การพัฒนาเครื่องดื่มผงชงพร้อมดื่มจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

Development of Instant Powdered Beverage from Washing Riceberry Water

ไชยภร เก็บเงิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาเครื่องดื่มผงชงพร้อมดื่มจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

ไชยภร เก็บเงิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

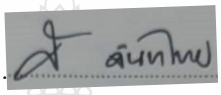
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องดื่มผงชงพร้อมดื่มจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ Development of Instant Powdered Beverage from Washing Riceberry Water
ชื่อ-นามสกุล	นายไชยภร เก็บเงิน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตรจารย์อินทิรา ลิจันทร์พร, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

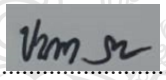


..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีนวล จันทไทย, Dr.nat.techn.)

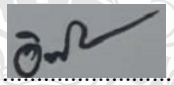
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์ชนก นันทะไชย, ปร.ด.)



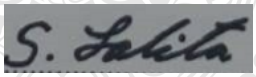
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, ปร.ด.)



..... กรรมการ

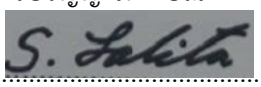
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อินทิรา ลิจันทร์พร, ปร.ด.)



..... กรรมการ

(อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.)

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



.....คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

(อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.)

วันที่ 8 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องดื่มผงชงพร้อมดื่มจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่
ชื่อ-นามสกุล	นายไชยภร เก็บเงิน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตรจารย์อินทิรา ลิจันทร์พร, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวเพื่อการล้างทำความสะอาดข้าว (ซาวข้าว) ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่หุงสุก 2) พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่โดยเสริมสารให้ความหวานและศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมถึงการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ 3) ศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณสารมอลโตเด็กซ์ตรินที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ 4) ศึกษาชนิดและปริมาณของสารก่อโฟมต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท

นำข้าวไรซ์เบอรี่มาทำการแช่ข้าวเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ทำความสะอาด (การซาว) และหุงให้สุก นำข้าวหุงสุกมาวิเคราะห์ทั้งเมล็ดข้าว ส่วนน้ำที่ได้จากการแช่และน้ำที่ได้จากการซาว นำไปวิเคราะห์ค่าสี ความเป็นกรด-ด่าง และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จากนั้นใช้น้ำที่ได้จากการซาวข้าวกล้องไรซ์เบอรี่มาเสริมสารให้ความหวาน ได้แก่ น้ำตาลทราย สารสกัดจากหญ้าหวาน และซูคราโลส ในปริมาณร้อยละ 0.012 และ 0.014 วิเคราะห์ค่าสี ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภค คัดเลือกน้ำซาวข้าวกล้องไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด นำมาทำแห้งโดยแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบโฟมแมท การทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ใส่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 30 และ 40 การทำแห้งแบบโฟมแมท โดยใช้สารก่อเป็นไข่ขาวผง เมลโธเซล และไข่ขาวผงผสมกับเมทโธเซล ที่ปริมาณร้อยละ 2.5, 3 และ 3.5 ทั้งการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบโฟมแมท ทำการวิเคราะห์ค่าสี อัตราการละลาย ร้อยละการผลิต และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ผลของการศึกษาระยะเวลาแช่ข้าว ก่อนล้างทำความสะอาดและหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า พบว่าน้ำซาวข้าวที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวมีผลต่อการลดลงของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และผลของการซาวข้าวทำให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดข้าวลดลงเช่นกัน จากผลของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่เสริมสารให้ความหวาน พบว่า น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานซูคราโลส ในปริมาณร้อยละ 0.014 ได้รับการยอมรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคมากที่สุด และผลจากการศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณสารมอลโตเด็กซ์ตรินที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง พบว่าอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส และปริมาณสารมอลโตเด็กตรินร้อยละ 30 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณ

แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^+$ ที่สูงกว่าอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินอื่นๆ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้การทำแห้งแบบโฟมแมทด้วยสารก่อเกิดโฟมไข่ขาวผง (EA) ที่ปริมาณร้อยละ 2.5 ผลิตภัณฑ์มีปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^+$ สูงกว่าการใช้สารก่อโฟมอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ผลจากงานวิจัยนี้ พบว่า การทำแห้งแบบโฟมแมทโดยใช้ไข่ขาวผงเป็นสารก่อโฟมที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถนำมาผลิตน้ำซาวไรซ์เบอรี่ผงที่ทำให้ตัวผลิตภัณฑ์มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงกว่าวิธีอื่นๆ

คำสำคัญ: เครื่องดื่มผงชงพร้อมดื่ม น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

Thesis Title	Development of Instant Powdered Beverage from Washing Riceberry Water
Name-Surname	Mr. Chaiyaporn Kebngoen
Program	Food Technology
Thesis Advisor	Lalita Siriwattananon, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Intira Lichanporn, Ph.D.
Academic Years	2019

ABSTRACT

The objectives of this research were: 1) to investigate duration of soaking and cleaning rice affecting action change and bioactive substances as well as the physical and chemical qualities of cooked riceberry, 2) to develop beverage from washing riceberry water added with sweeteners and then study physical and chemical qualities and amount of bioactive compounds including consumer acceptance of the product, 3) to examine hot air inlet temperature of spray drying and the amount of maltodextrin substance for appropriate water from washing rice affecting bioactive compounds and powder qualities in spray drying method, and 4) to study type and amount of foaming agents affecting physical and chemical qualities and bioactive compounds of water by washing rice with foammat drying method.

Riceberry was soaked for 0, 2, 4, 6, 8, 10 and 12 hours, and then cooked. The cooked rice was analyzed with the whole seed and the water from washing rice was analyzed in color, acidity and bioactive substances. Then, the water was used to produce an instant powdered beverage supplemented the sweeteners from sugar, stevia extract, and sucralose at 0.012% and 0.014%. Also, the consumers sensory evaluation were analyzed. The highest accepted formula by sensory evaluation was used to produce an instant powdered beverage by spray drying and foammat drying. In spray drying, the inlet hot air temperatures of 150 and 170 degrees Celsius were used, the amounts of maltodextrin at 30% and 40% were also added. In foammat drying, egg powder, methocel and egg white compound powder mixed with methocel were used at the amount of 2.5, 3 and 3.5%. Both spray drying and foammatt drying, color values, melting rate, production percentage and bioactive substances were analyzed.

The study results revealed that the water from washing riceberrry soaked for 2 hours yielded the most bioactive compounds. The time used in soaking the rice affected the decrease of the bioactive compounds content significantly ($p \leq 0.05$), and so did cleaning (washing) activity. In the beverage added with sweeteners, the 0.014% sucralose had higher acceptability in sensory evaluation from consumers. In addition, the drying method using spray drying with inlet air temperature of 150°C together with 30% maltodextrin showed higher phenolic compounds and antioxidants of DPPH and $ABTS^{+}$

(p≤0.05) while drying method using foammat drying, the 2.5% egg white powder (EA) as a foaming reagent showed the phenolic compounds and antioxidants of DPPH and $ABTS^{+}$ were higher than other foaming agents (p≤0.05). Therefore, it was concluded that the foammat drying method with 2.5% EA would be a recommended method for producing an instant powered beverage by water from washing rice, which yielded higher bioactive contents.

Keywords: instant powdered beverage, water from washing riceberry, bioactive compounds

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร. ลลิตา ศิริวัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อินทิรา ลิจันทรพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำทั้งในส่วนของการเรียนและงานวิจัย

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้การศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา พร้อมทั้งให้การสนับสนุนการวิจัยและอำนวยความสะดวกในเรื่องของการใช้สถานที่อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ระหว่างปฏิบัติงานทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่อบรม สั่งสอนมาจนถึงบัดนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร เจ้าหน้าที่ห้องสมุดคณะอุตสาหกรรมเกษตร เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ห้องสมุดกลางที่ให้ความรู้คำแนะนำ และคำปรึกษาต่างๆ และขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารและปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

และท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอนเสมอมา ขอบคุณสมาชิกในครอบครัว ที่มอบแรงกายแรงใจให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาการศึกษา และการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงถึงวันนี้

ไชยภร เก็บเงิน

8 กุมภาพันธ์ 2563

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (5)
กิตติกรรมประกาศ (7)
สารบัญ (8)
สารบัญตาราง (11)
สารบัญภาพ (17)
บทที่ 1 บทนำ 19
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 19
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 20
1.3 สมมติฐานการวิจัย 21
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 21
1.5 คำจำกัดความในการวิจัย 22
1.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย 22
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 23
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
2.1 ข้าวไรซ์เบอรี่ (Riceberry) 24
2.2 อนุมูลอิสระ (Free Redical) 27
2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) 28
2.4 คุณภาพข้าวสวย 51
2.8 วิธีการหุงข้าว 55
2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหุงสุก 57
2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 58
2.8 การทำแห้งแบบโฟมแมท 69
2.9 สารให้ความหวานสังเคราะห์ 76
2.10 เครื่องดื่มผง 79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 82
3.1 การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น 82
3.2 วิธีการทดลอง 82
3.3 วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ 87
3.4 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย 87
3.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 87
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 88
4.1 การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวและการล้างทำความสะอาดข้าว (ซาวข้าว) ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพ และเคมีในกระบวนการหุงข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ 88
4.2 การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 97
4.3 การศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง 100
4.3.1 การศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่ม 100
4.3.2 การศึกษาปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท 107
4.3.3 การศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง 115
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 120
5.1 สรุปผลการทดลอง 120
5.2 ข้อเสนอแนะ 121

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 122

ภาคผนวก 139

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ 140

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 145

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ 148

ภาคผนวก ง กราฟมาตราฐาน 160

ภาคผนวก จ แบบประเมินทางประสาทสัมผัส 164

ภาคผนวก ฉ ภาพการทดลอง 167

ภาคผนวก ช ผลทางสถิติของการทดลอง 172

ประวัติผู้เขียน 203

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สารอาหารที่มีอยู่ในข้าวไรซ์เบอรี่ 25
ตารางที่ 2.2 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวไรซ์เบอรี่ 27
ตารางที่ 2.3 ประเภทของกลุ่มแอนโทไซยานิน แยกตามกลุ่ม R3 และ R4 46
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ความเป็นกรด-ด่าง และสีของแอนโทไซยานิน 48
ตารางที่ 2.5 ค่าพีเอช, ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร) และสีของแอนโทไซยานิน 48
ตารางที่ 2.6 การดูดกลืนรังสีของแอนโทไซยานินและสารประกอบฟลาโวนอยด์ 50
ตารางที่ 2.7 สัดส่วนของน้ำต่อข้าวที่ปริมาณแอมิโลสต่างกัน 52
ตารางที่ 2.8 การแบ่งประเภทข้าวตามคงตัวของแป้งสุก 54
ตารางที่ 2.9 การสูญเสียคุณค่าจากการล้างและหุงข้าว (เปอร์เซ็นต์) 58
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและค่าสีในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุกที่ผ่านการแช่และล้างด้วยน้ำสะอาด 90
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ค่าสี ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ในน้ำแช่และน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 93
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และค่าสีในเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่หุงสุกที่ผ่านการแช่และซาว 96
ตารางที่ 4.4 ค่าสี (L*, a*, b*) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 98
ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 99
ตารางที่ 4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 100
ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของการทำแห้งแบบพ่นฝอยในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์-เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 101
ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 102

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อค่าสีในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 แบบผง 103
ตารางที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อค่าสีในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 แบบละลายน้ำ 104
ตารางที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 105
ตารางที่ 4.12 ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 40 และ 50 อุณหภูมิร้อนลมขาเข้า 170 และ 150 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 106
ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้สารก่อโฟมชนิดต่างๆ 108
ตารางที่ 4.14 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมีของสารก่อโฟมในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 109
ตารางที่ 4.15 ผลของสารก่อโฟมต่อค่าสีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง 110
ตารางที่ 4.16 ผลของสารก่อโฟมต่อค่าสีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงละลายน้ำ 111
ตารางที่ 4.17 ผลของชนิดและปริมาณสารก่อโฟมต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 112
ตารางที่ 4.18 ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อชนิดและปริมาณสารก่อโฟมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 114
ตารางที่ 4.19 คุณสมบัติการละลาย ร้อยละการผลิต ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบโฟมแมทต่อน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง 117
ตารางที่ 4.20 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบโฟมแมท 118

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.21 ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบโฟมแมทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 119
ตารางผนวกที่ ง.1 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Gallic acid ในการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 161
ตารางผนวกที่ ง.2 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH 162
ตารางผนวกที่ ง.3 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS 163
ตารางผนวกที่ จ.1 ตารางสุ่มตัวอย่างอาหาร 165
ตารางผนวกที่ ช.1 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 173
ตารางผนวกที่ ช.2 ผลทางสถิติเปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเมล็ดข้าวไรซ์-เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 174
ตารางผนวกที่ ช.3 ผลทางสถิติเปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของเมล็ดข้าวไรซ์-เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 175
ตารางผนวกที่ ช.4 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานินของเมล็ดข้าวไรซ์-เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 176
ตารางผนวกที่ ช.5 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีความสว่าง (L*) ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 177

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ช.6 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีแดง (a*) ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 178
ตารางผนวกที่ ช.7 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีน้ำเงิน (b*) ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 179
ตารางผนวกที่ ช.8 ผลทางสถิติของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 180
ตารางผนวกที่ ช.9 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 181
ตารางผนวกที่ ช.10 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 182
ตารางผนวกที่ ช.11 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 183
ตารางผนวกที่ ช.12 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานินของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 184
ตารางผนวกที่ ช.13 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีความสว่าง (L*) ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 185

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ช.14 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีแดง (a*) ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 186
ตารางผนวกที่ ช.15 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีน้ำเงิน (b*) ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 187
ตารางผนวกที่ ช.16 ผลทางสถิติเปรียบเทียบความเป็นกรดด่างของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 188
ตารางผนวกที่ ช.17 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 189
ตารางผนวกที่ ช.18 ผลทางสถิติของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 190
ตารางผนวกที่ ช.19 ผลทางสถิติของข้าวไรซ์เบอรี่หุงสุกต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ 191
ตารางผนวกที่ ช.20 ผลทางสถิติของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 192
ตารางผนวกที่ ช.21 ผลทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัสน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 193
ตารางผนวกที่ ช.22 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบพ่นฝอยในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 194
ตารางผนวกที่ ช.23 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบโฟมแมทในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 197

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ ช.24 ผลทางสถิติเปรียบเทียบการละลาย ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 199

ตารางผนวกที่ ช.25 ผลทางสถิติเปรียบเทียบร้อยละการผลิต ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์-เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 200

ตารางผนวกที่ ช.26 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณความชื้น ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์-เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 200

ตารางผนวกที่ ช.27 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณน้ำอิสระ ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์-เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 200

ตารางผนวกที่ ช.28 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานิน ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 201

ตารางผนวกที่ ช.29 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 201

ตารางผนวกที่ ช.30 ผลทางสถิติเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 202

ตารางผนวกที่ ช.31 ผลทางสถิติเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $ABTS^{+}$ ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท 202

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่และเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ 24
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Troiox 38
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ Gallic Acid 39
ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 41
ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระดีพีพีเอชทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ 42
ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาระหว่างอนุมลอิสระเอบีทีเอสทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ 43
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างฟลาโวนอยด์ 44
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน เมื่อ R1 และ R2 เป็นน้ำตาล 45
ภาพที่ 2.9 ตำแหน่งของกลุ่มไฮดรอกซิลและเมท๊อกซิลในโครงสร้างแอนโทไซยานิน 46
ภาพที่ 2.10 สีของแอนโทไซยานิน 49
ภาพที่ 2.11 การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินในช่วงแสงต่างๆ 50
ภาพที่ 2.12 การหุงข้าวแบบเช็คน้ำ การหุงข้าวแบบไม่เช็คน้ำ และการหุงข้าวต้ม 56
ภาพที่ 2.13 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 72
ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของซูคราโลส 76
ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของ Steviol, Stevioside และ Rebaudioside A 78
ภาพผนวกที่ ง.1 กราฟเส้นตรงของสารมาตรฐาน Gallic acid ในการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 161
ภาพผนวกที่ ง.2 กราฟเส้นตรงของสารมาตรฐาน Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH 162
ภาพผนวกที่ ง.3 กราฟเส้นตรงของสารมาตรฐาน Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS 163
ภาพผนวกที่ ง.1 แบบประเมินทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 166

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพผนวกที่ ฉ.1 ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวและการล้างทำความสะอาดข้าว (ซาวข้าว)ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทาง-ชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีในกระบวนการหุงข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ 168
ภาพผนวกที่ ฉ.2 ขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน 169
ภาพผนวกที่ ฉ.3 ขั้นตอนการศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่ม 170
ภาพผนวกที่ ฉ.4 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท 171

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำซาวข้าว เป็นของเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการแปรรูปข้าวพร้อมบริโภค โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร ในปัจจุบันผู้บริโภคต้องการความรวดเร็วและสะดวกสบายในการบริโภค ด้วยสภาวะที่ต้องเร่งรีบแข่งกับเวลาในปัจจุบัน ทำให้อุตสาหกรรมเหล่านี้ต้องเพิ่มกำลังการผลิตส่งผลให้ของเหลือทิ้ง (Waste) มีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากการล้างข้าวหรือซาวข้าวนั้นจะล้างโดยประมาณ 2 รอบต่อการหุงข้าว 1 ครั้ง [1] และยังเป็นที่ทราบกันดีว่าการซาวข้าวนั้นต้องใช้น้ำในปริมาณมากกว่า 2 เท่าของปริมาณข้าวทั้งหมด และ ปัจจุบันคนไทยหันมาบริโภคข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่มากขึ้น เนื่องจากมีสารอาหาร เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารแอนโทไซยานิน น้ำที่ได้จากการซาวข้าวไรซ์เบอรี่จะมีลักษณะเป็นสีม่วงซึ่งมีรงควัตถุที่เป็นสารสำคัญในน้ำซาวข้าวที่ถูกชะล้างทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ แต่ถ้ามองในทางการนำกลับมาใช้ใหม่นั้นสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากน้ำซาวข้าวได้ ทั้งนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหลายชนิดมีการเติมน้ำตาลเพื่อให้เครื่องดื่มมีรสชาติที่ดีขึ้น ซึ่งน้ำตาลนี้เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจดูแลสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะการดูแลเรื่องรูปร่างและน้ำหนักตัว การเลือกรับประทานอาหาร เครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันปัญหาโรคอ้วนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้มีปัญหาสุขภาพอื่นๆตามมา เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ เป็นต้นจากการสำรวจข้อมูลการบริโภคโดยสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล ปี 2562 พบว่าโดยเฉลี่ยในแต่ละวันคนไทยดื่มเครื่องดื่มที่ผสมน้ำตาลเฉลี่ยกว่า 3 แก้ว (519.3 มิลลิลิตร) โดยผู้ชายดื่มมากกว่าผู้หญิง และพบว่าในกลุ่มเด็กอายุ 6-14 ปี เป็นกลุ่มที่ดื่มเครื่องดื่มที่ผสมน้ำตาลเฉลี่ยต่อสัปดาห์มากที่สุดและยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [2] โดยพบว่าน้ำตาลที่ใช้อุตสาหกรรมเครื่องดื่มมียอดจำหน่ายสูงกว่าอุตสาหกรรมอื่นๆ เครื่องดื่มเป็นสินค้าที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องดื่มใช้สารให้ความหวาน ที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ [3] มาใช้ปรุงแต่งรสหวานทดแทนน้ำตาลมากขึ้น เช่น น้ำอัดลม น้ำผลไม้ต่างๆ เนื่องจากกลุ่มนี้เป็นสารให้ความหวานที่ไม่ให้พลังงาน จึงสามารถควบคุมพลังงานที่ได้รับโดยไม่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด จึงใช้ได้กับผู้ที่มีน้ำหนักเกิน ผู้ป่วยโรคอ้วน โรคเบาหวาน [4]

หญ้าหวานและซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานที่ไม่ให้พลังงาน เริ่มนำมาใช้กับอุตสาหกรรมเครื่องดื่มมากขึ้น

จากข้อความด้านบนที่กล่าวว่า “ผู้บริโภคต้องการความรวดเร็วและสะดวกสบายในการบริโภค” ซึ่งการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานพร้อมบริโภคอาจยังไม่ตอบโจทย์ของผู้บริโภคมากนัก เพราะความรวดเร็วและสะดวกสบายนั้นยังรวมถึงการขนส่งรวมถึงการซื้อและพกพาสะดวกมีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการบริโภค ทางผู้วิจัยจึงสนใจนำน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานมาทำแห้ง ด้วยวิธีทำแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โฟมแมทและพ่นฝอย ซึ่งการทำแห้งแบบโฟมแมทเป็นกระบวนการทำแห้งที่ลงทุนน้อยและมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME) แต่ในระดับอุตสาหกรรมอาหารขนาดใหญ่และกลาง มักนิยมใช้เทคนิคในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการทำแห้งที่มีต้นทุนที่สูงแต่มีปริมาณผลผลิตที่คงที่และมีประสิทธิภาพเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีการเสื่อมสลายได้ง่ายจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง แสง และความร้อน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเวลาในการแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ส่งผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ นำน้ำซาวที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุดมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงเสริมสารให้ความหวาน

1.2 วัตถุประสงค์ (Purpose of the Study)

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวและการล้างทำความสะอาดข้าว (ซาวข้าว) ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีในกระบวนการหุงข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

1.2.2 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่เสริมสารให้ความหวานและการยอมรับของผู้บริโภค รวมถึงการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

1.2.3 เพื่อศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณสารมอลโตเด็กตรินที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

1.2.4 เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารก่อโฟมต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท

1.3 สมมติฐานการวิจัย (Hypotheses)

1.3.1 การแช่ข้าว และล้างทำความสะอาด รวมถึงการหุงข้าวของข้าวไรซ์เบอรี่ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวไรซ์เบอรี่

1.3.2 การเสริมสารให้ความหวานในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ทั้งสองชนิด อาจเป็นที่ยอมรับในหมู่ผู้บริโภคที่ไม่ต้องการสารปรุงแต่งที่เป็นน้ำตาล

1.3.3 จากการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างและปริมาณสารมอลโตเด็กตรินที่แตกต่างอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

1.3.4 จากการใช้สารก่อให้เกิดโฟมหลายชนิดและในอัตราส่วนต่างๆ อาจส่งผลให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย (Scope of Study)

1.4.1 ศึกษาผลของการแช่ การทำความสะอาดและการหุงข้าวไรซ์เบอรี่ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวไรซ์เบอรี่ โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ 1.) ศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมี ในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ 2.) ศึกษาการล้างทำความสะอาดข้าว (ซาวข้าว) ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมี ในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ และ 3.) ศึกษากระบวนการหุงต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมี ในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

