้ปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

2.เตรียม Folin Ciocalteu's reagent solution อัตราส่วน 1 : 9ปริมาตร 500 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

3.เตรียม Sodium carbonate (NA_2CO_3) 7.5 % น้ำหนักโดยปริมาตรโดยการชั่ง Sodium carbonate (NA2CO3) 37.5 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร

การสร้างกราฟมาตรฐานของ Gallic Acid monohydrate

1.โดยการนำสาร Gallic Acid monohydrate มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นต่างๆกันด้วยเอทานอล 70 % ให้ได้ความเข้มข้นดังนี้ 20,40,60,80 และ 100

2.นำสารละลาย Gallic Acid monohydrate แต่ละความเข้มข้นมาปรับปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

3.เติมสารละลาย Folin Ciocalteu’s reagent solution ที่เจือจาง 1:9 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

4.เติมสารละลาย 7.5 % น้ำหนักโดยปริมาตร Sodium carbonate ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง ผสมสารทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วยเครื่องผสม (Votex)

5. นำไปบ่มที่อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

6.นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยใช้ Bank คือเปลี่ยนจาก Gallic Acid monohydrate เป็นเอทานอล 70% ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร +Folin Ciocalteu’s ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร +Sodium carbonate ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร

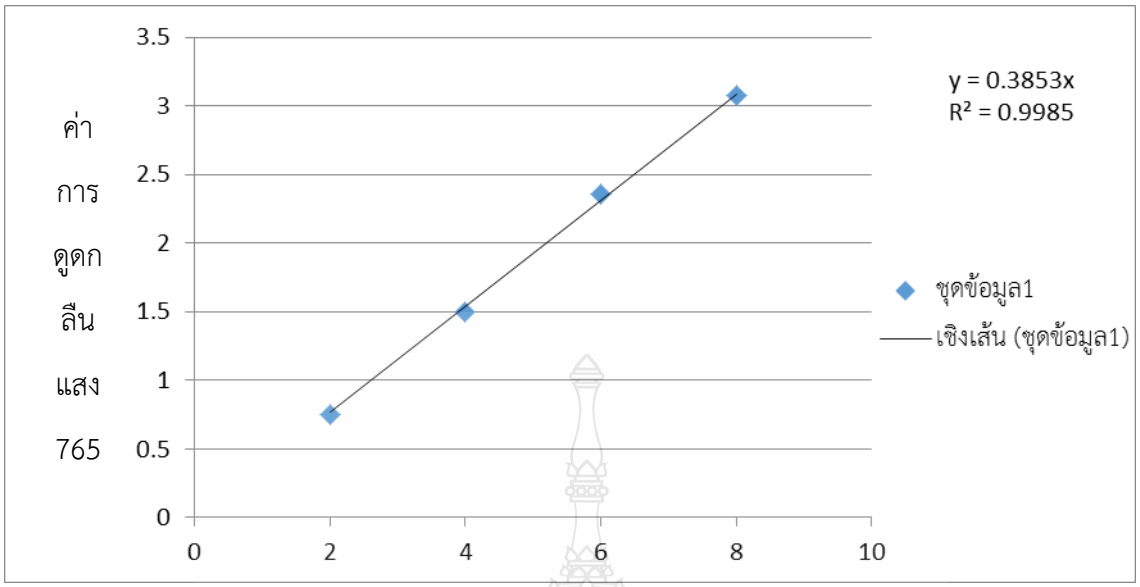
7.ในแต่ละความเข้มข้นวัดค่า 3 ซ้ำ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

วิธีการทดลอง

1.นำตัวอย่างที่สกัดมา 2 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ลงไป 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที

2.จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร ปิดปากหลอดด้วยพาราฟิล์ม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง

3.นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเทียบกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid รายงานผลเป็นปริมาณ gallic acid equivalent (mg GAE/g extract)