1.4.2 พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่เสริมสารให้ความหวาน ได้แก่ 1.) น้ำตาลทราย 2.) สารสกัดจากหญ้าหวาน และ 3.) ซูคราโลส ในปริมาณร้อยละ 0.012 และ 0.014 และการยอมรับของผู้บริโภค รวมถึงการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

1.4.3 ศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณสารมอลโตเด็กตรินที่เหมาะสม ร้อยละ 30 และ 40 สำหรับการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์-เบอรี่ผงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

1.4.4 ศึกษาชนิดของสารก่อโฟม ได้แก่ 1.) Egg albumin 2.) Methyl Cellulose (MC) และ 3.) ผสมกันระหว่าง Egg albumin และ Methyl Cellulose (MC) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และปริมาณของสารก่อโฟมที่ร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท

1.5 คำจำกัดความในการวิจัย (Definition)

1.5.1 ซาว หมายถึง เอาข้าวสารล้างน้ำด้วยวิธีใช้มือคนให้สะอาดก่อนหุงต้ม เรียกว่า ซาวข้าว

1.5.2 น้ำซาว หมายถึง น้ำที่ล้างข้าวสารให้สะอาดเมื่อก่อนหุง

1.5.3 เครื่องดื่ม หมายถึง น้ำหรือของเหลวชนิดต่างๆ ที่บริโภคโดยวิธีดื่มเพื่อดับกระหายหรือบำรุงกำลังเป็นต้น เช่น น้ำอัดลม น้ำผลไม้คั้น กาแฟ เบียร์

1.5.4 ผง หมายถึง สิ่งละเอียด หรือ ที่ละเอียด เช่น นมผง แป้งผง

1.6 กรอบแนวคิดของการวิจัย (Conceptual Framework)

ข้าวไรซ์เบอรี่ (Riceberry) มีลักษณะสีที่ปรากฏเป็นสีม่วงเข้ม จากการวิจัยของศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว พบว่า ข้าวไรซ์เบอรี่มีสารสำคัญหลากชนิด เช่น โอเมก้า 3 ธาตุสังกะสี ธาตุเหล็ก วิตามินอี วิตามินบี 1 เบต้าแคโรทีน ลูทีน โพลิฟีนอล แทนนิน แกมมา-โอไรซานอล แอนโทไซยานิน เป็นต้น ซึ่งสารสำคัญเหล่านี้สามารถเกิดการสูญเสียเนื่องจากเมล็ดข้าวได้รับแสงแดด หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อผู้บริโภคนำข้าวไรซ์เบอรี่มาบริโภคนั้นก็เป็นที่ทราบกันดีว่า ผู้บริโภคนำข้าวไรซ์เบอรี่มาล้าง (ซาว) ด้วยน้ำสะอาดก่อนนำมาหุงและบริโภค จากการล้าง (ซาว) ข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่าน้ำล้าง (ซาว) ข้าวไรซ์เบอรี่มีลักษณะเป็นสีม่วง ซึ่งสารที่มีรงควัตถุเป็นสีม่วงนั้นละลายอยู่ในน้ำล้าง (ซาว) และเป็นสารในกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระจำพวกสารแอนโทไซยานิน ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นประโยชน์จากการใช้น้ำล้างหรือซาวข้าวไรซ์เบอรี่มาศึกษาและพัฒนาให้เกิดประโยชน์ โดยการนำน้ำล้างหรือซาวข้าวไรซ์เบอรี่มาผ่านกรรมวิธีการทำแห้ง น้ำซาวข้าวไรซ์เบอร์รี่ชงพร้อมดื่มต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอร์รี่ ช่วยเพิ่มคุณค่าของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังเป็นการช่วยให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นทางเลือกใหม่ของผู้บริโภคที่ชอบในการรักษาสุขภาพ ยังรวมถึงอุตสาหกรรมที่ใช้ข้าวไรซ์เบอรี่มาผลิตข้าวพร้อมบริโภคที่สามารถนำของเหลือจากกระบวนการผลิตมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถสร้างรายได้แก่บริษัทหรือองค์กรต่อไป แต่อย่างไรก็ตามน้ำล้างข้าวเป็นเพียงน้ำสะอาดที่นำมาแปรรูปเครื่องดื่ม จึงควร

เลือกสารปรุงแต่งที่ให้ความหวานแต่ไม่ให้พลังงานมาปรุงแต่งเพื่อเป็นอีกทางเลือกของผู้บริโภคที่รักษาสุขภาพและผู้ป่วยที่ไม่สามารถรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีรสชาติจากน้ำตาลทรายได้ ทำให้งานวิจัยนี้จึงได้ผลิตภัณฑ์หลากหลายแบบ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องดื่มพร้อมบริโภคที่มีรสชาติหวานแต่ไม่ให้พลังงาน และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงชงพร้อมดื่ม

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Contribution to Knowledge)

1.7.1 ทราบถึงผลของระยะเวลาในการแช่ข้าว รวมถึงการล้างทำความสะอาด และการหุงข้าวมีผลต่อการสูญเสียสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

1.7.2 เพิ่มมูลค่าให้แก่ของเหลือทิ้ง (น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่) นำกลับมาใช้บริโภคและทำให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพได้

1.7.3 สามารถนำน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่มาพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เหมาะสมกับยุคสมัย 4.0

1.7.4 เพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้จากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

1.7.5 สามารถต่อยอดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในรูปแบบผง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวไรซ์เบอรี่ (Riceberry)

ข้าวไรซ์เบอรี่ (ภาพที่ 2.1) ได้พัฒนามาจากพันธุ์ข้าวเจ้าหอมนิล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 สถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) ลักษณะประจำพันธุ์ มีความสูงประมาณ 1.06 เมตร มีอายุการเก็บเกี่ยวโดยประมาณ 130 วัน เมล็ดเรียวยาวและสีม่วงดำ [6]

(ก) (ข)

ภาพที่ 2.1 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ (ก) และเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ (ข)
ที่มา : http://www.welovefarmers.com/wp-content/uploads/2015/09/2.jpg

2.1.1 ประโยชน์ของข้าวไรซ์เบอรี่

ข้าวที่มีปริมาณแร่ธาตุจำพวกเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง และยังมีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวอีกด้วย คือ “ข้าวไรซ์เบอรี่” จึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลและยังทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวที่ขัดทั่วไป จึงเหมาะสมกับผู้ป่วยที่เป็นเบาหวานแถมยังมีสรรพคุณช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายนั้นทำงานได้ดี นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยมหิดลนั้นได้ร่วมกันศึกษาผลจากการรับประทานข้าวไรซ์เบอรี่ในผู้ป่วยที่เป็นเบาหวาน พบว่าผู้ป่วยมีน้ำตาลในเลือดที่ดีขึ้น เนื่องจากข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขัดสีบางสายพันธุ์ ซึ่งการทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำจะทำให้ร่างกายใช้อินซูลินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเซลล์จะรับน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นซึ่งทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง ทำให้ข้าวไรซ์เบอรี่จึงจัดเป็นทางเลือกสำหรับคนรักษาสุขภาพที่ดีในระยะยาว [6]

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ของข้าวไรซ์เบอรี่

ข้าวหลากหลายชนิดมีคุณสมบัติเด่นทางโภชนาการ แต่ “ข้าวไรซ์เบอรี่” นั้นมีคุณสมบัติเด่นทางด้านสารต้านอนุมูลอิสระที่สูง มีจำพวกสาร เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล และยังมีวิตามินอี แทนนิน มีแร่ธาตุ และโฟเลตที่สูง และยังมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ เนื่องจากข้าวไรซ์เบอรี่มีสรรพคุณที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ข้าวไรซ์เบอรี่สามารถช่วยบำรุงร่างกาย และทำให้เกิดคอลลาเจน แถมลดการอักเสบที่ผิวหนัง ยังช่วยชะลอความแก่และความเสี่ยงต่อการเกิดโรคร้ายต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวานและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง และโรคสมองเสื่อมได้ ข้าวไรซ์เบอรี่ยังเป็นอาหารสุขภาพที่ดีต่อทั้งเด็กและผู้ใหญ่สามารถรับประทานเพื่อบำรุงสุขภาพและทดแทนในส่วนของข้าวขาวและข้าวกล้องตามปกติ แต่หากผู้สูงอายุรับประทานก็จะช่วยระบบไหลเวียนเลือดมีประสิทธิภาพมากขึ้น แถมยังช่วยบำรุงสายตาและระบบประสาทต่างๆ ข้าวไรซ์เบอรี่ยังมีคุณประโยชน์อีกมากมาย เพราะนอกจากแร่ธาตุต่างๆที่สำคัญต่อร่างกายแล้ว ข้าวชนิดนี้ยังมีไฟเบอร์สูง แถมยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ช่วยระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย [7]

สารอาหารสำคัญที่มีอยู่ในข้าวไรซ์เบอรี่ จะประกอบไปด้วยโอเมก้า 3 มีอยู่ประมาณ 25.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรดไขมันจำเป็นมีบทบาทต่อการทำงานและร่วมโครงสร้างของสมอง ตับ และระบบประสาทและลดคอเลสเตอรอล ธาตุสังกะสี มีอยู่ประมาณ 13.-18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วยให้การสังเคราะห์โปรตีน สร้างคอลลาเจนรวมถึงป้องกันผมร่วง ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารอาหารที่มีอยู่ในข้าวไรซ์เบอรี่

สารอาหาร	ปริมาณ	คุณประโยชน์
โอเมก้า 3	25.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	มีส่วนสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับและระบบประสาท
ธาตุสังกะสี	31.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน สร้าง คอลลาเจน รักษาสิว ป้องกันผมร่วง
ธาตุเหล็ก	13 – 18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ช่วยเสริมสร้างพลังงานในร่างกายเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบินในเม็ด เลือดแดง
วิตามินอี	678 ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัม	ช่วยชะลอความแก่ บำรุงผิวพรรณลดโอกาส เกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดสมองและหัวใจทำให้ปอดทำงานดีขึ้น

ตอนที่ 2.1 (ต่อ)

สารอาหาร	ปริมาณ	คุณประโยชน์
วิตามีนบี 1	0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	มีความจำเป็นต่อการทำงานของสมองระบบประสาท ระบบย่อยอาหาร รวมทั้ง ป้องกันเหน็บชา
เบต้าแคโรทีน	63 ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัม	ช่วยชะลอความแก่ ลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง ช่วยบำรุงสายตา
ลูทีน	84 ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัม	ป้องกันจอประสาทตาเสื่อมบำรุงการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดฝอยที่หล่อเลี้ยงตา
โพลิฟีนอล	113.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระป้องกันโรคมะเร็ง
แทนนิน	89.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	แก้ท้องร่วง แก้บิด สมานแผล
แกมมา โอไรซานอล	462 ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัม	เส้นใยอาหารมีอยู่ปริมาณมาก มีส่วนช่วยในการขับถ่าย และสุดท้ายคือสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว (2557) [7]

2.1.3 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวไรซ์เบอรี่

พื้นที่ปลูกข้าวไรซ์เบอรี่อยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงเวลาในการปลูกข้าวไรซ์เบอรี่อยู่ในช่วงเดือน สิงหาคม – ธันวาคม (ฤดูฝน) เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวไรซ์เบอรี่ โดยลักษณะทางการเกษตรของทางธรณีวิทยาต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ (ตารางที่ 2.2) รวมถึงคุณภาพของข้าวเมื่อทำการหุงต้มของข้าวไรซ์เบอรี่ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวไรซ์เบอรี่

Characteristics ลักษณะประจำพันธุ์	
ความสูง / Plant height	105 – 110 เซนติเมตร / cm
อายุเก็บเกี่ยว / Day of maturity	130 วัน / Day
ผลผลิต / Yield	300 – 500 กิโลกรัมต่อไร่ / kg/rai
% ข้าวกล้อง / % Brown rice	76 %
% ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด / % Head rice	50 %
ปริมาณอะไมโลส / Amylose	15.6 %
อุณหภูมิแป้งสุก / Gel Temperature	< 70 °C
Grain Length ความยาวของเมล็ด	
ข้าวเปลือก / Paddy rice	11 มิลิเมตร / mm
ข้าวกล้อง / Brown rice	7.5 มิลิเมตร / mm
ข้าวขัด / Polished rice	7.0 มิลิเมตร / mm

ที่มา : ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว (2557) [8]

2.2 อนุมูลอิสระ (Free radical)

2.2.1 ความหมายและความสำคัญต่อร่างกาย

อนุมูลอิสระ (Free radical) คือ โมเลกุลหรืออะตอมที่ไม่เสถียรเนื่องจากขาดอิเล็กตรอน ซึ่งโดยปกติในร่างกายมีโมเลกุลหรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนคู่ ในกรณีที่ร่างกายมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากการถูกอนุมูลอิสระแย่งจับ จะทำให้โมเลกุลของเซลล์ในร่างกายไม่เสถียร ขาดความสมดุล ซึ่งส่งผลทำให้เซลล์ร่างกายเสียหายได้ อนุมูลอิสระมาจากแหล่งภายนอก ได้แก่ มลพิษในอากาศ โอโซน ไนตรัสออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่น ควันบุหรี่ อาหารที่มีกรด ไขมันไม่อิ่มตัว แสงแดด ความร้อน รังสีแกมม่า และมาจากอนุมูลอิสระที่ร่างกายสร้างขึ้น [9] ตัวอย่างของอนุมูลอิสระได้แก่

- O_2 – Superoxide anion อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์
- OH – Hydroxyl radical อนุมูลไฮดรอกซิล
- ROO – Peroxy radical อนุมูลเปอร์ออกซี

- H_2O_2 – Hydrogen peroxide ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

- Lipid peroxyl, LO_2 ลิปิดเปอร์ออกซี

เมื่ออนุมูลอิสระเข้าไปทำลายเซลล์ แต่ร่างกายไม่สามารถผลิตหรือได้รับสารต้านอนุมูลอิสระเพียงพอที่จะไปยับยั้ง หรือไปจับอนุมูลอิสระได้ภายในเซลล์ของร่างกาย ทำเซลล์เกิดความเสียหายและนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง หัวใจและหลอดเลือด แก่ก่อนวัย ต้อกระจก และโรคอื่นๆ ตัวอย่างการเกิดโรคได้แก่การที่อนุมูลอิสระไปทำลายตัวป้องกันหรือแย่งจับกับอนุมูลอิสระ และนำอนุมูลอิสระเหล่านั้นไปนอกเซลล์ไม่ถูกทำลาย [9]

ร่างกายมีกลไกกำจัดอนุมูลอิสระได้ 2 กรรมวิธี [9]

(1) เอนไซม์ที่ร่างกายสร้างขึ้นจับกับอนุมูลอิสระ เช่น เอนไซน์ซุปเปอร์ออกไซต์ดิสมิวเตส (Superoxide dismutase, SOD) หรือเอนไซม์คาตาเลส กลูตาไธโอน เปอร์ออกซิเดส (Catalase glutathione peroxidaes) แต่ร่างกายมักสร้างไม่เพียงพอ เซลล์จึงเกิดการบาดเจ็บขึ้น และเมื่อมีอายุมากขึ้น การสร้างสารต้านอนุมูลอิสระจะลดลง ในขณะที่อัตราการเกิดอนุมูลอิสระยังเท่าเดิมผลที่ตามมาคือ ทำให้เกิดโรคต่างๆ

(2) การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากอาหาร เช่น วิตามินอี เบตาแคโรทีน แอนโทไซยานิน สารประกอบโฟลีฟีนอลต่างๆ เช่น แทนนิน (Tannin) แคทชิชิน (Cathechin) เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงโคเอนไซม์คิวเท็น (Coenzyme Q10) ซึ่งจัดเป็นสารจำพวกวิตามิน หรือคล้ายวิตามิน และมีอยู่ในทุกเซลล์ของร่างกาย ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ที่จำเป็นตัวหนึ่งในการเริ่มปฏิกิริยาเคมีเพื่อสร้างพลังงานในร่างกาย จึงมีความสำคัญต่อกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ เนื่องจากหัวใจต้องทำงานตลอดเวลา สำหรับบุคคลทั่วไปแม้ว่าร่างกายจะสามารถสร้างโคเอนไซม์คิวเท็นได้เอง แต่ความสามารถนี้จะลดลงเมื่ออายุ 21 ปีขึ้นไป ในขณะที่ปริมาณที่ร่างกายต้องการกลับไม่ลดลง

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชันมีได้หลายรูปแบบ เช่น กระบวนการออกซิเดชันที่ทำให้เหล็กกลายเป็นสนิม ทำให้แอปเปิ้ลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หรือทำให้น้ำมันพืชเหม็นหืน ส่วนกระบวน การออกซิเดชันที่เกิดในร่างกาย เช่น การย่อยสลาย

โปรตีนและไขมันจากอาการที่กินเข้าไป มลพิษทางอากาศ การหายใจ ควันบุหรี่ รังสียูวี ล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายของคน ซึ่งสร้างความเสียหายต่อร่างกายดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในความเป็นจริงไม่มีสารประกอบสารใดสารหนึ่ง สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ทั้งหมด แต่ละกลไกต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันในการหยุดกระบวนการออกซิเดชัน

กระบวนการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อร่างกาย ออกซิเจนจากอากาศที่ปอดหายใจเข้าไป ช่วยเผาผลาญอาหารที่ร่างกายได้รับให้เป็นพลังงานสำหรับการทำงานของเซลล์ แต่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเป็นผลพลอยได้ อนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่สำคัญในร่างกาย เช่น ไขมัน โปรตีน ดีเอ็นเอ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลดังกล่าว ตัวอย่าง เช่น เมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับแอลดีแอล (LDL : low – density lipoprotein) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี ทำให้เกิดออกซิไดซ์แอลดีแอล (Oxidized LDL) ซึ่งมีหลักฐานยืนยันว่า ออกซิไดซ์แอลดีแอล เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็งตัว ทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดและเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคหัวใจ [9]

แม้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระสามารถลดความเสี่ยงต่อโรคโดยเฉพาะโรคเรื้อรังที่สัมพันธ์กับอาหาร เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคสมอง (เช่น อัลไซเมอร์) เป็นต้น รวมทั้งช่วย ชะลอกระบวนการบางขั้นตอนที่ทำให้เกิดความแก่ ซึ่งโดยปกติร่างกายสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ ก่อนที่มันจะทำอันตรายแต่ถ้ามีการสร้างอนุมูลอิสระเร็ว หรือมากเกินกว่าร่างกายจะกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จะสร้างความเสียหายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ สารต้านอนุมูลอิสระลดความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้ 2 ทาง คือ

(1) ลดการสร้างอนุมูลอิสระในร่างกาย

(2) ลดอันตรายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ

2.3.1 ชนิดอาหารที่เป็นแหล่งสำคัญของสารอนุมูลอิสระ

ชนิดอาหารที่เป็นแหล่งที่สำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ [9] ได้แก่

2.3.1.1 วิตามินซี พบในฝรั่ง ส้ม มะขามป้อม มะละกอสุก พริกชี้ฟ้าเขียว บร็อกโคลี ผักคะน้า ยอดสะเดา ใบปอ ผักหวาน ผักกาดเขียว

2.3.1.2 วิตามินอี น้ำมันจากจมูกข้าวสาลี น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำดอกคำฝอย เมล็ดทานตะวัน เมล็ดอัลมอนด์ จมูกข้าวสาลี

2.3.1.3 ซีลีเนียมจากอาหารทะเล ปลาทูน่า เนื้อสัตว์และตับ บะหมี่ ไก่ ปลา ขนมปังโฮลวีต

2.3.1.4 วิตามินเอจากตับหมู ตับไก่ ไข่โดยเฉพาะไข่แดง น้ำนม พืชผักที่มีสีเขียวเข้มผลไม้ที่มีสีเหลืองส้ม เช่น ผักตำลึง ผักกวางตุ้ง ผักบุ้ง มะม่วงสุก มะละกอสุก มะเขือเทศ

2.3.1.5 แคโรทีนอยด์ (บีตาแคโรทีน ลูทีน และไมโคฟีน) ในผักที่มีสีเหลืองส้ม เช่น ผักตำลึง ผักกวางตุ้ง ผักบุ้ง ฟักทอง มะม่วงสุก มะละกอสุก มะเขือเทศ

อย่างไรก็ตามการบริโภคอาหารทะเล ไข่แดง และเครื่องในสัตว์ซึ่งเป็นอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูง สำหรับผู้ที่มีภาวะไขมันในเลือดสูง ไม่ควรรับประทานเป็นประจำ สารต้านอนุมูลอิสระนั้นไม่สามารถแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นแล้ว แต่สามารถชะลอให้ความเสียหายเกิดช้าลงได้ บุคคลทุกเพศทุกวัยจึงควรได้รับสารต้านอนุมูลอิสระให้พอเพียงต่อความต้องการในแต่ละวันเพื่อให้เกิดความสมดุลในร่างกายระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระและอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น

2.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่มีในข้าว

2.3.2.1 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารทุติยภูมิ ที่พบได้ทั่วไปในพืช ถูกผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและช่วยป้องกันเชื้อโรค หรือแมลงศัตรูที่เข้าไปทำลายเซลล์ต่างๆ ของพืช การรับประทานฟีนอลิกในอาหารมีประโยชน์ต่อสุขภาพเกี่ยวกับการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเบาหวานชนิดที่ 2 และมะเร็งบางชนิด [10]

สารประกอบฟีนอลิกมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิเดนซ์ กล่าวคือ เป็นตัวกำจัดอนุมูลอิสระที่สำคัญ โดยเฉพาะอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิล ป้องกันการเกิดขึ้นตอนการถ่ายทอดของปฏิกิริยาลูกโซ่ จึงสามารถหยุดปฏิกิริยาได้ ฟีนอลิกบางชนิดเช่น เคอร์ซิทิน (Quercetin) ทำหน้าที่เป็นสารคีเลต ช่วยดักจับไอออนของโลหะ เช่น เหล็กและทองแดงไว้ในโมเลกุล

สารประกอบฟีนอลิกจึงทำหน้าที่เป็นสารให้อิเล็กตรอน และเป็นตัวให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถกำจัดอนุมูลที่มีออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟได้ [11]

สารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทที่สำคัญดังนี้ [12]

1) ช่วยป้องกันการเกิดเนื้องอกที่อาจกลายเป็นมะเร็งด้วยคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

2) ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและเส้นโลหิตแตกในสมองได้ เนื่องจากช่วยลดระดับแอลดีแอล คอเลสเตอรอล (low density lipoprotein : LDL) และไตรกลีเซอ-ไรด์ และยังทำให้ระดับเอชดีแอลคอเลสเตอรอล (high density lipoprotein : HDL) ช่วยกำจัดเกล็ดเลือดที่เกาะตามผนังเส้นเลือดใหญ่หลุดออกไป