ภาพผนวกที่ 1-1 กราฟมาตรฐาน Gallic Acid

2.การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential (ดัดแปลงตามวิธีของ Wrolstad และคณะ, 2005)

เครื่องมือ

1. Spectrophotometer

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. บีกเกอร์
3. ปิเปต
4. บัฟเฟอร์KCl pH 1.0
5. บัฟเฟอร์ CH_3COONa pH 4.5

วิธีการทดลอง

1. ผสมสารสกัดตัวอย่างในหลอดทดลองที่ 1 ปริมาณ 20 ไมโครลิตร

2. เติมบัฟเฟอร์KCl pH 1.0 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และผสมสารสกัดตัวอย่างในหลอดทดลองที่ 2 ปริมาณ 20 ไมโครลิตร

3. เติมบัฟเฟอร์ CH_3COONa pH 4.5 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำหลอดทดลองทั้ง 2 หลอด ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่510 และ 700 นาโนเมตรตามลำดับ

4. คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของสารสกัดจากสมการดังต่อไปนี้

ปริมาณแอนโทไซยานิน(มิลลิกรัม/ลิตร) =(A × MW ×DF ×1000)/ (e ×L)

โดยที่A = (A510 nm - A700nm)pH 1.0 - (A510 nm – A700nm)pH 4.5

MW = 449.2 g/mol(น้ำหนักโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucoside)

e = 26,900 L/mol/cm (โมลาร์แอฟซอฟติวิตี้)

L = 1 cm (ความกว้างของcuvette)

DF = Dilution factor ของสารละลายตัวอย่าง

5. รายงานผลในรูปของมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ในตัวอย่าง100 กรัมน้ำหนักแห้ง (mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weightbasis)

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก

ชื่อ..... วันที่..... ชุดที่.....

<u>คำแนะนำ</u> : กรุณาทดสอบตัวอย่างที่ได้รับจากซ้ายไปขวาตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

กรุณาบ้วนปากหลังชิมตัวอย่างทุกครั้ง

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
สี				
กลิ่นรส				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอขอบคุณ

ภาพผนวกที่ 2-1 ตัวอย่างแบบทดสอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลกจากข้าวไรซ์เบอร์รี่

ภาคผนวก ง

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

1.ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ทางด้านกายภาพ

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีค่าความสว่าง(L*)

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	22.51	7.50	1.36^{ns}
Error	8	44.00	5.50	
Total	11	66.51		
C.V.(ร้อยละ)	6.25			

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีค่าแดง(a*)

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	1.88	0.63	0.38^{ns}
Error	8	13.36	1.67	
Total	11	15.24		
C.V.(ร้อยละ)	21.49			

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีค่าเหลือง(b*)

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	0.41	0.14	1.26^{ns}
Error	8	4.16	0.52	
Total	11	4.58		
C.V.(ร้อยละ)	17.90			

หมายเหตุ : * หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความกรอบ(Hardness)

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	256.08	85.36	5.51*
Error	16	247.73	15.48	
Total	19	503.81		
C.V.(ร้อยละ)	23.39			

หมายเหตุ : * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	.016	.005	27.00*
Error	8	.002	.000	
Total	11	.018		
C.V.(ร้อยละ)	12.19			

หมายเหตุ : * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

2.ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ทางด้านเคมี

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอร์รี่เฟลก

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	0.23	0.07	3.03*
Error	8	0.20	0.03	
Total	11	0.44		
C.V.(ร้อยละ)	19.93			

หมายเหตุ : * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณฟินอลิกทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไรซ์เบอรี่เฟลก

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	270.02	90.01	4.38*
Error	8	164.49	20.56	
Total	11	434.52		
C.V.(ร้อยละ)	13.63			

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

3.ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ทางด้านประสาทสัมผัส

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านสี

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	2.76	0.92	1.26^{ns}
Block	29	101.34	3.50	4.79^{ns}
Error	87	63.49	0.73	
Total	120			
C.V.(ร้อยละ)	17.22			