3) ช่วยลดความดันโลหิต โดยสารประกอบฟีนอลิกจะยับยั้งการหลั่งเออนไซม์ Angiotension Conveting Enzyme (ACE) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความดันโลหิตสูง เนื่องจากไตหลั่งเอนไซม์ดังกล่าว

4) ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ที่ทำหน้าที่เร่งการย่อยโมเลกุลแป้งไปเป็นน้ำตาล

5) ช่วยต้านออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในสมอง ฟีนอลิกอาจช่วยป้องกันโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) โดยจับกับโลหะที่กระตุ้นให้เกิดการสะสมเปปไตด์ชนิด Amyloid beta peptide เช่น เหล็ก ทองแดง สังกะสี

6) ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและไวรัส

7) ลดการอักเสบต่างๆ ของร่างกาย

8) ชะลอความเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย เนื่องจากความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ประเภทของสารประกอบฟีนอลิก แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) กรดฟีนอลิก (Phemolic acids) พบได้ในธัญพืชแทบทุกชนิดโดย gallic acids จะพบมากที่สุดในข้าว ข้าวฟ่าง และข้าวมิลเลต [13]

2) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) มีมากในข้าวที่มีสี ได้แก่ แอนโทไซยานิน และแอนโทไซยานิดิน (Anthocyaanins and anthocyanidins) เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ และให้สีสันต่างๆ เช่น สีน้ำเงิน สีม่วง สีชมพู ไปจนถึงสีแดงสด ชนิดที่พบมากในข้าวและธัญพืช โดยส่วนใหญ่พบในชั้นรำข้าว เช่น ข้าวเหนียวดำ ข้าวฟ่างแดง และข้าวฟ่างดำ แอนโทไซยานินเป็นกลุ่มหนึ่งที่เป็นรงควัตถุพื้นฐานในเมล็ดพืชที่มีสีแดงหรือสีดำ มีการศึกษาเพื่อระบุชนิด และคุณลักษณะของแอนโทไซยานินในเมล็ดธัญชาติกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งองค์ประกอบหลักของแอนโทไซยานินในข้าวที่มีสี คือ cyanidnie-3-glucoside [14]

สำหรับกลไลในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกมีทั้งหมด 3 กลไล ดังนี้ [9]

1) ทำหน้าที่เป็นสารคีแลต (Chelating agent) โดยการจับหรือฟอร์มพันธะโคออร์ดิเนต

2) หน้าที่ในการต้านออกซิเดชัน โดยการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain breaking antioxidant) ขจัดอนุมูลอิสระ เช่น lipid alkoxyl และ peroxyl radicals สารประกอบฟีนอลเป็นตัวให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ

3) ช่วยให้วิตามินอีคืนสภาพ (Vitamin E regeneration) โดยสารประกอบฟีนอลิกจะไปรีดิวซ์อนุมูล α-tocopheryl ของวิตามินอี ให้กลับไปเป็นโทโคเฟอรอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันได้

2.3.2.2 แคโรทีนอยด์ในข้าวสี

ข้าวสีเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ที่พบมากโดยเฉพาะในข้าวที่มีสีเข้ม ได้แก่ สีดำ สีม่วง และสีแดง โดย Kim *et al.* (2010) [15] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ในข้าวสีดำ สีแดง และข้าวสีขาวจากประเทศเกาหลี โดยการศึกษาในข้าวกล้องทั้งเมล็ด พบว่า ข้าวบางสายพันธุ์ที่มีสีดำเข้มที่สุดนั้น มีปริมาณแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์สูงกว่าพันธุ์ที่มีสีแดง และสีขาว มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 2-6 µg/g (0.2-0.6 mg/100g) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบแคโรทีนอยด์ พบว่า ประกอบด้วยลูทีนสูงสุดเท่ากับ 441.16-624.94 µg/100g รองลงมาคือ เบต้าแคโรทีนและซีแซนทีน

2.3.2.3 แกมมาออริซานอลในข้าว

แกมมาออริซานิลเป็นสารประกอบที่เกิดจากธรรมชาติ พบในพืชเท่านั้น ส่วนใหญ่จะพบในชั้นรำของข้าว และน้ำมันรำข้าว ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและความคงตัวของแกมมาออริซานอล ได้แก่ สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก กระบวนการแปรรูปหลังการเกี่ยว สายพันธุ์ข้าว ส่วนของข้าวที่นำมาวิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ สารแกมมาออริซานอลที่พบค่อนข้าวสูงในข้าวกล้อง คือ Cycloarternyl ferulate และ 24-methylene-cycloartanyl ferulate ในส่วนของรำข้าวมีปริมาณข้าวสูงกว่าข้าวกล้องเกือบ 10 เท่า แต่พบสูงสุดในน้ำมันรำข้าว [16]

แกมมาออริซานอลมีผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ คือ ช่วยลดระดับของคอเลสเตอรอลในเลือดจึงลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ ลดภาวะการเกิดเบาหวาน และน้ำหนักเกิน โดยมีกลไลการลดการดูดซึมคอเรสเตอรอลของร่างกาย และลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลของตับ ในกรณีของการลดระดับคอเรสเตอรอลนั้น เมื่อร่างกายลดการดูดซึมคอเรสเตอรอลแล้ว ตับจะไม่มีการเพิ่มเอนไซม์ HMG (3-hydroxy-3-methy-glutary) CoA reductase ซึ่งใช้ในการเพิ่มการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย จึงทำให้ลดระดับคอเลสเตอรอล LDL ลงได้ และยังสามารถเพิ่มระดับคอเลสเตอรอล HDL ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้ Rong *et al.* (1997) [17] ได้ทำการศึกษาการลดระดับคอเลสเตอรอลในหนูทดลอง จากการทดลองพบว่าแกมมาออริซานอลมีความสามารถในการลดระดับคอเลสเตอรอลชนิด LDL ลงได้ร้อยละ 34

2.3.3 การศึกษาสารพฤกษเคมีที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวสีชนิดต่างๆ

ข้าวมีรงควัตถุจะทำให้มีสีที่แตกต่างกันเช่น สีแดง สีม่วง สีดำ สีของข้าวที่เข้ามากประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระยิ่งมีมากขึ้น โดยปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 35.3 ถึง 214.7 ไมโครโมลต่อกรัม จากการศึกษาด้วยวิธี ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) ในรำข้าวเจ้าหอมนิลและรำข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 229 ถึง 304.7 ไมโครโมลต่อกรัม และเมื่อนำข้าวสายพันธุ์ต่างๆมาเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือชาเขียว พบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูอิสระในการต้านอนุมูอิสระมากกว่าเกือบ 100 เท่า สำหรับกระบวนการหุงต้มข้าวที่มีสีม่วงเข้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า พบว่า มีผลทำให้ประสิทธิภาพในต้านอนุมูลอิสระลดลง

ประมาณร้อยละ 50 หรือลดประสิทธภาพลงประมาณครึ่งหนึ่งของข้าวดิบ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแล้วข้าวสีม่วงเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือน้ำดื่มชาเขียวที่ขายตามท้องตลาด ข้าวสีที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีเข้มมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่า [18]

สำหรับข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอรี่ และพันธุ์สินเหล็ก พบว่า เมื่อหุงสุกแล้วยังมีสารต้านอนุมูลอิสระเหลืออยู่ไม่ได้ถูกความร้อนทำลายจึงเป็นแหล่งอาหารที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระ [18]

ปัจจุบันนักวิจัยทั้งในประเทศ และต่างประเทศให้ความสำคัญต่อการศึกษาวิจัยเรื่องข้าวสีสายพันธุ์ต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยศึกษาปริมาณและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันมีดังนี้

นิพัทธา และ วริพัสย์ (2553) [19] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ของสี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 51 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโทไซยานินมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.194-8.702 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 0.0012-6.676 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ สารสกัดจากกลุ่มข้าวที่มีสีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโทไซยานินสูงกว่าสารสกัดจากกลุ่มข้าวไม่มีสี โดยข้าวเหนียวดำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโทไซยานินสูงที่สุด

ณัดฐาวุฒิ และคณะ (2555) [20] ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโปรแอนโทไซยานินและแอนโทไซยานินจากข้าวมีสี 4 ชนิด คือ ข้าวเหนียวดำ (ดำ) ข้าวหอมนิล (สีดำ) ข้าวมันปู (สีแดง) และข้าวสังหยด (สีเหลือง-แดง) ด้วยตัวทำละลาย 6 ชนิด คือ น้ำกลั่นร้อยละ 1 กรดเกลือในน้ำกลั่น เอทานอลร้อยละ 1 กรดเกลือในเอทานอล อะซิโตน และร้อยละ 1 กรดเกลือในอะซิโตน โดยผลการทดลอง พบว่า ข้าวมันปูที่สกัดด้วยร้อยละ 1 กรดเกลือในเอทานอล มีปริมาณแอแนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ %DPPH scavenging activity สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 0.184 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (mg/ml) และ 49.718 ตามลำดับ ข้าวเหนียวดำที่สกัดด้วยร้อยละ 1 ของกรดเกลือในน้ำกลั่น

พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด เท่ากับ 3.741 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และที่สกัดด้วยร้อยละ 1 กรดเกลือในเอทานอล พบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือร้อยละ 53.144

Ryu *et al.* (1998) [21] ได้ทำการศึกษาข้าวมีสีโดยพบว่าสีที่เกิดขึ้นได้จากการสะสมของรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีที่สำคัญ คือ สีน้ำตาลอ่อน (Procyanidin) สีชมพู (Peonidin) และสีม่วงเข้ม (Cyanidin) รงควัตถุนี้ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์ (แอนโทไซยานิน) ในต้นข้าวที่พบมาก คือ Cynidin-3-glucoside รองลงมาคือ Peonidin-3-glucoside โดยปริมาณแอนโทไซยานินชนิดอื่นที่พบในข้าวมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว

Zhou *et al.* (2004) [22] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีผลมาจากการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกตรึงมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงมากกว่าที่เก็บอุณหภูมิ 4 องซาเซลเซียส โดยสาเหตุหลักมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในข้าวระหว่างการเก็บรักษา

Shen *et al.* (2009) [23] ได้ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าว และความสัมพันธ์กับสีของเมล็ด ขนาดของเมล็ดและน้ำหนักต่อร้อยเมล็ดของข้าว โดยพบว่า ปริมาณฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ในข้าวจะมีปริมาณสูงขึ้นเรียงลำดับคือ จากข้าวขาว (White rice) ข้าวแดง (Red rice) และข้าวดำ (Black rice) เมื่อพิจารณาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าว 481 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 108-1244.9 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) กล่าวคือ ข้าวสีขาวนั้นมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 108-251 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ข้าวแดงตั้งแต่ 165.8-731.8 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) และข้าวสีดำตั้งแต่ 841-1244.9 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแลกลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ประเด็นที่น่าสังเกตอย่างยิ่งคือ พบความสัมพันธ์ในทิศทางลบระหว่างค่า a* กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และความสัมพันธ์ในทิศทางบวกระหว่างค่า h^0 กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งในกลุ่มข้าวขาวและในกลุ่มข้าว

แดง ซึ่งเป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าสามารถนำความสัมพันธ์เหล่านี้ไปใช้เป็นดัชนีโดยอ้อมในการคัดเลือกข้าวที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงๆ ที่จะนำมาใช้ผสมเพื่อปรับปรุงพันธุ์ได้

Kong and Lee (2010) [24] ได้ทำการศึกษาข้าวดำ 2 สายพันธุ์ (Heugjinjubyeo และ Heugkwangbyeo) โดยนำข้าวดำไปขัดสี ให้ได้ส่วนของรำข้าว ข้าวเต็มเมล็ด (ข้าวกล้อง) ข้าวขัดขาว (Endosperm) แล้วนำแต่ละส่วนไปวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินสูงที่สุด รองลงมาคือในข้าวกล้อง ส่วนข้าวขัดขาวมีปริมาณต่ำที่สุด

Zhang *et al.* (2010) [25] ทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในรูปต่างๆ ในข้าว 14 สายพันธุ์ มีทั้งสายพันธุ์สีดำและสีขาว (พันธุ์ Gulnongzhan และ Huldao) พบว่าสายพันธุ์สีดำมีขาวพบในปริมาณเท่ากับ 2365-7367 mg/100g น้ำหนักแห้ง และสายพันธุ์สีดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงปริมาณเท่ากับ 654.0-718.6 mg/100g น้ำหนักแห้ง จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าสายพันธุ์สีดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าสายพันธุ์สีขาวประมาณ 5 เท่า

Choi *et al.* (2007) [26] ได้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากเมล็ดธัญพืช และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัด ซึ่งได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ และวิตามินอี พบว่า ปริมาณฟีนอลิกในข้าวฟ่างมีปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวที่มีสีดำ ซึ่งพบในปริมาณ 733 และ 313 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณแคโรทีนอยด์พบมากที่สุดในถั่วเขียว เท่ากับ 102 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม และเมื่อนำสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วย DPPH radical scavenging assay และ $ABTS^{+}$ assays ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และความสามารถในการรีดิวซ์ (Reducing power) พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่าง และข้าวสีดำ มีสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในกรดไลโนเลอิก และความสามารถในการรีดิวซ์สูงกว่าที่พบในข้าวขาว ข้าวบาร์เลย์ และถั่วเขียว

สำหรับการศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดย พรประภา และคณะ (2555) [27] เปรียบเทียบระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ และการต้านอนุมูลอิสระของข้าวฮางงอกที่ไม่มีสี และมีสี โดยที่ข้าวฮาง หรือข้าวหอมทอง หมายถึง ข้าวเปลือกที่นำมาแช่น้ำไว้ แล้วกระตุ้นให้เกิดการงอกของข้าว

ทำให้สารอาหารต่างๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าวกะเทาะ [28] ซึ่งพรประภา และคณะ (2555) พบว่า ข้าวฮางไม่มีสีมีค่าสี L* b* chroma (c°) และค่า Hue (h°) มากกว่าข้าวมีสี ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ข้าวมีสีมีค่าสี a* แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ น้ำตาลรีดิวซ์ และค่า Ferric reducing ability of plasma (FRAP) สูงกว่าข้าวฮางไม่มีสี ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ แทนนิน และ %DPPH inhibition ของข้าวทั้งสองกลุ่มแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

นอกจากนี้ปวีณา และประภัสสร (2555) [29] ยังได้ศึกษาการแปรรูปเมล็ดข้าวไทยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Compounds) ในข้าวไทย 4 ชนิด ได้แก่ ดอกมะลิ 105 ข้าวเหนียว (กข.6) ข้าวเหนียวดำ และข้าวแดง แปรรูปเป็นข้าวกล้องงอก ข้าวฮาง และข้าวคั่ว แล้วนำมาสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 จากนั้นจึงนำมาทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay และ Ferric reducing ability of plasma (FRAP) assay และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu method พบว่า ข้าวหอมมะลิ และข้าวแดงที่ได้ทำการแปรรูปเป็นข้าวฮาง และข้าวกล้องงอกมีกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในข้าวเหนียวดำ พบว่า เฉพาะข้าวเหนียวที่ผ่านการแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอกเท่านั้นที่มีกิจกรรมด้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น และสูงกว่าข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกของข้าวหอมมะลิ และข้าวฮางงอกของข้าวแดงเท่านั้น ที่มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแปรรูป การแปรรูปโดยวิธีการคั่วนั้น พบว่า มีผลต่อกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของข้าวทุกสายพันธุ์น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการแปรรูปเพื่อทำข้าวกล้องงอกและข้าวฮาง

ในการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เครื่องดื่มสำเร็จรูป โดย อัสมา (2554) [30] ได้แปรรูปข้าวที่มีสี 8 พันธุ์ ที่ปลูกในภาคใต้ คือ กำหยาน (KN) หอมกระดังงา (HK) สังข์หยก (SY) ช่อไม้ไผ่ (CMP) กรามแรด (KR) เหนียวแดงรหัส 96060 (RWR96060) ข้าวเหนียวดำรหัส 96025 (BWR96025) และข้าวเหนียวดำรหัส 96044 (BWR96044) เพื่อทำเครื่องดื่ม พบว่า น้ำสกัดของข้าวช่อไม้ไผ่ และข้าวเหนียวดำทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำสกัดข้าวที่มีสีอื่นๆ อุณหภูมิการสกัดสูงขึ้นมีผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสกัดเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และส่งผลให้มีค่าการส่องผ่านของแสงลดลง หรือสีเข้มลดลงอุณหภูมิการสกัดที่เพิ่มขึ้นในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส มีผลให้สีน้ำสกัดเข้มขึ้น ปริมาณและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำสกัดจากข้าวมีสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ละคุณสมบัติเหล่านี้จะลดลงที่

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับปริมาณและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ 100 องศาเซลเซียส โดยมีสัดส่วนข้าวต่อน้ำและระยะเวลาการสกัดที่ 115 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และ 25 นาที ตามลำดับ

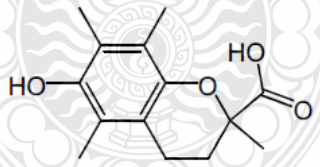
2.3.4 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ

แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระมี 2 แหล่ง ได้แก่

2.3.4.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic Antioxidants)

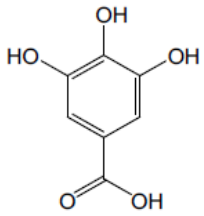
สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์เกิดจากการกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี ส่วนใหญ่จะออกแบบให้มีโมเลกุลขนาดเล็ก นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุที่มำให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติเปลี่ยนแปลงไป สารสังเคราะห์นี้มีสภาพคงตัวกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยในการบริโภค ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์มีดังนี้ [31]

ก. Trolox หรือ 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid มีสูตรโมเลกุลทางเคมี คือ $C_{14}H_{18}O_4$ (ภาพที่ 2.2) เป็นอนุพันธ์ของวิตามินอีที่ดัดแปลงโครงสร้างโดยการเปลี่ยนสายอัลเคน เป็นหมู่คาร์บอกซิลิก มีสูตรโครงสร้างที่ทำให้มีความสามารถละลายได้ดีในน้ำ แต่เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำได้ดี จึงทำให้การออกฤทธิ์เร็วกว่าวิตามินอี โดยวิตามินอีต้องใช้เวลานานเป็นชั่วโมงหรือเป็นวัน ในขณะที่ Troiox ออกฤทธิ์เกือบจะทันทีในวิธีการตรวจสอบหลายวิธีในการวิจัยนิยมใช้ Troiox สามารถฐานในการตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Trolox
ที่มา : ปวีณา (2559) [32]

ข. Gallic Acid หรือ 3,4,5-hydroxybenzoic acid เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_7H_6O_5$ Gallic acid (ภาพที่ 2.3) เป็นส่วนประกอบของแทนนิน พบมากในองุ่น ใบชาเปลือกไม้โอ๊คและพืชอื่นๆ โดยทั่วไปจะใช้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมทางยา คุณสมบัติของ Gallic Acid คือ สามารถยับยั้งเชื้อรา เชื้อไวรัส และมีคณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดี



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ Gallic Acid
ที่มา : ปวีณา (2559) [32]

2.3.4.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural Antioxidants)

ขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติสามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นได้ทั้งเอนไซม์ วิตามิน เบต้า-แคโรทีน (ß-carotene) รวมถึงกลุ่มโพลิฟีนอลิก เช่น ฟลาโว-นอยด์ (Flavonoids) ฟีนิลโปรพานอยด์ (Phenylpropanoids) และกรดฟีนอลิก (Phenolic Acid) เป็นต้น

ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ มีดังนี้

ก. วิตามินเอ ในธรรมชาติจะพบเฉพาะในสัตว์เท่านั้น แต่ในพืชจะมีสารประกอบแคโร-ทีนอยด์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ จัดเป็นสารตั้งต้นวิตามินเอ เรียกว่า โปรวิตามินเอ มักพบในพืชผัก ใบเขียว ผัและผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้มแดง

ข. วิตามินซี มีชื่อทางเคมีว่า กรดแอสคอร์บิค (Ascorbic Acid) เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ จะสลายตัวเมื่อถูกความร้อนหรือทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้น วิตามินซีมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อนุมูล Hydroxyl และอนุมูล Peroxyl นอกจากวิตามินซีสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นตัวส่งเสริมประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชัน ของวิตามินอีด้วย

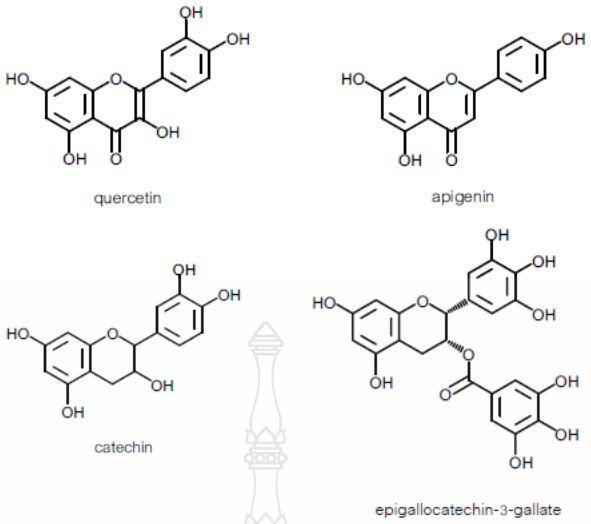
ค. วิตามินอี เป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมันเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญ โดยวิตามินอีทำงานร่วมกับสารต้านออกซิชัน ตัวอื่นๆ เช่น วิตามินซีและซิลิเนียม เป็นต้น วิตามินอีช่วยปรับให้ร่างกายสามารถนำเอาวิตามินเอมาใช้ ซึ่งจะช่วยในการป้องกันสารที่เป็นพิษที่มีผลมาจากโลหะ เช่น ตะกั่ว ในธรรมชาติมีวิตามินหลายชนิด ปัจจุบันแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ โทโคฟีรอล และ โทโคทินอล แต่ละกลุ่มยังแยกเป็นวิตามินย่อยๆ อีก 4 ชนิด ได้แก่ อัลฟา(α) เบต้า(β) แกมมา(γ) และเคลต้า(δ) วิตามินอี ทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูล Peroxyl

ซิลิเนียม ทองแดง และสังกะสี เป็นสารต้านออกซิเดชันทางอ้อม เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน มีการศึกษาวิจัยที่แสดงว่า

ก. การใช้ซิลิเนียม และวิตามินอีร่วมกันช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการป้องกันการเกิดโรคมะเร็งบางชนิด ซึ่งพบได้ในอาหารตามธรรมชาติเนื่องจากสารต้านออกซิเดชันมีหน้าที่หลายอย่าง เช่น ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ เป็นตัวขับไล่อนุมูลอิสระจับกับไอออนโลหะที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยหน้าที่ต่างๆเหล่านี้ จึงทำให้มีผลต่อการชะลอหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร หรือเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกต่อไป หรือเป็นสารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ

ข. ฟลาโวนอยด์ เป็นสารประกอบกลุ่มพอลิฟีนอล ซึ่งประกอบด้วยวงอะโรมาติก ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป โดยมีการจับกับคาร์บอนและ Aromatic Hydroxyl โครงสร้างและรูปแบบทั่วไปของฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์ เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากชนิดหนึ่ง จะพบมากในพืชผักและผลไม้ มีหน้าที่สองอย่าง คือเป็นรงควัตถุ ทำหน้าที่กรองแสงที่มีความยาวคลื่นที่จำเพาะเจาะจงและทำหน้าที่สารต้านออกซิเดชัน โดยไปกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์พืชออกไปความสามารถของการต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ และคุณสมบัติของฟลาโวนอยด์ ยังสามารถช่วยลดการอักเสบ ช่วยให้หลอดเลือดแข็งตัว ทำให้การไหลเวียนเลือดดีขึ้น ต่อต้านแบคทีเรียและไวรัส ลดโคเลสเตอรอล และช่วยเสริมการทำงานของวิตามินซี ตัวอย่างสารกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่น่าสนใจ (ภาพที่ 2.4) เช่น เคอร์ซิทิน (Quercetin), อาพิจินิน(Apigenin), แคทิชิน (Catechin), แกลโลแคทิชิน (Gallocatechin), อีพิแคทิชิน (Epicatechin), อีพิแกลโลแคทิชิน (Epigallocatechin, EGC), อิพิแกลโลแคทิชิน-3-แกลเลต (Epigallocatechin-3-gallate, EGCG) และลูติโอลิน (Luteolin) เป็นต้น [33]



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : ปวีณา (2559) [32]

2.3.4.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Activity Determination)

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละประเภทมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกันในการตรวจสอบและสรุปผล

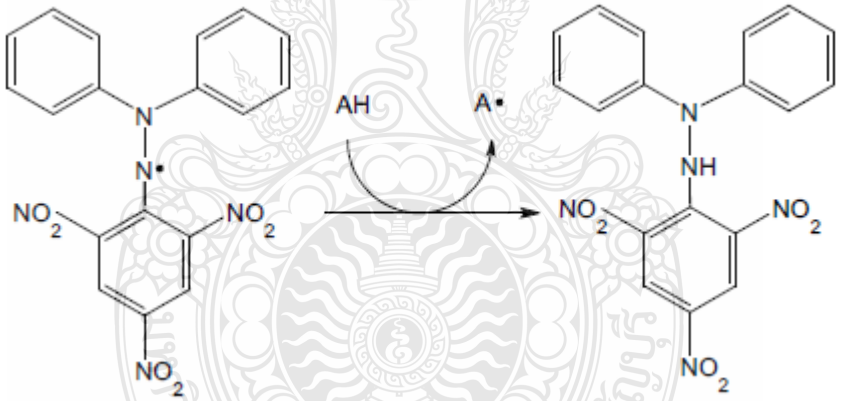
2.3.4.3.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ วิธีที่นิยม ได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH) วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS) การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) และ Cupricreducing Antioxidant Capacity (CUPRAC) ซึ่งวิธีการดังกล่าวข้างต้นจะมีการสร้างอนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนและวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้ง หรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างที่สนใจ หน่วยของการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณแสดงได้ 2 แบบ คือ(1) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในตัวอย่าง ซึ่งค่าตัวเลขสูงก็แสดงว่ามีฤทธิ์ต้าน

อนุมูลอิสระสูง และ (2) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลง 50% (IC50, 50 % of Inhibitory Concentration) โดยค่าตัวเลขต่างแสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ทั้งสองแบบสามารถแสดงหน่วยได้หลากหลาย ได้แก่ μM/mg, mM/mg, μM/mL, mM/mL และ mmol/g เป็นต้น [34]

2.3.4.3.1.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (Diphenylpicryhydrzyl (DPPH) Radical Scavenging Assay)

เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็ คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH, Diphenyl-picryhydrazyl Radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตโฟโตรมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารที่ให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลง ๆ จนเป็นสีเหลือง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระดีพีพีเอชทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ
ที่มา : ปวีณา (2559) [32]

ซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงตั้งทิ้ง ไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถหาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้ง DPPH สูตรคำนวณได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการใส่ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น (ก่อนใส่สารตัวอย่าง) ดังนี้

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = [(A_0 - A_s)/A_0] \times 100$$

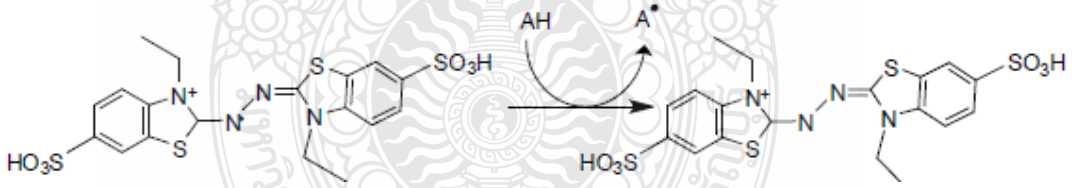
โดย A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น

A_s = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมสารตัวอย่างสารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือ โทรล็อกซ์ แสดงค่าเป็น TEAC

ข้อดีของ วิธีนี้ คือ ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ส่วนข้อเสีย คือ DPPH ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้า ทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง และต้องเตรียมสารละลายในตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอนจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในตัวอย่างที่เป็นเลือดได้ อีกทั้งสารปนเปื้อนและโลหะจะรบกวน (Interfere) ซึ่งสามารถเป็นตัวรีดิวซ์แล้วทำให้สีของ DPPH จางลงได้เช่นกัน

2.3.4.3.1.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical cation decolorization assay)

เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส ($ABTS^+$, 2,2-azin-obis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เนื่องจากสีของ ABTS ปกติจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูง จึงต้องทำการเจือจาง ABTS ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จากนั้นนำ ABTS ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ละลายด้วยเอทานอลเจือจางซึ่งจะทำให้สีจางลง ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงปฏิกิริยาระหว่างอนุมูอิสระเอทีบีเอสทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ
ที่มา : ปวีณา (2559) [32]

และตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา จึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ซึ่งวิธีการคำนวณและการเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox กระทำเช่นเดียวกับวิธี DPPH ข้อดีของวิธีการนี้ คือ $ABTS^+$ ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์จึงทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง ส่วนข้อเสีย คือ $ABTS^+$ ไม่เป็นสารธรรมชาติที่พบในร่างกายหรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตและต้องมีการทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อนถึงจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ [35]

2.3.5 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุ (Pigment) ชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในแวคิวโอลของพืช ซึ่งต่างจากคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ และโครโมพลาสต์ [36] รงควัตถุแต่ละชนิดมีสีต่างกันตามโครงสร้างโมเลกุลที่เปลี่ยนไป โดยชนิดของรงควัตถุที่สำคัญๆมีดังนี้

Cycopene เป็นรงควัตถุ (Pigment) ชนิดหนึ่งที่พบอยู่มากในแตงโม มะเขือเทศ สามารถป้องกันมะเร็งต่อมลูกหมากได้

Betacarotene เป็นรงควัตถุที่ให้สีส้ม พบมากในมะละกอ แครอท มีคุณสมบัติต่อต้านอนุมูลอิสระและช่วยลดระดับคลอเรสเตอรอล

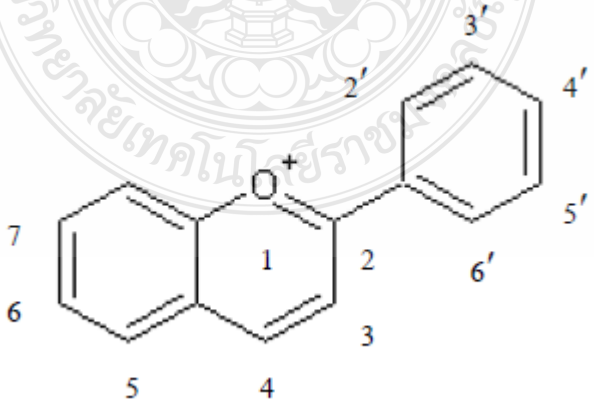
Lutein เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง พบมากในข้าวโพด ช่วยป้องกันสายตาเสื่อม

Chlorophyll เป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียว พบมากในผักใบเขียว ผลไม้ที่มีสีเขียวเข้ม เช่น ตำลึง คะน้า ชะพลู บัวบก มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

Anthocyanin เป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงน้ำเงิน พบมากในดอกอัญชัน กะหล่ำม่วง มะเขือม่วง องุ่น ลูกหว้า มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ [37] ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ ลดการอักเสบของกระเพาะปัสสาวะและลดความเสี่ยงต่อโรคอัมพาต [38]

2.3.5.1 โครงสร้างแอนโทไซยานิน

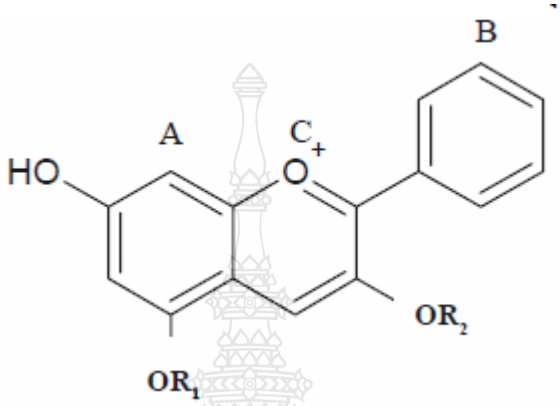
แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วงแดงหรือน้ำเงิน จัดเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์(Flavonoid) ในกลุ่มฟีนอลิก (Phenolic) โดยสารฟลาโวนอยด์นี้ จะประกอบไปด้วยคาร์บอน 15 อะตอม มีหมู่เบนซีน 2 หมู่มาเชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างฟลาโวนอยด์

ที่มา : สุวิชา (2550) [39]

แอนโทไซยานินเกิดจากการมีแอนโทไซยานนิดินที่ไม่เสถียรในธรรมชาติ มีหมู่น้ำตาลมาจับในตำแหน่งที่ 3 หรือ 3, 5 ของแอนโทไซยานิดิน [40] ดังนั้น (Aglycone) ในทางเคมีแอนโทไซยานิน คือ ไกลโคไซด์ของ Flavilium หรือ 2-phenylbenzopyrylium เมื่อเกิดไฮโดลิซิสจะได้แอนโทไซยานิดินและน้ำตาลอย่างน้อย 1 โมเลกุล ดังภาพที่ 2.9



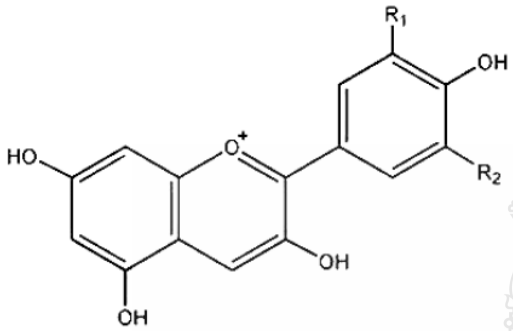
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน เมื่อ R1 และ R2 เป็นน้ำตาล
ที่มา : รัตนา และระมน (2532) [45]

น้ำตาลที่จับกับแอนโทไซยานินส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) เช่น Glucose, Galactose, Rhamnose และ Arabinose มักพบบริเวณคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของแอนโทไซยานินเสมอ บางครั้งจะพบที่ตำแหน่งที่ 5 ด้วย ส่วนตำแหน่งที่พบน้อยคือ 7, 3’ และ 7’ [41] นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) และน้ำตาลโมเลกุลสาม (Trisacharid) ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินด้วย ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้จะช่วยให้ Aglycone หรือแอนโทไซยานินมีเสถียรภาพดีขึ้น เนื่องจากแอนโทไซยานิดินไม่มีความคงทน อีกทั้งละลายน้ำไม่ได้ จึงมักพบแอนโทไซยานิดินจับตัวอยู่น้ำตาลจำนวนหนึ่งเสมอ แอนโทไซยานินสามารถละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายในตัวละลายชนิดไม่มีขั้ว (Non-hydroxyl Solvent) เช่น อีเทอร์ อะซีโตน คลอโรฟอร์ม และเบนซีน เป็นต้น [42]

2.3.5.2 ชนิดแอนโทไซยานิน

ปัจจุบันแอนโทไซยานินในธรรมชาติมีมากกว่า 15 ชนิด มีชื่อแตกต่างกันขึ้นกับตำแหน่งที่หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) และหมู่เมทอกซิล (Mathoxyl, -OMe) ที่เข้ามาเกาะ

กับโครงสร้างของแอนโทไซยานิน [43] ดังภาพที่ 2.9 แอนโทไซยานินที่พบบ่อยในธรรมชาติมีอยู่ 6 ชนิด แบ่งตามหมู่ R_3 และ R_4 ดังตารางที่ 2.3



R_1 = H;	R_2 = H:	Pelagonidin
R_1 = OH;	R_2 = H:	Cyanidin
R_1 = OH;	R_2 = OH:	Delphinidin
R_1 = OCH_3;	R_2 = OH:	Petunidin
R_1 = OCH_3;	R_2 = OCH_3:	Malvidin

ภาพที่ 2.9 ตำแหน่งของกลุ่มไฮดรอกซิลและเมท๊อกซิลในโครงสร้างแอนโทไซยานิน
ที่มา : สุวิชา (2550) [39]

ตารางที่ 2.3 ประเภทของกลุ่มแอนโทไซยานิน แยกตามกลุ่ม R3 และ R4

Anthocyanidin	R_3	R_4	Visible color
Pelargonidin	-H	-H	Red
Cyaniding	-OH	-H	Magenta
Peonidin	$-OCH_3$	-H	Magenta
Celphinidin	-OH	-OH	Purple
Petunidin	$-OCH_3$	-OH	Purple
malvidin	$-OCH_3$	$-OCH_3$	Purple

ที่มา : Timeberlake และ Bridle (1980) [44]

2.3.5.3 ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน

1. ใช้ทำสีผสมอาหารในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มาธรรมชาติ

2. ช่วยลดอาการอักเสบในทางเดินปัสสาวะ โดยไปขัดขวางไม่ให้แบคทีเรียที่ทำให้เกิดอาการอักเสบในทางเดินปัสสาวะเกาะผนังกระเพาะปัสสาวะได้

3. เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการก่อมะเร็ง ซึ่งเซลล์ร่างกายจะถูกคุกคามด้วยสารอนุมูลอิสระที่สามารถเปลี่ยน DNA ในร่างกายให้เป็นเซลล์มะเร็งได้ตลอดเวลา โดยแอนโทไซยานินจะช่วยยับยั้งการสร้างเส้นเลือดฝอยไม่ให้ไปเลี้ยงเซลล์มะเร็งได้

4. ช่วยเปลี่ยน LDL-cholesterol ที่เป็นโทษต่อร่างกายและเพิ่มปริมาณ HDL-cholesterol ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเป็นตัวกำจัดการเกิดออกซิเดชันของ LDL ซึ่งเป็นตัวสำคัญในขบวนการเกิดแผ่นไขมัน

5. ช่วยลดการรวมตัวเป็นก้อนของเกล็ดเลือด (Platelet Aggregation) ซึ่งทำให้เลือดมีความข้นน้อยลง ป้องกันโรคหัวใจวาย และอัมพฤกษ์ได้

6. เป็นสารต้านโรคภูมิแพ้ชนิดต่างๆ

7. ร่างกายสามารถใช้วิตามินซีได้มากขึ้นถ้ามีแอนโทไซนินอยู่ด้วย

8. ช่วยให้เส้นเลือดฝอยแข็งแรงขึ้น และรักษาเส้นโลหิตฝอยที่ถูกทำลาย

9. เพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็น ป้องกันโรคต้อหิน และต้อกระจก

10. ช่วยป้องกันการสูญเสียความทรงจำระยะสั้นในวัยชรา

11. ช่วยลดอาการอักเสบอันเนื่องจากเส้นเลือดขอด [42]

2.3.5.4 เสถียรภาพของแอนโทไซยานิน

ความเสถียรของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีหมู่ Methoxyls ในวง B-ring เพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อมีหมู่ Hydroxyls เพิ่มขึ้น ตัวที่เสถียรที่สุดของแอนโทไซยานิดินคือ Malvidin จากนั้น Peonidin, Petunidin, Cyaniding และ Delfinidin [45] และพบว่าแอนโทไซยานินจะเสถียรที่สุด ที่ pH เป็นกรด การเกิด Glycosylation และ Acylation ของน้ำตาลจะไปเพิ่มความเสถียรของแอนโอไซยานินโดย Diglycosides จะเสถียรมากกว่า Monoglycosides [46]

ในสารละลายแอนโทไซยานิน มักพบอยู่ในรูปพื้นฐาน 4 รูป คือ Flavylium Cation, Quinonoidal Anhydrobase, Carinol Psudobase และ Chalcone Pseudobase ซึ่งสัดส่วนของการเกิดขึ้นอยู่กับค่า pH Flavylium Cation จะเกิดขึ้นเมื่อสารละลายอยู่ในสภาวะเป็นกรดแก่เมื่อ pH เพิ่มขึ้น Flavylium Cation ซึ่งมีสีแดงจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอนโทไซยานินแบบอื่นๆ ซึ่งอาจจะมีสีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับวง A-ring และ B-ring ว่าเกิดการคอนจูเกตหรือไม่

ที่ pH < 2 แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของ Flavylium Cation (AH^+) ซึ่งมีสีแดง เมื่อ pH เพิ่มขึ้น Flavylium Cation จะหายไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการดึงโปรตอนออกจากหมู่ –OH ที่ตำแหน่ง 5, 7 และ 4 ทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า Quinonoidal Base โครงสร้างนี้สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุด ที่ความยาวคลื่นสูงกว่าเมื่ออยู่ในรูปของแคตไอออน

2.3.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน

สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนไปตาม pH ของสารละลายที่แอนโทไซยานินละลายอยู่ [47] ในสภาวะที่เป็นด่าง แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูป Flavylium salt เป็นส่วนมาก ทำให้สารมีสีม่วงแดง ส่วนในสภาวะที่เป็นด่าง แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปอื่นที่ไม่ให้สีม่วงแดง ความสัมพันธ์ของ pH กับสีของแอนโทไซยานิน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด – ด่าง และสีของแอนโทไซยานิน

pH	Color
1.0 – 4.0	Red
4.0 – 6.0	Bluish red
6.0 – 8.0	Purple
8.0 – 12.0	Dark blue
12.0 – 13.0	green
13.0 – 14.0	Yellow

ที่มา : เรือนเงิน (2544) [42]

ส่วนค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุด (maximum absorption) มีการแปรผันตามค่า pH ด้วย กล่าวคือ ค่าความยาวคลื่นแสงสูงสุดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่า pH ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าพีเอช ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร) และสีของแอนโทไซยานิน

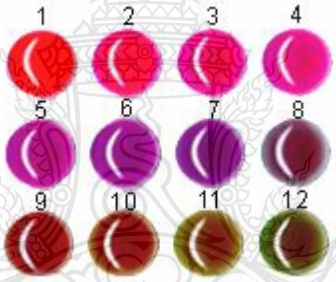
pH	Maximum absorption(nm)	Color shade
4	520	Red
4 – 6	525 – 550	Violet to violet blue
6.5	570 – 575	Blue
9	590 - 600	blue

ที่มา : นัยวิทย์ (2538) [48]

2.3.5.5.1 ค่าพีเอช (pH) มีผลทำให้โครงสร้างและสีของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงดังนี้

pH ≤ 1.0	red	flavylium salts
pH = 4.0 – 5.0	non-color	pseudobases
pH = 5.0 – 7.0	purple	quinoidal anhydrobases
pH = 7.0 – 8.0	dark	ionizedal anhydrobases
pH = ≥ 12.0	brown	chalcones

พบว่าแอนโทไซยานินจะเสถียรภาพดีเมื่ออยู่ในสารละลายที่มีค่า pH ต่ำและสีที่นิยมในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแอนโทไซยานินคือ สีแดงถึงม่วง ซึ่งเป็นสีของแอนโทไซยานินใน pH ที่เป็นกรด [53] นอกจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสี ตามค่า pH แล้ว ค่าความเข้มของสี (color intensity) จะแปรผันตามค่า pH ด้วย กล่าวคือ มีความเข้มมากที่สุดที่ pH 1.0 และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่ามีการเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 สีของแอนโทไซยานินที่ค่าพีเอชต่างกัน
ที่มา : สุวิชา (2550) [39]

2.3.5.5.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แอนโทไซยานินสลายตัว โดยพบว่าแอนโทไซยานินที่ได้รับความร้อนจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำตาล โดยมีค่าครึ่งชีวิตขึ้นกับอุณหภูมิการเก็บรักษา ดังนี้ [49] ที่ –3.5 °C เท่ากับ 1,536 วัน และ 38 °C เท่ากับ 80 วัน จะเห็นว่าความเสถียรของสารแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา [50] คือ เมื่อเก็บสารแอนโทไซยานินที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าครึ่งชีวิตมากกว่าการเก็บสารแอนโทไซยานินไว้ที่อุณหภูมิสูง ในอุตสาหกรรมจึงควรเก็บสารแอนโทไซยานินนี้ไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส [51] และ [44] ศึกษาอุณหภูมิต่อการสลายตัวของแอนโทไซยานิน โดยสรุปว่าปฏิกิริยาสมดุลของโครงสร้างแอนโทไซยานินในรูปต่างๆขึ้นกับอุณหภูมิ จากทิศทางซ้ายไปขวาดังนี้

Blue quinonoid → Red flavylium → Colorless carbine → Colorless chalcone

2.3.5.5.3 สมบัติการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานิน

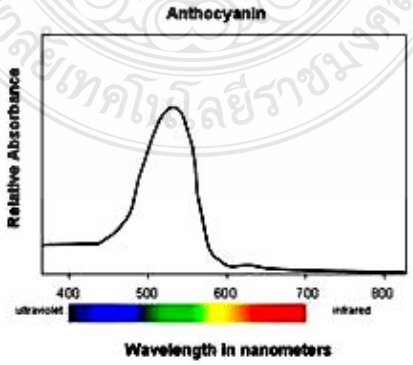
สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์จะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ ความยาวคลื่น 2 ช่วง คือ 240-285 นาโนเมตร (nm) (band II) และช่วง 300-550 นาโนเมตร (nm) (band I) ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและ oxygenation pattern ของโครงสร้างของสารประกอบฟลาโวนอยด์

ตารางที่ 2.6 การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินและสารประกอบฟลาโวนอยด์อื่น ๆ

Band II (nm)	Band I (nm)	Type of flavonoid
250-280	310-350	Flavone
250-280	330-360	Flavonol (3-OH substituted)
250-280	350-385	Flavonols (3-OH free)
245-275	310-330	Isoflavones
	320 peak	Isoflavones (5-dehydroxy-6,7-dioxygenated)
275-295	300-430	Isoflavones & dihydroflavanols
230-270	380-430	Chalcones
230-270	465-560	aurones
270-280		Anthocyanidin & anthocyanins