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

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	2.69	0.90	0.77^{ns}
Block	29	83.84	2.89	2.47^{ns}
Error	87	102.06	1.17	
Total	120			
C.V.(ร้อยละ)	18.49			

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

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	9.90	3.30	4.90*
Block	29	75.87	2.62	3.88*
Error	87	58.60	.674	
Total	120			
C.V.(ร้อยละ)	15.48			

หมายเหตุ : * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม

Source	df	SS	MS	F
Treatment	3	15.13	5.04	5.08*
Block	29	88.37	3.05	3.07*
Error	87	86.37	0.99	
Total	120			
C.V.(ร้อยละ)	17.71			

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

ภาคผนวก จ

ภาพการทดลอง

1

2

3

5

4

6

7

ภาพผนวกที่ 2-2 ขั้นตอนการผลิตไรซ์เบอร์รี่เฟลก

หมายเหตุ 1 = ข้าวไรซ์เบอร์รี่

2 = นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้ไปหุงและต้มให้สุก

3 = ชั่งข้าวและส่วนผสมในการผลิตไรซ์เบอร์รี่เฟลก

4 = นำข้าวใส่ลงหม้อ ใส่แป้งมันและน้ำสะอาด นำไปตั้งบนเตาด้วยไฟอ่อน 3 นาที

5 = ใส่ไข่ไก่และผงฟู เกลือ น้ำตาล กลิ่นวนิลา ผสมให้เข้ากัน นำปั่นให้ละเอียด

6 = หยดสวนผสมลงในถาดอบขนม

7 = นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซียลเซียส

ภาคผนวก ฉ

การศึกษาและพัฒนาแป้งกล้วย

1. การเตรียมกล้วยดิบ

นำกล้วย 2 ชนิด คือ กล้วยน้ำว้าดิบ (อายุ 14 – 16 สัปดาห์หลังแทงปลี) และกล้วยหอม (อายุ 13 – 15 สัปดาห์หลังแทงปลี) มาเตรียมเป็นแป้ง โดยนำกล้วยดิบมาล้างทำความสะอาดและปอกเปลือก แช่ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 นาน 30 นาทีแล้วหั่นบางๆ จากนั้นนำกล้วยดิบที่หั่นบางๆ

2. การทำแห้ง

นำกล้วยที่ผ่านการเตรียมแล้วไปทำแห้ง 2 แบบ คือ การทำแห้งแบบอบ นำกล้วยดิบที่หั่นบางๆ ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการทำแห้งแบบที่ 2 คือ การทำแห้งแบบตาก นำกล้วยดิบที่หั่นบางๆ ไปตากแดดที่อุณหภูมิประมาณ 28 – 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (นับชั่วโมงเฉพาะตอนที่มีแดด)

3. การบดและการร่อนแป้งกล้วย

นำกล้วยที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 แบบแล้วมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านเครื่อง Sieve tester ที่ผ่านชั้นตะแกรง 80 mesh คำนวณร้อยละผลผลิต และเก็บรักษาภายในภาชนะปิดสนิท

4. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วย

4.1 วัดค่าสี โดยนำแป้งกล้วยดิบมาวัดค่าสีระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter

4.2 วิเคราะห์ค่าร้อยละร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100$$

4.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 2000) และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดสอบทางเคมีและกายภาพวางแผนการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) หาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนโดยวิธี One – way analysis of variance

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะปรากฏของแป้งกล้วยดิบและร้อยละผลผลิต

ลักษณะปรากฏของแป้งกล้วยดิบทั้ง 2 ชนิดที่เตรียมได้ จะเป็นผงละเอียด เนื้อเนียนคล้ายแป้ง สีน้ำตาลอ่อน ดังภาพผนวกที่ ฉ-1, ฉ-2, ฉ-3 และ ฉ-4 และร้อยละตัวแทนผลผลิตของแต่ละชนิด ดังตารางผนวกที่ ฉ-1