ที่มา : Markham (1982) [52]

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 nm จะมีความสัมพันธ์กับสีแดงที่เกิดจากเม็ดสีของแอนโทไซยานิน [53] และเป็นเครื่องชี้ถึงปริมาณของสารแอนโทไซยานิน [54] ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินในช่วงแสงต่างๆ

ที่มา : สุวิชา (2550) [39]

2.4 คุณภาพข้าวสวย

ตามมาตรฐานการส่งออกข้าวของกระทรวงพาณิชย์ โดยกำหนดให้เฉพาะลักษณะทางกายภาพ เช่น ปริมาณข้าวที่มีขนาดเล็ก เมล็ดต่างๆ ขนาดข้าวหัก รวมถึงปริมาณเมล็ดข้าวชนิดอื่นที่เจือปน ความสะอาดที่จำกัดด้วยปริมาณสิ่งเจือปน ความชื้น และระดับการสี ซึ่งตรวจสอบได้ง่าย ข้าวคุณภาพดี ต้องมีส่วนผสมของเมล็ดข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (เมล็ดข้าวมีความยาวมากกว่า 7 มิลลิเมตร) จำนวนมาก ข้าวในท้องตลาดมีลักษณะที่เรียวยาวคล้ายๆกัน ไม่ว่าจะเป็นข้าวประเภทใดแต่เมื่อนำไปหุงต้มอาจมีคุณภาพข้าวสุกต่างกัน เช่น เป็นข้าวเหนียวนุ่ม (ข้าวหอมมะลิ) ข้าวอ่อนหรือข้าวขาวตาแห้ง และข้าวแข็ง หรือข้าวเสาไห้ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติของแป้งต่างกัน จึงทำให้เกิดปัญหา การปนกันกับข้าวต่างพันธุ์หรือต่างชนิดของข้าวสุกในอัตราส่วน ไม่แน่นอนย่อมก่อความยุ่งยากแก่ผู้บริโภค ที่นิยมข้าวสวยคุณภาพต่างกัน ดังเช่น ข้าวหอมมะลิ ซึ่งผู้ซื้อมักคาดหวังว่าจะได้ข้าวสุกนุ่มเหนียวและมีกลิ่นหอม การปนกับข้าวอื่นนอกจากจะทำให้ ข้าวสวยมีคุณภาพเปลี่ยนไป ยังมีผลให้กลิ่นหอมลดน้อยลงอีกด้วย

คุณภาพของการหุงต้มและการบริโภคของข้าว (Cooking and Eating Quality) เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคนั้นใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน คุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวนี้ สามารถคาดคะเนได้โดยคุณสมบัติทางเคมี (Grian Chemical Properties)

2.4.1 การแช่ข้าว-ต้ม-ทำแห้ง (The soak-boil-steam dry methods)

กระบวนการนี้เป็นวิธีแรกที่ใช้ในการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป ตามวิธีของ Ozai-durrani (1984) [55] ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การแช่ข้าวสาร การให้ความร้อนเพื่อทำให้ สุกและการทำแห้ง วิธีการนี้ถูกนำมาพัฒนาปรับปรุงต่อในหลายวิธี เช่น การพยายามทำให้เมล็ดข้าว เกิดรอยร้าวมากขึ้น ส่งผลให้ไอน้ำแทรกซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ง่ายขึ้น ข้อดี คือ ช่วยลดเวลาในการหุงต้ม การแช่ข้าว (Soaking) โดยทั่วไปการแช่จะทำให้เมล็ดข้าวดูดน้ำจนมี ความชื้นประมาณร้อยละ 28 การที่ข้าวจะดูดซึมน้ำได้มากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิ ของน้ำในการแช่ ทั้งนี้การแช่อาจแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การแช่โดยใช้ความร้อนและการแช่โดยไม่ใช้ ความร้อน ในระหว่างการแช่อาจมีการเติมสารเคมีโดยมีจุดประสงค์ คือ เพื่อปรับโครงสร้างของ โปรตีนโดยการลดหรือทำลายโครงสร้างโปรตีน เพื่อให้ข้าว

ดูดน้ำได้มากขึ้น สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ Disodium phosphate, Sodium tripolyphosphate และ Calcium citrate ทั้งนี้ได้มีรายงานทาง วิชาการสำหรับกรรมวิธีการแช่ข้าว ดังนี้

งามชื่น (2551) [56] ได้กล่าวการทำแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปทำแห้งได้ 2 วิธี ได้แก่

1. การทำแห้งในขั้นตอนเดียว เป็นการทำแห้งที่ใช้ความร้อนไม่สูงมาก ประมาณ 70 องศาเซลเซียส แต่ ใช้ระยะเวลานานประมาณ 2-3 ชั่วโมง

2. การทำแห้งแบบหลายขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการใช้ความร้อนสูง ภายในระยะเวลา อันสั้น เพื่อให้โครงสร้างอยู่ตัว อาจเกิด Case hardening ภายในเมล็ดข้าวจะเกิดรูพรุนขนาดใหญ่ แล้วจึงตามด้วยการใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างอยู่ตัวโดยที่ข้าวไม่ไหม้

2.4.2 ปัจจัยทำให้ข้าวพันธุ์ต่างๆ มีคุณภาพของข้าวสุกที่แตกต่างกัน ได้แก่

(1) ปริมาณแอมิโลส โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยถือ แอมิโลสเป็นหลัก ในแป้งข้าวเจ้าจะมีแอมิโลสประมาณร้อยละ 10-34 และส่วนที่เหลือ เป็นประมาณแอมิโลเพคตินอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเปคทิน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกันปริมาณแอมิโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวน้อยลงหรือร่วนมากขึ้น ทำให้ข้าวนุ่มน้อยลง ข้าวที่มีแอมิโลสจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีส่วนกระทบกระเทือนกับคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวที่มีแอมิโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำในปริมาณที่มากเกินไปข้าวสุกจะแฉะเละ แต่สำหรับข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสมาก ถ้าใส่น้ำปริมาณเท่ากับข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะได้ข้าวสวยที่แข็งกระด้างมาก (ตามตารางที่ 2.6) [57] เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัว (Retrogradation) เปลี่ยนแปลงจากสภาพละลายน้ำได้เป็นของแข็ง ทำให้ข้าวที่มีแอมิโลสสูงเมื่อหุงสุกจึงร่วนกว่าและแข็งกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ [58] สามารถแบ่งประเภทของข้าวจากปริมาณแอมิโลสได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สัดส่วนของน้ำต่อข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน

ชนิดของข้าว	น้ำต่อข้าว (โดยน้ำหนัก)
ข้าวแอมิโลสต่ำ	1.6 - 1.8 ต่อ 1
ข้าวแอมิโลสปานกลาง	1.9 – 2.0 ต่อ 1
ข้าวแอมิโลสสูง	1.9 – 2.0 ต่อ1

ที่มา : งามชื่น (2539) [59]

ในประเทศเพื่อให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดตามสภาพของข้าว เช่น ข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะใส่น้ำมากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ เนื่องจากข้าวมีความร่วนแข็ง ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะดูดน้ำไว้ เมื่อเมล็ดสุกแล้วแต่ยังมีน้ำเหลืออยู่ ต้องหุงต้มต่อไปอีกสักครู่ จะช่วยให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้มากขึ้น และลดความแข็งกระด้างของข้าวสุกลงได้

สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการหุงต้มข้าวสาร ได้จากสมการดังต่อไปนี้ [57]

$$W = 0.62+0.626A : R^2 = 0.73^{**}$$

เมื่อ W = อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำหุงต้ม : ข้าวสาร

A = ปริมาณแอมิโลส คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักข้าวสาร

R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

จากสมการข้างต้นหากมีปริมาณแอมิโลสเพียงปัจจัยเดียวสามารถใช้ในการคาดคะเนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ ต่อ ข้าวที่เหมาะสมโดยได้ค่าใกล้เคียง 73 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาจากค่า R^2) ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนน้ำในการหุงต้ม

(2) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสเท่ากันอาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกันทั้งนี้ เนื่องจากแป้งสุกมีความคงตัวไม่เท่ากัน ความคงตัวของแป้งสุกมีคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาการคืนตัวของแป้งสุกเมื่อทำให้เย็น ทำให้แป้งแข็งตัว และมีผลต่อความนุ่มข้าวสุก ดังนั้นจึงสามารถใช้ความคงตัวของแป้งสุกในการคาดคะเนคุณสมบัติของข้าวสุกได้ [58]

การหาค่าความคงตัวของแป้งสุก อาศัยหลักการทำให้แป้งใส โดยการต้มในสารละลายเบส แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดระยะทางที่แป้งไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ [60] ได้จัดแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวแป้งสุกดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การแบ่งประเภทข้าวตามคงตัวของแป้งสุก

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร) (แป้ง 100 มิลลิกรัม ใน KOH 0.2 N. 2 มล.)
แข็ง	น้อยกว่า 35
ค่อนข้างแข็ง	36 – 41
ปานกลาง	41 – 60
อ่อน	มากกว่า 60

ที่มา : IRRI (1972) [60]

(3) ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking Time) การหุงเมล็ดข้าวให้สุกอาจใช้เวลาประมาณ 14 – 24 นาที เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกไม่มีไตของแป้งดิบ ระยะเวลานี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล (Gelatinization Temperature) และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้ม โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ในการหาระดับของอุณหภูมิแป้งสุกนิยมใช้การหาค่าการสลายเมล็ดข้าวสารในเบส (Alkali Test) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถตรวจสอบตัวอย่างได้ครั้งละมากๆ

แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกดังกล่าวข้างต้น แต่ความหนาของเมล็ดข้าวทำให้ต้องยืดเวลาหุงต้มออกไปอีก เช่น ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากัน ข้าวที่มีเมล็ดหนาจะต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวเมล็ดบาง ในทำนองเดียวกันโปรตีนซึ่งมีมากตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดอาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำ และทำให้เวลาหุงต้มนานออกไป [57]

(4) วิธีการหุงต้ม ในการหุงต้ม ครั้งละมากๆ อัตราการระเหยของน้ำในระหว่างการหุงต้มจะลดลง จึงต้องลดปริมาณน้ำส่วนนี้ลงเวลาหุงต้ม และควรปรับน้ำหนักของข้าวและน้ำให้เป็นปริมาตรเพื่อสะดวกในการปฏิบัติต่อไป

(5) การขยายตัวของเมล็ดข้าวสุก (Volume Expansion) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวออกรอบด้านโดยเฉพาะด้านยาว โดยทั่วไปผู้บริโภคนิยมข้าวพันธุ์ที่ยืดตัวได้มากกว่าข้าวพันธุ์ที่ยืดตัวได้น้อย ข้าวสุกที่ยืดตัวได้มาก และไม่เหนียวติดกัน จัดเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ นอกจากนี้การที่

เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดแน่น และช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น อัตราการขยายตัวของเมล็ดหาได้จากสัดส่วนของความยาวของข้าวสุกต่อความยาวของข้าวสาร [57]

(6) กลิ่นหอม (Aroma) ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด จากการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าวโคชิฮิการิ ของญี่ปุ่นพบว่ามีสารอยู่กว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน 13 ชนิด แอลกอฮอล์ 13 ชนิด แอลดีไฮด์ 16 ชนิด คีโตน 14 ชนิด กรด 14 ชนิด และอื่นๆ [57]

(7) ปริมาณโปรตีน โปรตีนโดยเฉพาะโปรตีนที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว การที่เมล็ดข้าวมีโปรตีนถึงร้อยละ 10 ทำให้ข้าวมีสีคล้ำลงและความนุ่มลดลง

2.5 วิธีการหุงข้าว

คนไทยนิยมบริโภคข้าวเจ้าเป็นอาหารหลักโดยนำมาหุงให้สุกทั้งเมล็ด ซึ่งวิธีการหุงมีดังนี้

2.8.1 หุงข้าวแบบเช็ดน้ำ

เริ่มต้นโดยล้างหรือซาวข้าวเพื่อขจัดฝุ่นผงและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ออกจนกระทั่งน้ำล้างข้าวใส แล้วจึงเติมน้ำปริมาณมากลงไป ต้มให้เดือด ในช่วงนี้ต้องหมั่นคนอย่าให้เมล็ดข้าวติดก้นหม้อ ต้มจนเมล็ดข้าวเกือบสุก เมื่อสังเกตเห็นเมล็ดข้าวยังมีไตขุ่นเป็นจุดเล็กๆ อยู่ภายใน ให้รินน้ำข้าวออก หม้อที่ใช้หุงข้าวแบบเช็ดน้ำนี้จึงต้องมีหูสองข้างและฝาหม้อต้องมีหูอยู่ตรงกึ่งกลาง เวลาเช็ดน้ำใช้ไม้ขัดฝาหม้อ ที่ทำจากไม้ไผ่มาร้อยหูหม้อและฝาหม้อ เอียงหม้อเทน้ำข้าวออกจนหมด แล้วจึงนำไปตั้งบนไฟอ่อนๆ จนน้ำแห้ง การหุงข้าววิธีนี้จะได้ข้าวสวยก้นหม้อเป็นแผ่นแข็ง เรียกว่า ข้าวตัง ดังภาพที่ 2.12

ภาพที่ 2.12 การหุงข้าวแบบเช็ดน้ำ (ก), การหุงข้าวแบบไม่เช็ดน้ำ แบบหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (ข) และการหุงข้าวต้ม (ค)

ที่มา : สถาบันวิจัยข้าว (2542) [61]

2.5.2 หุงข้าวแบบไม่เช็ดน้ำ

หลังจากซาวข้าวแล้วจึงเติมน้ำกะให้พอเหมาะกับข้าว นำไปต้มจนสุก เมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำจนแห้ง การหุงข้าววิธีนี้คนหุงต้องมีทักษะในการคาดคะเนปริมาณน้ำและความร้อน เช่น การใช้นิ้วหรือฝ่ามือวางบนข้าวเพื่อประมาณความลึกของน้ำ หรือรู้จักราไฟ (ลดไฟให้อ่อนลง) อุปกรณ์หุงข้าวในสมัยก่อนมักใช้หม้อดิน ต่อมาจึงเปลี่ยนมาเป็นหม้ออลูมิเนียม และพัฒนามาเป็น หม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่มีระบบตัดไฟเมื่อน้ำในหม้อแห้ง ดังภาพที่ 2.12

การหุงข้าวใช้วิธีตวงข้าวและน้ำโดยปริมาตร

ใช้ข้าวสารทั่วไป (ข้าวเก่า) ส่วน ต่อน้ำ 1 ¾ - 2 ส่วน

ใช้ข้าวสารหอมมะลิ (ข้าวเก่า) 1 ส่วน ต่อน้ำ 1 ¼ ส่วน

ใช้ข้าวสารทั่วไป (ข้าวใหม่) 1 ส่วน ต่อน้ำ 1 ส่วน

ซาวข้าว ใส่น้ำตามปริมาณที่กำหนด นำไปหุงในหม้อไฟฟ้า เมื่อข้าวสุกหม้อจะตัดไฟโดยอัตโนมัติ ควรปล่อยให้ข้าวที่สุกแล้วอยู่ในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าอีก 5 – 10 นาที เพื่อให้ข้าวที่สุกระอุดี ข้าวสาร 1 ถ้วยตวงเมื่อหุงเป็นข้าวสวยจะได้ข้าว 2 ¾ ถ้วยตวง [62] ส่วนการหุงข้าวกล้องก็มีวิธีคล้ายกัน คือเริ่มแรกควรเก็บสิ่งแปลกปลอมออกเสียก่อน และซาวข้าวด้วยเวลาสั้นๆและเบา เพียงครั้งเดียว เพื่อไม่ให้เสียวิตามินไปกับน้ำซาวข้าว

การหุงข้าวกล้องนั้นต้องใส่น้ำมากกว่าการหุงข้าวขาวปกติ เนื่องจากข้าวกล้องยังมีเยื่อหุ้มเมล็ดการดูดซึมน้ำ จะยากกว่าจึงต้องใช้เวลาในการหุงข้าวนานกว่า ดังนั้นในการหุงข้าวกล้อง 1 ส่วน จึงควรเติมน้ำประมาณ 1.5 เท่า ถ้าจะให้ประหยัดเวลาในการหุงควรแช่ข้าวกล้องก่อนหุงประมาณ 5 – 10 นาที เมื่อเมล็ดข้าวนุ่มขึ้นจึงนำมาหุง เมื่อสุกข้าวกล้องจะนุ่มนวล และยังได้คุณค่ามากกว่าข้าวขัดสีขาว

สำหรับข้าวใหม่หรือข้าวเก่านั้น จะมีผลต่อการหุงต้ม ข้าวใหม่จะมีลักษณะเมล็ดข้าวติดกันมาก ส่วนข้าวเก่าเมื่อหุงสุกการติดกันของเมล็ดข้าวจะน้อยกว่า เนื่องจากข้าวขาวเก่าเมล็ดข้าวจะแห้งกว่าข้าวใหม่ ดังนั้นจึงทำให้บางครั้งการหุงข้าวโดยใช้น้ำเท่าเดิมอาจทำให้ข้าวมีลักษณะแฉะ หรือร่วนแตกต่างจากเดิม ก่อนซื้อจึงควรถามผู้ขายว่าเป็นข้าวเก่าหรือข้าวใหม่ และใส่น้ำในปริมาณที่เหมาะสมกับข้าวที่หุงจึงจะได้ข้าวสุกเหมาะกับการรับประทาน [61]

2.5.3 ต้มข้าว

เป็นการหุงโดยใส่น้ำปริมาณมาก ใช้ความร้อนต้มเมล็ดข้าวสุกซึ่งแช่อยู่ในน้ำข้าวจนเมล็ดข้าวสุกเละกว่าข้าวสวยเรียกว่า ข้าวต้ม ดังภาพที่ 2.12

2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหุงสุก

การหุงต้มเป็นสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสุก การหุงต้มเพียง 20 นาที ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไปอย่างมาก โดยเฉพาะการหุงต้มข้าวขาวจะมีการสูญเสียมากกว่าการหุงต้มข้าวกล้อง ทั้งสองอาหารหลัก วิตามิน และเกลือแร่ ซึ่งรายละเอียดดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 การสูญเสียคุณค่าจากการล้างและหุงข้าว (เปอร์เซ็นต์)

สารอาหาร	การหุงผ่านการล้าง	การหุงโดยไม่ผ่านการล้าง	
	Millied rice	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
น้ำหนัก	5 – 9	2 – 6	1 – 2
โปรตีน	2	0 – 7	4 – 6
ไขมัน	50	36 – 58	2 - 10
เถ้า		16 - 25	11 - 19
น้ำตาลอิสระ	40		
โพลีแซคาไรค์	10		
แคลเซียม	1 - 25	21	
ฟอสฟอรัส	5		
เหล็ก	23		
ไทอามิน	11	47 - 52	
ไรโบฟลาวิน	10	35 – 43	
ไนอะซิน	13	45 – 55	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Juliano (1993) [63]

2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.7.1 การทำแห้ง

การทำแห้ง หมายถึง การถ่ายเทของเหลว (Liquid) เช่น น้ำออกจากของแข็งหรือวัสดุที่ชื้น (Wet Solis) ไปยังก๊าซที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Gas) เช่น การตากแห้งกลางแดด ความร้อนจากแสงแดดทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไปในอากาศ ลมช่วยพัดไอน้ำที่ระเหยออกมาไปจากผิวหน้าของอาหาร ทำอาหารแห้งเร็วขึ้น [64]

สิ่งที่ได้จากการทำแห้ง เรียกอาหารแห้ง มี 2 ประเภท

(1) Dry food เป็นอาหารทั่วๆไปที่มีความชื้นต่ำ มาจากวิธีการผลิตอย่างไรก็ได้ เช่น คุกกี้

(2) Dried food เป็นอาหารที่ได้จากกระบวนการ Dehydration เป็นการเจาะจงวิธีการทำแห้ง เช่น กล้วยตาก กล้วยอบ ลูกพรุน ลูกเกด เป็นต้น

ประเภทของเครื่องทำแห้ง แบ่งได้หลายชนิด ดังนี้

(1) แบ่งตามวิธีให้ความร้อน

a. ให้ความร้อนด้วยลม แบ่งเป็น

i. แบบเฉพาะงวด ได้แก่ แบบกล่อง ตู้แบบกล่องชนิดไหลผ่านแบบฟลูอิไดซ์เบด

ii. แบบต่อเนื่อง ได้แก่ แบบถาด แบบอุโมงค์ แบบให้ความร้อนหลายชั้น แบบตั้งชนิดเทอร์โม

iii. แบบไหลผ่าน ได้แก่ แบบหมุนชนิดไหลผ่าน แบบกล่องสั่น แบบกรองผลึก แบบหมุนชนิดให้ความร้อนโดยตรง แบบพ่นฝอย แบบขุดต่อเนื่อง แบบฟลูอิไดซ์เบต

b. ให้ความร้อนโดยการนำ แบ่งเป็น

i. แบบเฉพาะงวด ได้แก่ แบบถาดสุญากาศ แบบกระทะแบน แบบหมุนสุญญากาศ แบบทรงกระบอก รางกวน

ii. แบบต่อเนื่อง ได้แก่ แบบหมุนชนิดให้ความร้อนทางอ้อม แบบทรงกระบอกรางกวน แบบ Screw Conveyor แบบกลองสั่น แบบดรัม แบบทรงกระบอก

(2) แบ่งตามชนิดผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทำแห้ง

a. Dryer For Solid and Pastes ได้แก่ Tray Dryer, Screen Conveyor Dryer, Tower Dryer, Rotary Dryer, Screw Conveyor Dryer, Fluid – Bed Dryer, Flash Dryer

b. Dryer For Solution and Slurries ได้แก่ Spray, Thin-Film, Drum

2.7.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)

หลักการที่สำคัญ : สารที่จะนำมาอบแห้งต้องอยู่ในสภาพ Solution, Gel, Emulsion หรือ Slurry การอบแห้งเกิดโดยการทำให้ของเหลวแตกกระจายเป็นละออง หรือเป็นหยดเล็กๆ ภายในห้องอบที่มีก๊าซร้อนไหลผ่าน จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นละออง ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับก๊าซร้อนมาก ทำให้น้ำระเหยออกไปได้เร็ว ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในสภาพเป็นเมล็ดเล็กๆ หรือเป็นผง

การอบแห้งแบบนี้ จะได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองเล็กๆ เป็นสำคัญ อุปกรณ์ในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองเล็กๆ คือ หัวฉีด ซึ่งมีหลายแบบ เช่น Spray Nozzle และ Centrifugal Atomizer เป็นต้น

เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย ได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์นม ไข่ผง กาแฟสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้หรือมะเขือเทศ (Master, 1979) [65] เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตน้อยมีกำลังการผลิตสูง ใช้งานง่าย สามารถควบคุมและปรับสภาวะการผลิตตามผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการ เช่น ขนาดอนุภาค ปริมาณความชื้น ความหนาแน่นของอนุภาค (bulk density) และลักษณะปรากฏ เป็นต้น [66] โดยการทำแห้งจะเริ่มตั้งแต่การทำให้ของเหลวแตกเป็นหยดเล็กๆ ภายในห้องทำแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเร็วมาก เนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับอากาศร้อนมาก เกิดการระเหยบนพื้นที่ผิวของหยดเม็ดเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 2.13)

การระเหยระหว่างการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการระเหยที่ให้อัตราการระเหยคงที่ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความชื้นภายในละอองของอาหารเหลวที่มีอยู่มากพอ ที่จะกระจายไปที่ผิวของละอองของเหลวอย่างคงที่ จนเกิดสภาวะอิ่มตัวถึงขณะหนึ่ง เมื่อปริมาณความชื้นลดลงต่ำกว่าสภาวะอิ่มตัวและเข้าสู่จุดวิกฤต (critical point) ผิวละอองของเหลวจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยจะไม่คงที่ในช่วงนี้อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของความชื้นผ่านผิวนอกที่แห้ง ซึ่งความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา อัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง (Master, 1979) [65] และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยในการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย คือ ความเข้มข้นของอาหารเหลว โดยการเพิ่มความเข้มข้นของอาหารเหลวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่และมีความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าโดยที่อัตราการไหลของของอาหารเหลว

เข้าเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยคงที่ จะทำให้ความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ผงลดลง และมีความโปร่งมากขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำเกิดขึ้นเร็ว [67]

คุณสมบัติของสารที่จะทำแห้ง

(1) ต้องละลายน้ำได้ทั้งหมด

(2) มีเนื้ออาหารที่เป็นของแข็งอยู่ร้อยละ 20 – 50 และของเหลวต้องไหลได้

(3) ถ้ามีน้ำมากต้องผ่านการระเหยน้ำ (Evaporator) ถ้าเป็นของแข็งต้องนำไปสกัดด้วยนำแล้ว นำไปเคี่ยวให้งวดจนมีของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าร้อยละ 20

(4) อุ่นตัวอย่างให้ร้อนประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส ยกเว้นอาหารโปรตีนที่ไม่ทนต่อความร้อน เช่น ไข่ขาว เนื้อสัตว์ ไม่ต้องอุ่นให้นำเข้าเครื่องได้เลย ถ้าอาหารถูกเก็บในตู้เย็น ต้องเอาออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อน

อุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่

(1) ห้องอบแห้ง (Drying Chamber) ลักษณะเป็นห้องหรือตู้สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือทรงกระบอกต้องมีระยะทางที่อากาศร้อนจะสัมผัสกับละอองของเหลวพอดีที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความแห้ง

(2) หัวฉีด (Atomizer or Nozzle) สำหรับพ่นของเหลวแตกเป็นละออง หรือหยดเล็กๆเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญที่สุด โดยทั่วๆไปแบ่งเป็น 3 ประเภท

(2.1) Two-fluid Nozzles นิยมใช้กับการอบแห้งที่ต้องการ Drying Rate ต่ำๆ (Low Production Drying Rate) อาศัยหลักการแตกตัวโดยการกระแทก (Shattering) ของเหลวโดยอากาศภายใต้ความดัน ประกบด้วยหัวฉีดอากาศ (Air Feed) และหัวฉีดของเหลว (Spray Fluid Feed)

ลักษณะการทำงานในกรณีความดันต่ำๆ ประมาณ 10 psig อากาศแทรกตัวเข้าไปในลำของเหลว ทำให้เกิดฟองเล็กๆในของเหลวมากมาย ซึ่งจะแตกตัวออกเป็นละออง หรือหยดเล็กๆเมื่อถูกอากาศที่มีความดันสูงประมาณ 60 psig ของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นลำเล็กๆเมื่อถูกอากาศที่มีความดันสูง จะทำให้ของเหลวแตกเป็นละอองเล็กๆมากมาย โดยทั่วไปความดันของอากาศในหัวฉีดอากาศจะใช้ที่ 30 psig หัวฉัดแบบนี้ใช้กับผลิตภัณฑ์ยา และเซรามิค เป็นต้น

(2.2) Single-fluid Pressure Nozzles ใช้ในการอบแห้งที่มีกำลังการผลิตมากๆ จะให้ของเหลวที่มีขนาดสม่ำเสมอกว่าหัวฉีดแบบแรก อาศัยหลักการฉีดของเหลวภายใต้ความดัน (1,000 – 7,000 pisg) ประกอบด้วยแกน (Core) และหัวฉีด ซึ่งเป็นรู (Orifice) เล็กๆ ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมากภายใต้ความดัน ของเหลวจะถูกเหวี่ยงออกจากหัวฉีดเป็นละอองเล็กๆ

(2.3) Centrifugal Disc Atomizers สามารถใช้ฉีดของเหลวที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันได้ (แต่แบบ 2.1 และ 2.2 ต้องผสมเป็นเนื้อเดียวกัน; Homogeneous Liquid) ลักษณะหัวฉีดคล้ายจานหมุน สามารถหมุนด้วยความเร็ว รอบ/นาที ให้ละอองที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยไม่ต้องใช้ความดันสูง ประสิทธิภาพของหัวฉีดแบบนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของของเหลวที่ต้องการทำแห้ง เช่น ความหนืด ความเข้มข้นของของเหลว เป็นต้น ของเหลวจะถูกทำให้มีความเร่งสูงขึ้นเรื่อยๆ บนจานหมุนจนมีแรงหนีศูนย์กลางเกินขอบเขต ก็จะถูกเหวี่ยงหลุดออกจากจานหมุนเป็นละอองเล็กๆ

(3) แหล่งให้ความร้อน (Heater) ส่วนมากจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบทางอ้อม (Indirect Heat Transfer) โดยใช้ไอน้ำ ท่อความร้อนจากไอน้ำจะผ่านท่อส่งต่อไปยังละอองของเหลว

(4) เครื่องแยกผลิตภัณฑ์ผง (Seperator) สำหรับแยกหรือรวบรวมผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ อาจประกอบด้วย Cyclone หลายตัว Cyclone Separator เป็นเครื่องมือแยกอนุภาคออกมาได้ดังนั้น “Cyclone is a centrifugal particle separetor”นั่นเอง

ข้อดีของ

(1) สูญเสียผลิตภัณฑ์ (อนุภาค) ที่แยกได้น้อย (ประมาณร้อยละ 1)

(2) การปะปนจากอากาศที่อยู่รอบๆ Cyclone มีน้อย

(3) ใช้ได้กับที่ทุกอุณหภูมิ

(4) ต้นทุนต่ำ การดูแลไม่ยุ่งยาก

หลักการทำงาน : เมื่ออากาศเข้า Cyclone ด้วยความเร็วสูง จะเกิดแรงเหวี่ยงกระทำต่ออนุภาค ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หมุนวนเป็นเกลียวรอบๆ Cyclone Axis อนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้ด้วยแรง 2 ชนิด ได้แก่ แรงเหวี่ยงที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนออกไปหาผนัง Cyclone และแรงสู่

ศูนย์กลาง เมื่ออนุภาคเข้าสู่ Cyclone แล้วความเร็วจะค่อยๆลดลง ทำให้มีการหมุนเป็นเกลียวลงมายังด้านล่างจนถึงส่วนล่างของกรวย ในที่สุดเมื่อความเร็วลดลงมามากๆ ทำให้อนุภาคตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วง และถูกรวบรวมออกไปทางช่องทางออกด้านล่าง ส่วนกระแสอากาศที่แยกอนุภาคออกไปแล้ว (Clean Air) จะรวมตัวกันหมุนวนกลับขึ้นไปข้างบนตามแกนของ Cyclone แล้วออกไปทางช่องอากาศออก ลักษณะการหมุนทั้ง 2 แบบนี้ (Double Spiral) จะเป็นในแนวเดียวกัน ทำให้สามารถแยกอนุภาคอากาศออกจากกันได้

ชนิดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดบทั่วไปแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 4 แบบ

(1) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสสวนทางกัน (Counter-Current Spray Dryer)

ของเหลวจะถูกพ่นใกล้กับส่วนห้องอบแห้งและตกลงมา ขณะที่อากาศจะถูกนำสู่เครื่องใกล้กับด้านล่างของห้อง ขณะที่อากาศถูกกำจัดใกล้ส่วนบนของห้องอบแห้ง และเคลื่อนที่สู่ด้านบนผ่านหยดของเหลว ผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะออกจากด้านล่างของห้อง ขณะที่อากาศถูกกำจัดใกล้ส่วนบนของห้องอบแห้ง อากาศที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงจะสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ที่แห้งและเกือบแห้ง แต่ข้อเสียคือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลง เนื่องจากความร้อนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศจะค่อนข้างต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์ติดกันไปในปริมาณมาก เมื่ออากาศถูกกำจัดออกไปที่ด้านบนของเครื่องอบแห้ง

(2) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน (Co-Current Spray Dryer)

จะมีการผสมอากาศเข้าที่หยดของเหลวที่เกิดขึ้นใหม่ที่เครื่องอะตอมไมเซอร์หลังการผสมข้างต้นแล้ว ผลิตภัณฑ์และอากาศจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันขณะกระบวนการอบแห้งยังดำเนินต่อไป ผลิตภัณฑ์และอากาศส่วนใหญ่จะออกไปจากห้องอบแห้งที่ทางออกด้านล่างและเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก

(3) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดที่มีการไหลผสมกัน (Mixed Flow Pattern Spray Dryer)

ผลิตภัณฑ์ถูกส่งเข้าเคลื่อนด้วยตัวอะตอมไมเซอร์ที่อยู่ ที่ศูนย์กลางการอบแห้ง อากาศที่เข้าส่วนบน จะเคลื่อนที่ลงมาด้านล่างของห้องอบแห้งซึ่งสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ก่อนจะเคลื่อนที่ขึ้นไปยังช่องอากาศออก ผลิตภัณฑ์จะออกจากเคลื่อนทางออกใกล้กับส่วนล่างของห้องอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิ

ของอากาศเข้าที่สูง อาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ระบบนี้จะมีความสามารถระเหยต่อหน่วยปริมาณสูง

(4) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดที่มีการไหลขนานกัน (Parallel Flow Spray Dryer)

การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศค่อนข้างสม่ำเสมอ จากด้านบนสู่ด้านล่างของห้องอบแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์และอากาศจะออกจากห้องอบแห้งด้วยกัน แล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่ใช้แบบแยกระบบ ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้แตกต่างจากชนิดกระแสไหลตามกัน คือ ความเร็วลมที่ใช้สูง ทำให้อุณหภูมิอากาศที่เข้าสูง

2.7.3 ตัวพา

ตัวพา (Carrier) ที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย หมายถึง สารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร ทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งและกระจายสารเคมีบางอย่างในอาหารซึ่งถูกทำลายได้ง่าย เช่น สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่น สี รส วิตามิน หรือสารอื่นๆอาหาร โดยสารตัวพาทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเหล่านี้เอาไว้แทนทำให้ถูกทำลายโดยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง และเมื่อนำอาหารผงนั้นไปคืนตัวโดยผสมกับน้ำ สีหรือกลิ่นรสของอาหารเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมา ทำให้สี กลิ่น รส ของอาหารหลังการคืนตัวมีลักษณะคล้ายวัตถุดิบสดก่อนนำมาทำแห้ง นอกจากนั้นตัวพายังทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้อาหารก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อความประหยัดในการทำแห้ง เช่น น้ำผลไม้ซึ่งมีปริมาณของแข็งต่ำ และของแข็งเหล่านั้นส่วนใหญ่ คือ น้ำตาล หากทำแห้งจนเป็นผงน้ำตาลเหล่านี้จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นมากและดูดความชื้นกลับได้อย่างรวดเร็ว เหนียวติดภาชนะ หรือไม่สามารถทำให้เป็นผงได้ เนื่องจากมีการเกาะติดบริเวณผนังห้องทำแห้งและดูดความชื้นกลับจนเหนียว ดังนั้นถ้ามีตัวพาอยู่ด้วย ตัวพาจะไปทำหน้าที่เจือจางปริมาณน้ำตาลในผงให้มีความเข้มข้นลดลงสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวพา ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน เด็กซ์ตริน และนมผงขาดมันเนย เป็นต้น

2.7.3.1 มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ตริน คือ สายโพลิเมอร์ของแซคคาไรด์ ที่มีค่าคุณอาหารประกอบด้วย D-glucose ยูนิต หลายๆยูนิต ต่อกันด้วยแขน ชนิด alpha 1 - 4 และมีค่าสมมูลเด็กซ์โตสต่ำกว่า 20 เตรียมการจากการไฮโดรไลซ์สตาร์ชข้าวโพดโดยกรดหรือเอนไซม์ มอลโตเด็กซ์ตรินมีลักษณะ

เป็นผงสีขาว มีความหวานเล็กน้อยหรือไม่หวานเลยขึ้นอยู่กับค่า DE มีความชื้นร้อยละ 3 – 5 มีความหนาแน่นปรากฏอยู่ในช่วง 0.31 – 0.61 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สามารถใช้มอลโตเด็กซ์ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของอาหารและหน้าที่ของมอลโดเด็กซ์ตรินในอาหารนั้นๆ มอลโตเด็กซ์ตรินที่นำมาใช้สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ และมีความหนืดสม่ำเสมอเนื้อเรียบเนียน มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ โดยเฉพาะที่มีค่า DE ต่ำๆ มีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสีน้ำตาลน้อยลงมากนอกจากนั้นยังสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ซุป นม น้ำผลไม้ เป็นต้น โดยอาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อน ดังภาพที่ 2.14

มอลโตเด็กซ์ตรินสามารถนำมาใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนจะนำเข้าเครื่องทำแห้งและยังช่วยลดการดูดความชื้นกลับไปในผลิตภัณฑ์ผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น น้ำผลไม้ผง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สามารถไหลได้โดยสะดวก บริษัท Grain processing Corporation (1994) ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE 9 - 12 เป็นตัวพาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผลไม้และไซรัป ในช่วง DE นี้ มอลโตเด็กซ์ตริน มีความสามารถในการละลายสูงสุด (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ประมาณร้อยละ 30 (น้ำหนักแห้ง) และสารละลายที่ได้มีความหนืดประมาณ 60 ขณะที่บริษัท Obi Pakin ag (1992) ได้แนะนำให้ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE 4 – 10 เป็นตัวพาในการทำแห้งกล้วย โดยใช้ในปริมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของกล้วยผง หลักการทำแห้ง

2.7.3.2 เด็กซ์ตริน [68]

เด็กซ์ตรินเป็นผลพลอยได้จากการไฮโดรไลซิสสตาร์ชเพียงบางส่วนด้วยเอนไซม์ กรดหรือความร้อน เด็กซ์ตรินมี 3 ชนิด ได้แก่

(1) อะไมโลเด็กซ์ตริน (Amylodextrin หรือ Soluble starch) เป็นผลผลิตที่ได้จากการไฮโดรไลซิสสตาร์ชและเป็นเด็กซ์ตรินที่พบมากที่สุด ทำปฏิบัติกับสารละลายไอโอดีนได้สีน้ำเงิน

(2) อิริโทรเด็กซ์ตริน (Erythrodetrin) เป็นผลผลิตได้จากการไฮโดรไลซิสสตาร์ชเช่นเดียวกัน แต่มีขนาดของโมเลกุลเล็กกว่าอะไมโลเด็กซ์ตรินและให้สีแดงกับสารละลายไอโอดีน

(3) อะโครโอเด็กซ์ตริน (Achroodextrin) เป็นผลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสสตาร์ชที่มีขนาดของโมเลกุลเล็กกว่าสองชนิดแรก และไม่มีสีกับสารไอโอดีน

เด็กซ์ตรินละลายได้ในน้ำ และจะตกตะกอนออกจากสารละลายได้ด้วยแอลกอออล์ ในโมเลกุลของเด็กซ์ตรินมีหมู่คาร์บอนิล (-CO-) อิสระ ทำให้มีสมบัติเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์และสามารถรีดิวซ์สารละลาย Fehling ได้ เด็กซ์ตรินพบได้ในพืช เนื่องจากเป็นสารอินเทอร์มีเดียตของปฏิกิริยาการสังเคราะห์สตาร์ชจากน้ำตาลกลูโคส หรือการสลายสตาร์ชเป็นน้ำตาลกลูโคสจึงพบได้ในน้ำผลไม้บางชนิดและยังอาจพบเด็กซ์ตรินได้ในน้ำผึ้งด้วย

2.7.4 การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ผงระหว่างเก็บรักษา [69]

เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคแล้ว สภาวะในการเก็บรักษาและบรรจุภัณฑ์ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มผงในระหว่างการเก็บรักษาด้วย ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอาหาร จึงเน้นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเป็นหลัก โดยไม่จำเป็นต้องติดตามจนถึงจุดที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งโดยทั่วไปอาจศึกษาความคงตัวของสารสำคัญ หรือสารที่สนใจเป็นแนวทางในการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ได้การเปลี่ยนแปลงของอาหารระหว่างเก็บรักษามีความสำคัญในการบ่งชี้คุณภาพของอาหาร ว่ายังคงมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ซึ่งในด้านผู้บริโภคจะเป็นการรับรู้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ และใช้ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ ส่วนด้านผู้ผลิต จะใช้ประเมินคุณภาพของอาหารที่ผลิต และใช้ประกอบการแสดงอายุการเก็บบนฉลาก หรือเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งปัจจุบันกฎหมายบังคับให้ผู้ผลิตต้องแสดงวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์ด้วย ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอาหารในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ด้วย โดยอาจประเมินภายใต้สภาวะต่างๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ การเก็บรักษา และการจัดจำหน่าย ซึ่งเมื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บก็สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาปรับปรุงสูตรของผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย คือ

2.7.4.1 ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์อาหารผงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูง เนื่องจากมีปริมาณความชื้นต่ำ แต่น้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่ดูดความชื้น แม้จะมีปริมาณความชื้นเพียงเล็กน้อย ก็อาจทำให้เกิดการเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากสมบัติเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ของน้ำตาลที่มีโมเลกุลต่ำ ที่ทำให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิสชัน (Tg) ลดลง จึงทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ผง

2.7.4.2 สภาวะแวดล้อมที่ผลิตภัณฑ์ได้รับระหว่างการเก็บรักษา

สภาวะการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ สภาวะเร่ง และแสง โดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์จะถูกเก็บในสภาวะควบคุมในระหว่างการเก็บรักษาและนำผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์มาทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยจะพบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดอัตราการเสื่อมเสีย เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงขึ้น จะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าสี ความสามารถในการไหลความสามารถในการละลาย ดังนั้น อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของอาหารผงโดยตรง นอกจากนี้ยังพบ ความชื้น ออกซิเจน และแสงก็มีผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2.7.4.3 ภาชนะบรรจุ

การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลและความร้อนเข้าสู่ภาชนะบรรจุ โดยการแพร่ของสารต่าง ๆ ผ่านผิวของภาชนะบรรจุเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาจต้องพิจารณาความต้านทานต่อการเจาะผ่านของแมลงผ่านบรรจุภัณฑ์อีกด้วย [69]

(1) เมทัลไลท์ฟอยล์ (metalized cast polypropylene film, M-CPP) เป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกพอลิโพไพลีนที่เคลือบด้วยไอของโลหะ สำหรับการป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นออกซิเจน สารหอมระเหย ก๊าซชนิดอื่นๆ รวมไปถึงสารระเหยให้กลิ่น และยังมีคุณสมบัติที่ดีในการป้องกันแสงอีกด้วย [70] [71]

(2) พอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) เป็นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นดี มีทั้งแบบอ่อนและแบบแข็งได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low density polyethylene: LLDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene: HDPE) พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีความ

ต้านทานการกัดกร่อนดี กันความชื้นได้ดี ความแข็งแรงต่ำ และมีความยืดหยุ่นสูง นิยมใช้ในการผลิตขวดน้ำ และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ จะมีคุณสมบัติเหนือกว่าคือ ทนสารเคมี ทนแรงดึง แรงทิ่มทะลุ ทนฉีดขาด ยืดตัวดี และปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ สำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเป็นกลุ่มที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะรับแรงกระแทกได้ดี น้ำหนักเบา ดูดซับความชื้นน้อย มีความแข็งแรงสูง ไม่เป็นพิษ สามารถใช้บรรจุอาหารได้ [71]

2.7.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Borge และคณะ (2002) [72] ได้ศึกษาการใช้มอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสารช่วยการทำแห้งในน้ำสับปะรด และน้ำเสาวรสพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าช่วง 85 – 95 องศาเซลเซียส และระดับมอลโตเดรกตินร้อยละ 20 – 30 พบปริมาณมอลโตเดรกตินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีผลต่อการละลาย และความเป็นรูพรุนของอนุภาคผงที่ได้ แต่การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมีผลทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้ และความหนาแน่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น

Nadeem และคณะ (2011) [73] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 145, 155 และ 165 องศาเซลเซียส และตัวพา 3 ชนิด คือ เบต้า-ไซโคลเดรกติน กัมอะราบิก และมอลโตเด็กซ์ตรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด พบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในชาภูเขา (*Sideritis stricta*) โดยการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนจาก 145 เป็น 155 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 155 องศาเซลเซียส ปริมาณโพลีฟีนอลจะลดลง ตามลำดับ

พรรณจิราและคณะ (2545) [74] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 110 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสดีที่สุด ต่อมา ศุภมาศและคณะ (2550) ศึกษากระบวนการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยทุเรียนผง โดยแปรระดับของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 – 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเป็น 3 ระดับ ร้อยละ20 - 40 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มอลโตเด็กซ์ตริน ร้อยละ20 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 และ 180 องศาเซลเซียส มี

คะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้บริโภคสูงสุด โดยขนาดอนุภาคทุเรียนผงที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 0.01-700 ไมโครเมตร

2.8 การทำแห้งแบบโฟมแมท

การทำแห้งโดยทั่วไป หมายถึง วิธีถนอมอาหารโดยการลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อทำให้ค่าวอเตอร์แอควิตี้ของอาหารลดลง จนสามารถยับยั้งหรือชะลอกิจกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโตการแบ่งเซลล์ของเชื้อจุลลินทรีย์ที่ก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสีย รวมทั้งลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาเคมีการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่ไม่ต้องการซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารอาหารอันเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพ โดยอาหารที่ผ่านการทำแห้งอาจนำมาบริโภคได้ทันที เช่น ผักผลไม้แห้ง กุ้งแห้ง ปลาแห้ง บางชนิดอาจต้องนำมาคืนสภาพโดยเติมน้ำกลับเข้าในอาหารก่อนการบริโภค เช่น นมผง กาแฟ หรือบางชนิดต้องนำไปทอดก่อนรับประทาน เช่น หมูแดดเดียว

ในกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นกระบวนการทำแห้งที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารอาศัยหลักการให้ความร้อนทำให้ไอน้ำระเหยออกจากอาหาร โดยความร้อนอาจได้จากลมร้อน สิ่งที่เกิดขึ้นคือความร้อนจะส่งผ่านเข้าไปในชิ้นอาหาร จนเท่ากับความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ จะทำให้น้ำที่ผิวอาหารระเหยออกไป และน้ำจากภายในชิ้นอาหารจะเคลื่อนมาที่ผิวก่อนระเหยออกไปจนกระทั่งอาหารแห้ง [75]

2.8.1 การทำแห้งแบบโฟมแมท (Foam-mat Drying)

การทำแห้งแบบโฟมแมท เป็นกระบวนการทำแห้งที่ต้องทำให้อาหารเหลวที่ต้องการทำให้แห้ง มีลักษณะเป็นโฟมที่คงตัวในระหว่างการทำแห้ง กระบวนการทำให้เกิดโฟมทำได้โดยนำอาหารเหลวมาทำให้เข้มข้น อาจจะเติมสารช่วยให้เกิดฟอง (Foaming agent) ลงไปแล้วตีหรืออัดอากาศหรือก๊าซเฉื่อยลงไป จนเกิดลักษณะเป็นฟองโปร่ง จากนั้นจึงนำฟองที่ได้มาเกลี่ยให้เป็นแผ่นแล้วอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์แบบต่อเนื่อง เมื่อแห้งอาหารจะมีลักษณะโปร่ง และเปราะสามารถทำให้แตกเป็นแผ่นบางเล็ก (Flake) ได้ โครงสร้างของชิ้นอาหารเล็กๆนี้มีรูพรุนเล็กๆอยู่ทั่วไป ทำให้นำมาคืนรูปได้ง่าย [76]

ข้อดีของการทำให้อาหารเป็นโฟม คือ เพิ่มอัตราการทำแห้งของอาหาร เพราะโครงสร้างของโฟมซึ่งมีรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้น อาหารสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาสั้น ช่วยลดการสูญเสียคุณภาพอาหาร โดยเฉพาะกลิ่น รสของอาหาร

อาหารที่เป็นของเหลวหรืออาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวที่จะทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมท ควรมีความเข้มข้นและความหนืดเหมาะสมที่จะเตรียมให้เป็นโฟมที่มีฟองละเอียดและมีความคงตัวในระหว่างการทำแห้ง ดังนั้นในการเตรียมอาหารที่ต้องการทำแห้งด้วยวิธีการนี้อาจมีการเติมสารเพิ่มความหนืด เช่น สารในกลุ่มไฮดลอลอยด์ พวกเมทิลเซลลูโลส หรืออาจมีการเติมสารที่ช่วยลดแรงตึงผิวเพื่อทำให้เกิดฟิล์มบางๆได้ดี เช่น โปรตีนถั่วเหลือง ไข่ขาว หรืออีมัลซิฟายเออร์ พวกโมโนกลีเซอไรด์ [75]

2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำแห้งแบบโฟมแมท

Karim และ Wai (1999) [77] ได้ทำการทดลองทำมะเฟืองผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมแมทโดยเตรียมโฟมจากเนื้อมะเฟืองสด และใช้เมทโธเซล 65 เอชจี เป็นสารก่อโฟมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 – 0.4 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทโธเซล 65 เอชจี ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก ค่าและความคงตัวของโฟมมีค่าสูงสุด ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้จะแปรผันตามความเข้มข้นของเมทโธเซล 65 เอชจี เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งจาก 70 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส จะลดเวลาในการทำแห้งลงถึง 30 นาที แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลอ่อนและกลิ่นของมะเฟืองลดลง

ชุติมา และคณะ (2010) [78] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงสำเร็จรูปจากตะไคร้ด้วยการทำแห้งแบบโฟมแมทใช้มอลโทเด็กซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และสารที่ก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมโทเซล เมเซเซลร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (1 ต่อ 1) และเมเซเซลร่วมกับซอยโปรตีนไอโซเลท (1 ต่อ 1) พบว่าการใช้เมโทเซลร่วมกับคาร์บอซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และอุณหภูมิอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปจากตะไคร้ที่ได้คุณภาพที่ดีดังนี้ ความชื้นร้อยละ 4.50 ปริมาณน้ำอิสระ 0.49 ค่าสี L*, a*, b* (L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) จาก +L* แสดงถึงสีขาว จนถึง -L* แสดงถึงสีดำ แกน a* คือ แกนสีเขียว (-a*) ไปจนถึงแดง (+a*) ส่วนแกน b* หมายถึง แกนสีจากน้ำเงิน (-b*) ไปเหลือง (+b*)) เท่ากับ 78.41, -1.82 และ 20.89 ตามลำดับ

2.8.3 สารก่อโฟม (Foaning Agent)

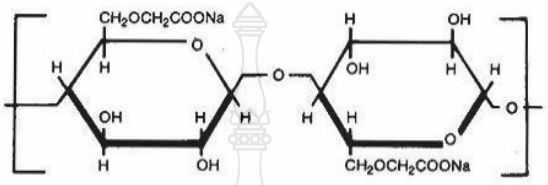
สารก่อโฟมเป็นสารที่ใช้เติมลงไปในอาหารเหลว เพื่อช่วยให้เกิดโฟมเมื่อนำไปตีในเครื่องตีปั่นเติมอากาศให้กับอาหารจนเกิดโฟม ซึ่งเป็นของผสมระหว่างของเหลวหรือกึ่งของแข็งและอาหารมีของเหลวเป็นส่วนต่อเนื่อง (Continuous phase) แยกอากาศเป็นส่วนกระจาย (disperse phase) โดยชั้นของเหลวบางๆ เรียก ลาเมลลา (Lamellae) แยกฟองอากาศออกจากกัน สารก่อโฟมที่เติมลงในอาหารจะช่วยทำให้เกิดสภาพโฟม สารนี้ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงบริเวณลาเมลลา ทำให้อาหารที่อุ้มอากาศไว้ภายในได้มากขึ้น โดยฟองอากาศนั้นไม่แตกหรือแยกออก ขณะเดียวกันจะช่วยรักษาสภาพโฟมให้คงตัวอยู่ได้นาน ทำให้โฟมมีความคงตัวยิ่งขึ้น ปกติโมเลกุลของสารที่ช่วยให้เกิดโฟมนั้นประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophile) ซึ่งเป็นพวกอนุมูลอิสระที่มีประจุ ซึ่งอาจเป็นประจุบวกหรือลบก็ได้ เป็นส่วนที่ละลายอยู่ในเฟสของน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobe) เป็นส่วนที่ไม่มีประจุ มักเป็นอนุพันธ์คาร์บอนอะตอมที่มีสายยาวๆ (Aliphatic carbon chain) เป็นส่วนที่จะละลายอยู่ในเฟสของน้ำมัน

สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่

2.8.3.1 เมทโธเซล (Methocel) เป็นชื่อวัตถุเจือปนอาหารทางการค้าที่มีสายโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเคมีหลัก ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ลักษณะเป็นผงที่มีความบริสุทธิ์สูงและให้พลังงานต่ำ ไม่ให้กลิ่นรสกับอาหารที่ถูกเติมลงไปและใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย เมทโธเซลสามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็น สารยึดเกาะ (Binders) สารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (Suspension Agents) สารช่วยให้อิมัลชันคงตัว (Emulsifier) และสารป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยแยกตัว (Protective Colloid) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว (Surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์มขึ้น (Film Forming) ในอาหารได้ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวในอาหาร ได้ทั้งอุณหภูมิห้องที่สูงและต่ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวในอาหารที่ต้องการทำแห้งแบบโฟมและสามารถแบ่งเมมโธเซลตามชนิดของ Cellulose ethers ภายในองค์ประกอบทางเคมีได้เป็น 2 ชนิด คือ เมททิลเซลลูโลส (Methyl Cellulose) และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropylmethyl Cellulose) [79]

2.8.3.2 คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl Cellulose,CMC) หรือหรือโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (Sodium Carboxymethylcellulose) เป็นไฮโดรคอลลอยด์

(Hydrocolloid) คือพอลิเมอร์ ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสนั่นเอง ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้ เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (Modified Natural Hydrocolloids) เกิดจากการ แปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิม ด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.13 [80] [81] [82] [83]



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส
ที่มา : นิธิยา และพิมพ์เพ็ญ (2552) [82]

ซีเอ็มซีถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย อาทิ อุตสาหกรรมการซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก อาหารและยา เนื่องจากซีเอ็มซีมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายนำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพ สำหรับการใช้ประโยชน์คาร์บอกซิเมธิลเซลลูโลสในอุตสาหกรรมอาหาร จะใช้เป็นสารให้ความหนืดในไอศกรีม ใช้เป็นสารเคลือบผิวแคปซูลยาหรือเป็นสารก่อให้เกิดการเป็นเจลทางด้านเภสัชกรรม เป็นต้น [81][83]

ในการเตรียมซีเอ็มซีหรืออนุพันธ์ของเซลลูโลสโดยทั่วไปจะต้องใช้เยื่อเซลลูโลสที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (Alpha Cellulose) หรือที่เรียกกันว่า เซลลูโลสคุณภาพสูงซึ่งเซลลูโลสคุณภาพสูงนี้ อาจเตรียมได้จาก วัตถุดิบต่างๆกันและวิธีทางเคมีที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน ในบางกรรมวิธีอาจเตรียมมาจากแป้งผสม เช่น แป้ง ผสมเบต้ากลูแคนที่เตรียมจากข้าวโอ๊ต (เกล็ดเล็กๆ) ข้าวบาร์เลย์และยีสต์หรือจะเป็นจากโพลีแซคคาไรด์ในน้ำนมโปรตีนและจากแป้งข้าวเจ้าแบบเบต้ากลูแคน เป็นต้น ซึ่งในต่างประเทศส่วนใหญ่ผลิตเซลลูโลสดังกล่าว

ได้จากไม้ยืนต้น จำพวกสนและยูคาลิปตัส ทั้งนี้ การควบคุมคุณภาพเยื่อเซลลูโลสที่ได้ให้คงที่นับว่ามีความ จำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ซึ่งต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมาก เนื่องจากการใช้วัตถุดิบ จำพวกพืชไร่ที่มีคุณภาพและปริมาณแตกต่างกันจากหลายๆแหล่ง จะทำให้ได้เยื่อเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติไม่คงที่ แต่ในประเทศไทยได้มีการนำเอาพืชไร่หรือวัสดุที่เหลือทิ้งทาง

การเกษตรมาทดลองผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูงไม่ ว่าจะเป็น ต้นกก ซังข้าวโพด กาบมะพร้าว ก้านกล้วย กากปาล์ม ใบคะน้า ใบสัปปะรด หญ้านวลจันทร์ เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ การวิจัยเพื่อพัฒนาในการนำวัสดุเหล่านี้ มาใช้ในการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มมูลค่า ให้แก่วัสดุเหล่านี้ได้ [84][85][83][86] ในบทความนี้ จะนำเสนอการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูงจากวัสดุที่น่าสนใจ ดังนี้

- เปลือกทุเรียน เนื่องจากในเปลือกทุเรียนนอกจากจะมีส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์แล้ว ยังประกอบไป ด้วยส่วนที่เป็นเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 30 จากการศึกษาที่ผ่านมาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณภาพทางเคมีสำหรับวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้เตรียมเซลลูโลสคุณภาพสูง จะต้องมีแอลฟาเซลลูโลสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 29 มีลิกนินไม่ เกินร้อยละ 22 มีเถ้าไม่เกินร้อยละ 9 และมีเพนโตแซน (pentosans) ไม่เกินร้อยละ 32 นั่นคือ เปลือกทุเรียนมีคุณภาพทางเคมีที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เตรียมเยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงได้ [83]

- ผักตบชวา ปัจจุบันมีผลวิจัยที่ค้นพบว่าสามารถนำเอาผักตบชวามาเตรียมเซลลูโลสคุณภาพสูงได้ เพราะในผักตบชวามีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงประมาณร้อยละ 24 [84] - 44 [85] ซึ่งเป็นเซลลูโลสคุณภาพสูงที่นำไปเตรียมซีเอ็มซีที่จัดเป็นซีเอ็มซีที่นำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดด้วย แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตซีเอ็มซีจากผักตบชวาใช้เอง

- ชานอ้อย ในการสังเคราะห์เซลลูโลสคุณภาพสูงนั้น ชานอ้อยถือว่าเป็นวัสดุที่มีปริมาณเซลลูโลสมาก ที่สุดถึงร้อยละ 41 ซึ่งปริมาณเซลลูโลสคุณภาพสูงนี จะนำไปเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของคาร์บอกซิเมธิลเซลลูโลส เพื่อการผลิตแผ่นพลาสติกชีวภาพที่มีคุณภาพคือมีการยึดติดแข็งแรงและไม่เปราะบางมากที่สุด ด้วยเหตุนี้ชานอ้อยจึงเหมาะจะเป็นวัตถุดิบในการสกัดเซลลูโลสคุณภาพสูงนั่นเอง [84]

- เยื่อฟางข้าว ในเยื่อฟางข้าวมีปริมาณเซลลูโลสเพียงพอในการผลิตคาร์บอกซิเมธิลเซลลูโลส ซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มแบบโซดาแอนทราคิวโนนและมีความสามารถในการละลายน้ำกว่าร้อยละ 50-85 ในหลักการนี้ ถูกนำไปใช้ในการผลิตฟิล์มคาร์บอกซิเมธิลเซลลูโลสเคลือบผิวผลไม้ โดยฟิล์มจากเยื่อฟางข้าวที่ได้จะมี ลักษณะใส ละลายน้ำได้ง่ายและที่สำคัญคือ ไม่มีสารพิษตกค้างถึงผู้บริโภค ฟางข้าวจึงเป็นอีกหนึ่งวัสดุเหลือทิ้ง ทางการเกษตรที่เป็นที่น่าสนใจในการสกัดเซลลูโลสคุณภาพสูง แล้วสังเคราะห์เป็นฟิล์มซีเอ็มซีนำไปใช้ใน อุตสาหกรรมอื่นนอกเหนือจากอุตสาหกรรมอาหารนั่นเอง [81]

2.8.3.3 ไข่ขาวผง คือ โปรตีนสกัดจากไข่ขาวเป็นโปรตีนคุณภาพสูง มีลักษณะเป็นผงคล้ายครีมเทียม มีกลิ่นคาวของไข่ เหมาะสมสำหรับเสริมสร้างกล้ามเนื้อ และบำรุงร่างกายในกรณีที่ตับไม่สามารถผลิต อัลบูมิน ได้หรือร่างกายได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ เนื่องจากไข่ไก่ 1 ฟองใหญ่จะมีปริมาณไข่ขาวประมาณ 32 กรัม แต่มีโปรตีนบริสุทธิ์เพียง 4 กรัม โดย 90 เปอร์เซ็นต์ ของไข่ขาวเป็นน้ำ ดังนั้นจึงมีการสกัดเอาโปรตีนบริสุทธิ์จากไข่ขาวมาในรูปแบบชนิดผงที่ให้โปรตีนเข้มข้นเหมาะแก่ผู้ที่ต้องการโปรตีนในปริมาณสูง [87] ไข่ขาวผงผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์ซึ่งยังคงคุณค่าอาหารไว้ครบถ้วน ก่อนสกัดเอาน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต ออกจากไข่เพื่อให้ได้โปรตีนเข้มข้นแคลอรี่ต่ำและสกัดด้วยวิธี ทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาอันสั้น ทำให้โปรตีนไม่เกิดการแปรสภาพทางกายภาพเป็นก้อนเหมือนการต้มไข่ [87]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารก่อโฟม

คุ้มเกล้า และคณะ (2551) [79] ได้ศึกษาการผลิตน้ำกระเทียมดองผงโดยวิธีการอบแห้งแบบโฟมแมท เพื่อหาชนิดและปริมาณสารก่อโฟมและอุณหภูมิและเวลาในการอบที่เหมาะสม จากการศึกษาชนิดของสารที่ก่อให้เกิดโฟม พบว่าการใช้สารละลาย Methocel ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนักร่วมกับ Maltodextrin 10 กรัม ในน้ำกระเทียมดองทั้ง 2 สูตร ให้ค่าความคงตัวที่เหมาะสมคือ 1.35 และ 0.16 มิลลิเตรต่อนาที ตามลำดับ ความหนาแน่น 0.128 และ 0.103 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และค่า Overrun เท่ากับ 717.09 และ 915.95 ตามลำดับ ค่า Overrun ของโฟมที่สูงขึ้นแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บอากาศในโฟมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมลดลง ผลการศึกษาอุณหภูมิเวลา 6 ชั่วโมง มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมใกลเคียงกับน้ำกระเทียมดองสดมากที่สุด

ธวัชชัย (2011) [88] ได้ศึกษาผลของสารก่อโฟมที่มีคุณสมบัติของโจ๊กข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยวิธีโฟมแมท ทำการศึกษาโดยแปรผันชนิดและปริมาณสารก่อโฟม คือ Methocel, Glycerylmonostearate (GMS) และ Methocel ร่วมกับ GMS (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) ในปริมาณร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก พบว่า โฟมของโจ๊กข้าวกล้องงอกที่ใช้ Methocel หรือ GMS หรือ Methocel ร่วมกับ GMS ร้อยละ 1.0, 0.5 และ 1.5 ตามลำดับ มีค่าความหนาแน่นต่ำ ความคงตัวและ Overrun สูง โจ๊กข้าวกล้องงอกที่ใช้ GMS ร้อยละ 0.5 มีสีเหลืองอ่อน มีระยะเวลาการคืนตัว

สั้นและได้รับคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวมที่สุด นอกจากนี้ประกอบด้วย GABA 60.70 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สุธิดา และคณะ (2008) [89] ได้ศึกษาการศึกษาการผลิตสารสกัดชนิดผงจากพริกแดงสด โดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยการแปรชนิดสารก่อโฟม (เมทโธเซล, ไข่ขาวผง และการใช้เมทโธเซล ร่วมกับ ไข่ขาวผง) ปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตริน (ร้อยละ 5, 10 และ 15) ปริมาณของดิสทิลด์ โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละ 1, 1.5 และ 2) และปริมาณเกลือ (ร้อยละ 1, 3 และ 5) ตามลำดับ โดยวัตถุดิบที่ใช้คือ น้ำพริกชี้ฟ้าแดงสดที่สกัดด้วยเครื่องสกัดน้ำแยกกาก ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและเคมีดังนี้ คือ ค่าความสว่าง (L^*) 30.97±0.33, ค่าสีแดง (a^*) 36.40±1.30, ค่าสีเหลือง (b^*) 26.47±1.13, ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.103±0.004, ความเป็นกรด-ด่าง 4.05±0.02 และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 8.07±0.12 °Brix จากการศึกษาชนิดของสารก่อโฟม ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน, ปริมาณดิสทิลด์ โมโนกลีเซอไรด์ และปริมาณเกลือ พบว่า การใช้ เมทโธเซล และ ไข่ขาวผง ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 ต่อ 3.0, ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ร้อยละ 10 ปริมาณดิสทิลด์ โมโนกลีเซอไรด์ ที่ร้อยละ 1.5 และปริมาณเกลือที่ร้อยละ 3 ทำให้โฟมของน้ำพริกสดมีความคงตัวมากที่สุดและสามารถทำให้เป็นอนุภาคผงได้ภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

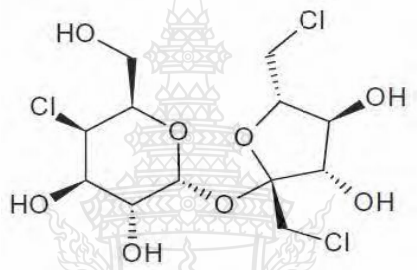
2.9 สารให้ความหวานสังเคราะห์

สารให้ความหวานสังเคราะห์เป็นสารเคมีซึ่งเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่เมื่อบริโภคแล้วสามารถให้รสหวานได้ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ หรือมีคุณค่าโภชนาการต่ำมาก ดังนั้นจึงให้พลังงานน้อยมาก หรืออาจไม่ให้พลังงานเลย สารให้ความหวานเหล่านี้จึงกำลังได้รับความนิยมในการใช้เพื่อทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครส หรือสารให้ความหวานให้พลังงานอื่นๆในอาหาร ตัวอย่างสารของสารให้ความหวานสังเคราะห์ที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการได้แก่

2.9.1 ซูคราโลส (sucralose)

ซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานสังเคราะห์ (artificial sweetener) ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส โดยนำน้ำตาลซูโครสมาปรับปรุงโครงสร้างให้ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ โดยแทนที่กลุ่มไฮดรอกซล 3 ตำแหน่ง ด้วยอะตอมคลอไรด์ ทำให้มีโครงสร้างคล้ายน้ำตาลแต่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้จึงไม่ให้พลังงานและไม่ทำให้ฟันผุ มีรสชาติหวานคล้ายน้ำตาลซูโครสมาก แต่ยังมีรสหวานตกค้าง

(lingering sweetness) อยู่นานกว่าซูโครสเล็กน้อย เมื่อใช้ในปริมาณที่เท่ากัน กับซูคราโลสให้รสหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส 600 เท่า [90] สามารถละลายได้ดีในน้ำ ไม่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดหรือระดับอินซูลินจึงนิยมใช้ในอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก สามารถใช้ปรุงอาหารและขนมทุกชนิด และทนความร้อนสูงมาก เป็นสารให้ความหวานที่ปลอดภัย ได้รับการรับรองโดย สำนักงานและคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศไทย และสหรัฐอเมริกา (USFDA) [91] ปริมาณที่บริโภคต่อวันสำหรับซูคราโลสที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด คือ ควรบริโภคไม่วันละ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักร่างกาย [92] สูตรโครงสร้างของซูคราโลสแสดง ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของซูคราโลส
ที่มา : ADA Evidence Analysis Library (2011) [92]

2.9.2 สตีวิโอไซด์ (Stevioside) จากหญ้าหวาน

หญ้าหวาน (*Stevia rebaudiana* Bertoni หรือ Bertoni) เป็นต้นไม้พุ่มเตี้ย (shrub) ใน asteraceae (compositae) family มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้โดยเฉพาะในแถบประเทศบราซิลและปารากวัย ซึ่งได้รับการขนานนามว่าเป็น ‘‘the sweet herb of Paraguay’’ หญ้าหวานอาจมีองค์ประกอบของสารต่างๆ แตกต่างกันไป (ร้อยละ 4 -20) ของน้ำหนักแห้งของใบหญ้าหวาน) ซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามวิธีการเพาะปลูกและสภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต stevioside นั้นเป็นสารให้ความหวานหลักที่ได้จากใบของหญ้าหวานโดยเฉพาะ stevioside นอกจากยังพบสารที่อื่นได้อีกในใบของหญ้าหวาน เช่น steviol, steviolbioside, rebaudioside A ซึ่งหญ้าหวานสามารถให้ความหวานได้มากกว่าน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ 0.4 solution) ประมาณ 300 เท่า [93] ดังนั้นทั้งหญ้าหวาน สารสกัดหญ้าหวานและ stevioside ได้ถูกใช้เป็นสารให้ความหวานมาเป็นเวลาหลายปีในหลายประเทศ เช่น ประเทศในทวีปอเมริกาใต้ สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่นและประเทศในกลุ่ม EU เป็นต้น ในประเทศบราซิล