ภาพผนวกที่ ฉ-1 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (อบแห้ง)

ภาพผนวกที่ ฉ-2 แป้งกล้วยหอมดิบ (อบแห้ง)

ภาพผนวกที่ ฉ-3 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (ตากแห้ง)

ภาพผนวกที่ ฉ-4 แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (ตากแห้ง)

ตารางผนวกที่ ฉ-1 เปรียบเทียบร้อยละตัวแทนผลผลิตของวิธีการอบแห้งต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งกล้วย

ชนิด	น้ำหนักผลดิบ	น้ำหนักแป้ง	ร้อยละผลผลิต
กล้วยน้ำว้าดิบ (อบแห้ง)	154.90 กรัม	35.10 กรัม	22.66 %
กล้วยหอมดิบ (อบแห้ง)	342.18 กรัม	63.22 กรัม	18.48 %
กล้วยน้ำว้าดิบ (ตากแห้ง)	168.76 กรัม	43.49 กรัม	25.77 %
กล้วยหอมดิบ (ตากแห้ง)	366.36 กรัม	72.50 กรัม	19.79 %

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการเปรียบเทียบร้อยละตัวแทนผลผลิตของวิธีการอบแห้งต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งกล้วย พบว่า ปริมาณร้อยละของผลผลิตของแป้งกล้วยทั้ง 2 ชนิด ในแบบอบแห้งและแบบตากแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. สมบัติทางเคมี-กายภาพบางประการของแป้งกล้วยดิบ

ตารางผนวกที่ ฉ-2 เปรียบเทียบความชื้นของแป้งกล้วย

ชนิด	ความชื้น		
	เริ่มต้น	หลังการทำแห้ง	แป้ง
กล้วยน้ำว้าดิบ (อบแห้ง)	71.34 %	3.13 %	4.75 %
กล้วยหอมดิบ (อบแห้ง)	78.85 %	1.82 %	5.62 %
กล้วยน้ำว้าดิบ (ตากแห้ง)	71.34 %	4.15 %	5.51 %
กล้วยหอมดิบ (ตากแห้ง)	78.85 %	3.10 %	6.85 %

หมายเหตุ: a, b, c และ d = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการเปรียบเทียบความชื้นของแป้งกล้วย พบว่า แป้งกล้วยน้ำว้าดิบที่ได้จากการทำแห้งแบบอบ มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับ 4.75% รองลงมา คือ แป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (ตากแห้ง) 5.51%, แป้งกล้วยหอมดิบ (อบแห้ง) 5.62% และแป้งกล้วยหอมดิบ (ตากแห้ง) 6.85% ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 3 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วย

ชนิด	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เก้า	คาร์โบไฮเดรต
กล้วยน้ำว้าดิบ (อบแห้ง)	10.38 %	0.45 %	1.89 %[d]	1.56 %	80.97 %
กล้วยหอมดิบ (อบแห้ง)	10.12 %	0.56 %	3.45 %[a]	2.02 %	78.23 %
กล้วยน้ำว้าดิบ (ตากแห้ง)	10.56 %	0.50 %	1.99 %[c]	1.75 %	79.69 %
กล้วยหอมดิบ (ตากแห้ง)	9.85 %	0.61 %	3.10 %[b]	1.89 %	77.70 %

หมายเหตุ: a, b, c และ d = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วย พบว่า ปริมาณเส้นใยของแป้งกล้วยหอมดิบ(อบแห้ง) มีปริมาณเส้นใยมากที่สุด เท่ากับ 3.45% รองลงมาคือ กล้วยหอมดิบ (ตากแห้ง) 3.10%, กล้วยน้ำว้าดิบ (ตากแห้ง) 1.99% และกล้วยน้ำว้าดิบ (อบแห้ง) 1.89% แต่ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบโฮเดรตของแป้งกล้วยทั้ง 2 ชนิด ทั้ง 2 การทำแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)