เกาหลีและญี่ปุ่น ใบหญ้าหวาน stevioside และสารสกัดบริสุทธิ์ (refined extract) ได้ถูกใช้เป็นสารให้ความหวานที่มีพลังงานต่ำ สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกาผงแป้งและสารสกัดบริสุทธิ์ของใบหญ้าหวานก็ถูกนำมาใช้เป็น dietary supplement ตั้งแต่ปี 1995 และในปี 2000 European Commission ก็ได้มีการยอมรับให้ใช้หญ้าหวานและ stevioside เป็นอาหารได้เนื่องจากยังไม่มีรายงานที่พบความเป็นพิษของ stevioside และ steviol [94]

2.9.2.1 แหล่งที่มาตามธรรมชาติ (Natural source)

ในปัจจุบันสารให้ความหวานตามธรรมชาติ (natural sweetener) มักจะถูกนำมาใช้ทดแทนน้ำตาลซูโครสและได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยเฉพาะการลดการเกิดอุบัติการณ์ของโรคอ้วน (obesity) และโรคเบาหวาน (diabetes mellitus) stevioside จัดเป็นสารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง stevioside เป็น sweet glycoside ที่สกัดได้จากหญ้าหวาน (*Stevia rebaudiana* Bertoni) ซึ่งเป็นต้นไม้พุ่มเตี้ย (small shrub) มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้โดยเฉพาะในแถบประเทศบราซิลและปารากวัยอาจรู้จักในอีกชื่อก็คือ stevia หรือ honey leaf, Kaa-he-e [95] เดิมทีประชากรพื้นเมืองในทวีปอเมริกาใต้จะใช้สารสกัดจากหญ้าหวานเป็นสารให้ความหวานและใช้ในการแพทย์พื้นเมือง (traditional medicine) มาเป็นระยะเวลาหลายร้อยปี [96] ด้วยคุณสมบัติทั้งเป็นสารให้ความหวานและช่วยในการรักษาโรค จึงทำให้สารสกัดจากหญ้าหวานโดยเฉพาะในส่วนของใบได้รับความสนใจต่อการศึกษาทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกในทวีปเอเชียที่ได้นำสารสกัดจากหญ้าหวานมาเป็นสารให้ความหวานออกมาสู่ตลาดทางการค้าในทั้งอุตสาหกรรมอาหารและยา ต่อมาจึงได้ขยายการเพาะปลูกออกไปสู่หลายประเทศในทวีปเอเชีย ได้แก่ ประเทศจีน มาเลเซีย สิงคโปร์ เกาหลีใต้ ไต้หวัน และไทย นอกจากนั้นแล้วการเพาะปลูกยังประสบความสำเร็จในประเทศแคนาดา สหรัฐอเมริกาและยุโรป การใช้สารสกัดหญ้าหวานในเชิงเป็นสารให้ความหวานได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้นในการดูแลสุขภาพหรือโรคที่เกี่ยวข้องกับการได้รับน้ำตาลซูโครส เช่น ภาวะฟันผุ (dental caries) โรคอ้วน และโรคเบาหวาน เป็นต้น [97]

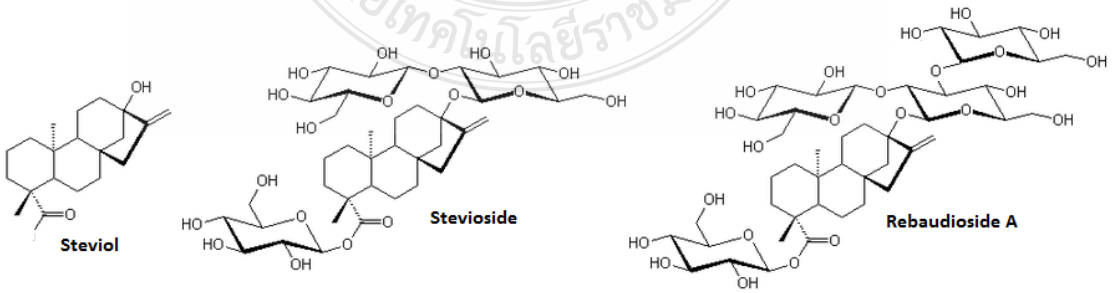
2.9.2.2 โครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติการให้ความหวาน (chemical structure and sweeteness property)

Stevioside เป็น diterpenoid glycoside ที่ประกอบด้วย aglycone (steviol) ต่อกับ glucose 3 โมเลกุลนอกจาก stevioside แล้วยังพบสารอื่นๆที่มีคุณสมบัติในการให้ความหวานที่สกัดจากใบของหญ้าหวาน ได้แก่ steviobioside, rebaudioside A, rebaudioside B,

rebaudioside C, rebaudioside D, rebaudioside E และ ducoside A สารสกัดเหล่านี้จัดเป็นสาร diterpenoid glycoside มีโครงสร้าง backbone (steviol) เหมือนกันแต่ต่างกันที่ตำแหน่งคาร์โบไฮเดรตที่ C13 และ C19 [98] ดังภาพที่ 2.16

สารสกัดจากใบของหญ้าหวานจะมีสัดส่วนของ stevioside 5-10% ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด (total dry weight), rebaudioside A 2-4% ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด, rebaudioside C 1-2% ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด และ ducoside A 0.4-0.7% [99] ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการให้ความหวานของสาร glycoside เหล่านี้กับน้ำตาลซูโครสพบว่า stevioside ให้ความหวาน 300 เท่า, steviobioside ให้ความหวาน 100-250 เท่า rebaudioside A ให้ความหวาน 250-450 เท่า, rebaudioside B ให้ความหวาน 300-350 เท่า, rebaudioside C ให้ความหวาน 50-120 เท่า, rebaudioside D ให้ความหวาน 250-450 เท่า, rebaudioside E ให้ความหวาน 150-300 เท่า และ ducoside A ให้ความหวาน 50-120 เท่าของน้ำตาลซูโครส [100]

Stevioside จะถูก hydrolyzed ด้วยแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหารได้เป็นsteviol และ glucose stevioside [101] นั้นอาจให้รสขมหรือรสชาติที่แปลกได้บ้าง ซึ่งจะถูกแก้ไขได้โดยการใช้เอนไซม์บางชนิดในการสกัด เช่น pullanase, isomaltase, β-galactosidase หรือ dextrin saccharase เป็นต้น [102] ส่วนใหญ่แล้ว stevioside ทั้งในรูปของ stevioside และ stevia extract จะถูกใช้เป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลทั้งในอาหารและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผักดอง อาหารทะเลตากแห้ง ซอสถั่วเหลือง เครื่องดื่ม ลูกอม หมากฝรั่ง โยเกิร์ต ไอศกรีม ยาสีฟันและน้ำยาบ้วนปาก เป็นต้น [103] ในประเทศบราซิล เกาหลีและญี่ปุ่นนั้น stevioside และ stevia extract ได้รับอนุญาตให้เป็น food additive ในขณะที่สหรัฐอเมริกาได้รับอนุญาตให้เป็น food supplement ในขณะที่ปี 2006 องค์กร the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้พิจารณาให้มี stevioside เป็นองค์ประกอบในอาหารและไม่ควรบริโภคเกิน 5.0 mg/kg body weight ต่อวัน (a temporary accepted daily intake หรือ ADI) [104]



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของ Steviol, Stevioside และ Rebaudioside A

ที่มา : World Health Organization (2006)[104]

2.10 เครื่องดื่มผง

การผลิตเครื่องดื่มผงเป็นการนำวัตถุดิบประเภทของเหลวหรือกึ่งเหลวต่างๆ นำมาผ่านกระบวนการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง การผลิตเครื่องดื่มผงในประเทศไทย พบว่าได้รับความสนใจมาก ทั้งนี้เพราะการผลิตเครื่องดื่มที่มีปริมาณความชื้นสูงย่อมเสื่อมคุณภาพได้ง่ายกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ ดังนั้นการทำแห้งหรือการทำให้เป็นผง จึงลดปริมาณความชื้นในอาหารลง ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หลักการทำเครื่องดื่มผงจึงเป็นการทำแห้งอาหารชนิดหนึ่ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะมีลักษณะผง มีการละลายน้ำที่ดี มีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 5 สามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง [105]

ประเภทของเครื่องดื่มผง แบ่งตามกรรมวิธีการผลิตได้ 3 แบบ [106] คือ

1. การผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้แท้ผง ได้จากการสกัดน้ำผลไม้แท้ และนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อฉีดอาหารให้เป็นฝอย และกระทบกับความร้อนทำให้เป็นผง ต่อมามีการพัฒนาไปใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยนำน้ำผลไม้มาแช่แข็ง แล้วอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้เพื่อให้น้ำแข็งในน้ำผลไม้ระเหิดกลายเป็นไอ ส่วนเป็นของแข็งจะคงลักษณะเดิม ดังนั้นผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งจึงมีลักษณะเป็นรูพรุน จึงทำให้กลับคืนรูปเดิมได้ง่าย และเพิ่มการละลายให้มากขึ้นได้ เช่น การผลิตกาแฟผง การผลิตนมผง และน้ำผลไม้ผงต่างๆ ซึ่งวิธีนี้มีการลงทุนค่อยข้างสูง

2. การผลิตเครื่องดื่มผงดัดแปลงหรือเครื่องดื่มกึ่งแท้ผง เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตได้จากการเคลือบสารให้กลิ่นรสลงไปในสารที่เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งนิยมใช้น้ำตาล แป้ง หรือนมผงสารที่นำเคลือบเพื่อให้กลิ่นรสนี้ อาจเป็นสารสังเคราะห์ สารที่สกัดได้จากธรรมชาติ คือ สกัดได้จากผลไม้ และหัวน้ำเชื้อของเครื่องดื่ม การเคลือบสารให้กลิ่นรสลงบนส่วนประกอบหลักทำได้โดยการฉีดสารเคลือบลงบนส่วนประกอบหลัก เพื่อดูดซึมกลิ่นรสน้ำผลไม้ไว้ แล้วจึงนำไปอบแห้ง ซึ่งในขั้นตอนการเคลือบนี้อาจมีการผสมสารให้กลิ่นรสเข้าไปโดยตรง โดยบดละเอียดผสมกับองค์ประกอบผงอื่นๆ เพื่อผลิตเป็นเครื่องดื่มผงตามต้องการ เช่น การผลิตเก๊กฮวยผง และการผลิตเครื่องดื่มขิงผง เป็นต้น

3. การผลิตเครื่องดื่มผงอัดแก๊ส เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตเลียนแบบเครื่องดื่มอัดลม แต่ทำให้ลักษณะผง เป็นเครื่องดื่มที่มีสารโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ เมื่อนำไปละลายน้ำสารนี้จะทำปฏิกิริยากับกรด จะสลายตัวเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดความรู้สึกซ่าได้

ในการผลิตเครื่องดื่มผงให้ได้คุณภาพดีนั้น ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ [107]

1. คุณภาพวัตถุดิบ วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตนั้นมีคุณภาพดี การเตรียมน้ำผลไม้เข้มข้นโดยหม้อต้มระเหยจะต้องระวังเรื่องการสูญเสียกลิ่น และสี โดยทั่วไปสามารถต้มระเหยน้ำผลไม้ที่

อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง โดยไม่สูญเสียกลิ่นและสี หากใช้อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดการสูญเสียกลิ่นได้โดยง่าย การนำน้ำผลไม้ที่เข้มข้นที่สูญเสียกลิ่นแล้วมาอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่ไม่มีกลิ่นเช่นกัน

2. โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ควรมีลักษณะเปิดเป็นรูพรุนแข็งแรงไม่พังง่าย โครงสร้างดังกล่าวจะช่วยให้การกลับคืนรูปเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปเครื่องดื่มผงควรละลายได้ในน้ำเย็นภายในเวลา 1-2 นาที วิธีการที่ใช้อบแห้ง เช่น การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การอบแห้งแบบพัฟ การอบแห้งในรูปของชั้นโฟม และการอบแห้งแบบพ่นฝอย

3. อุณหภูมิอบแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกินไป เพราะจะทำให้คุณภาพเสียหายอันเนื่องจากความร้อน วิธีการหลีกเลี่ยงความเสียหายดังกล่าวอาจทำได้โดยการอบแห้งเป็นหลายช่วง ในช่วงแรกผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูงอยู่ สามารถใช้อุณหภูมิที่ค่อยสูง เมื่อความชื้นลดลงบ้างแล้ว จึงลดอุณหภูมิที่ใช้ต่ำลงตามไปด้วย ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์จะไม่เสียหายเนื่องจากความร้อน และอัตราการอบแห้งยังคงค่อนข้างสูงด้วย

4. การทำให้เกาะกันเป็นก้อนเล็ก เป็นการนำผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดมาทำให้ชื้นเล็กน้อย เพื่อให้ผงขนาดเล็กเหล่านี้เกาะติดกัน ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วนำไปอบแห้งอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ทำให้สามารถกลับคืนรูปได้เร็วขึ้น เนื่องจากได้รับอิทธิพลของคาพิลลารีช่วยให้น้ำเคลื่อนที่ไปตามรูพรุนได้ดี

5. สารที่ใช้เติมลงไป สารที่ใช้เติมลงไปในการผลิตเครื่องดื่มผง อาจแบ่งได้เป็นสารที่ช่วยในการถนอนรักษาคุณภาพ และสารที่ช่วยในการถนอนรักษาคุณภาพ และสารที่ช่วยในการสร้างโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม สารประเภทแรก ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งช่วยในการป้องกันการเปลี่ยนสี การสูญเสียกลิ่น อันเนื่องมาจากความร้อนสูง นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสีและกลิ่นในระหว่างการเก็บรักษาด้วย ส่วนสารประเภทหลัง ได้แก่ อากาศ หรือก๊าซต่างๆ ที่ใช้นการทำโฟม รวมถึงตัวทำให้โฟมมีความคงตัว เช่น alginates, soya protein หรือ glyceryl monostearate เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงที่ดีนั้นควรจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้ [108]

1. ความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร ถ้ามีผิวสัมผัสมากจะดูดน้ำได้ดี เมื่อมีการเติมน้ำลงไป ทำให้เกิดการกระจายตัวในของเหลวได้ง่าย

2. การจมน้ำ เครื่องดื่มผงที่ละลายได้ดี จะมีการจมน้ำได้เร็ว ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นของผง

3. การกระจายตัว เครื่องดื่มผงที่การกระจายตัวดี จะมีการจมน้ำได้ดีแต่หากอาหารรวมกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น ความสามารถในการกระจายตัวอาจลดลงได้

4. ความสามารถละลายน้ำ และอัตราเร็วของการละลายขึ้นอยู่กับลักษณะหรือส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร

นอกจากนี้เครื่องดื่มผงยังมีคุณภาพต่างๆ อีก ได้แก่ ลักษณะของเนื้อสัมผัสซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นก่อนการอัด และความยากง่ายในการคืนรูป ซึ่งองค์ประกอบของอาหารวิธีการทำแห้ง รวมถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส การแปรรูปอาหารที่มีไขมันต่ำ เช่น น้ำผลไม้ มันฝรั่ง และกาแฟ ให้เป็นผงแห้งทำได้ง่ายกว่านมผงที่มีมันเนยหรือสารสกัดจากเนื้อ นอกจากนั้นผิวของผงที่มีไขมันมากจะมีการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า ดังนั้นอาหารที่มีไขมันอาจต้องเติมสารเพิ่มการกระจายตัว เช่น เลซิทินหรือเติมสารเพิ่มความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร แต่อาจทำให้คุณสมบัติของอาหารเปลี่ยนแปลงไป [108]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ข้าวเปลือกไรซ์เบอรี่ ซื้อจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนโรงสีชุมชนของเกษตรกรในอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ข้าวเปลือกไรซ์เบอรี่ถูกนำมาทำความสะอาดโดยการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกก่อนกะเทาะเปลือกออกด้วยเครื่องสีข้าว ยี่ห้อ GreenBee รุ่น NW250 (ประเทศไทย) ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่และเพื่อให้ได้ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่จากนั้นนำไปเก็บใส่ภาชนะปิดสนิทเพื่อรอนำไปทดลองต่อไป

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การศึกษาระยะเวลาในการแช่และการล้างข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ด้วยน้ำสะอาดต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวและข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่หุงสุก

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มาแช่ในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องในอัตราส่วน 1 : 2 (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 กรัม ต่อน้ำ 200 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดจึงทำการแยกน้ำแช่ข้าวออก (น้ำซาวข้าวครั้งที่ 0) ส่วนเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่ถูกนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง (น้ำซาวข้าวครั้งที่ 1) ก่อนนำไปหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวแบบไฟฟ้า ยี่ห้อ OTTO รุ่น CR-100T โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องอัตราส่วน 1 : 2 (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 กรัม ต่อน้ำ 200 มิลลิลิตร) น้ำซาวข้าวครั้งที่ 0 และครั้งที่ 1 รวมทั้งข้าวหุงสุกถูกนำไปวิเคราะห์ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

1. วัดค่าสีของน้ำซาวข้าวและข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma meter รุ่น CX2428 ประเทศญี่ปุ่น บันทึกค่า L* a* b* (ค่า white; L*= 93.55, a*=-1.06, b*= 1.43)

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total solids: TS) ในน้ำซาวข้าว วัดด้วยเครื่องรีเฟกโตมิเตอร์ (Refractometer) ยี่ห้อ Portable รุ่น FG103/113

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่

1. ความเป็นกรดด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Sperscientific รุ่น Benchtopmeter 860031 ประเทศสหรัฐอเมริกา)

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่

1. ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีของ Maizura *et al*. (2011) [109]

2. ฤทธิ์การต้านอนุมูอิสระอนุมูอิสระ โดยวิธีวิเคราะห์ DPPH (2,2 diphenyl-1-picryhydrazyl scavenging activity) ตามวิธีของ Choi *et al*., (2007) [110] โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน

3. ฤทธิ์การต้านอนุมูอิสระโดยวิธีวิเคราะห์ $ABTS^{+}$ ตามวิธีของ Choi *et al.* (2007) [110] โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน

4. ปริมาณแอนโธไซยานิน ด้วยวิธี pH differential ตามวิธีของ Finocchiaro *et al*. (2010) [111]

3.2.2 การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมสารให้ความหวาน

น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้จากการแช่ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง (ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1) ถูกใช้ในการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารให้ความหวาน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส สารให้ความหวานจากหญ้าหวานและซูคราโลส [112] ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่พร้อมดื่ม วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมี 6 สิ่งทดลอง ดังนี้

(1) น้ำตาลซูโครส ที่ร้อยละ 0.012 โดยน้ำหนัก
(2) น้ำตาลซูโครส ที่ร้อยละ 0.014 โดยน้ำหนัก
(3) สตีเวีย ที่ร้อยละ 0.012 โดยน้ำหนัก
(4) สตีเวีย ที่ร้อยละ 0.014 โดยน้ำหนัก
(5) ซูคราโลส ที่ร้อยละ 0.012 โดยน้ำหนัก

(6) ซูคราโลส ที่ร้อยละ 0.014 โดยน้ำหนัก

น้ำซาวข้าวและสารให้ความหวานแต่ละชนิดถูกนำมาตีผสมด้วยเครื่องผสมอาหาร KitchenAid หัวตีตะกร้อ ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 5 นาที จนกระทั่งส่วนผสมเป็นเนื้อเดียว ก่อนทำการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 62.8 – 65.6 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที [112] จากนั้นบรรจุใส่ขวดแก้ว ขนาด 250 มิลลิลิตร และนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมดื่มถูกวิเคราะห์คุณภาพด้านทางกายภาพและเคมี เช่นเดียวกับข้อ 3.2.1 และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับจากผู้บริโภค จำนวน 30 คน ด้วยวิธีการให้คะนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏต่อสายตา สี กลิ่นข้าว รสชาติ ความหวาน และความชอบโดยรวม

3.2.3 การศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอยต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานแบบผงพร้อมชงดื่ม

3.2.3.1 การศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่ม

ศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยส่งผลต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมถึงคุณภาพทางกายและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่ม โดยนำน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการเตรียมในข้อที่ 3.2.2 มาผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 30 และ 40 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมี 4 สิ่งทดลอง ดังนี้

(1) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150 องศาเซลเซียส [113] และปริมาณมอลโต-เดกซ์ตรินร้อยละ 30 [114]

(2) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150 องศาเซลเซียส [113] และปริมาณมอลโต-เดกซ์ตรินร้อยละ 40 [114]

(3) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียส [113] และปริมาณมอลโต-เดกซ์ตรินร้อยละ 30 [114]

(4) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียส [113] และปริมาณมอลโต-เดกซ์ตรินร้อยละ 40 [114]

เมื่อผสมมอลโตเดกซ์ตรินเรียบร้อย นำมาวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total solids: TS) วัดด้วยเครื่องรีเฟกโตมิเตอร์ (Refractometer) ยี่ห้อ Portable รุ่น FG103/113 จากนั้นกำหนดความเร็วลมร้อนเข้าห้องอบแห้ง (Drying chamber) 10.9 เมตร/วินาที [114] และอัตราการป้องสารเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 10.7 มิลลิลิตร/นาที เมื่อได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจึงนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (80 mesh) บรรจุลงในถุงซิป (ขนาด 10×12 เซนติเมตร) (เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27±5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 60±5) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าการละลาย (AL-Kahtani et al., 1990) [115] และร้อยละผลผลิต (%yield)

นำผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอย มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

1. วัดค่าสี โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma meter รุ่น CX2428 แสดงผลเป็นค่า L* a* b* (ค่า white; L*= 93.55, a*=-1.06, b*= 1.43)

2. ตรวจสอบลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS (IT-500HR)) (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (JEOL, JSM-IT-500HR and JEOL, JED-2300)) ที่แรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์

คุณภาพทางเคมี ได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (moisture content) โดยวิธีของ AOAC (2016) [116]

2. ค่า Water Activity (A_W) ด้วยเครื่อง AquaLab 4TE รุ่น S40002573

3. ความเป็นกรดด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Sperscientific รุ่น Benchtopmeter860031 ประเทศสหรัฐอเมริกา)

และการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่

1. ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีของ Maizura *et al*. (2011) [109]

2. ฤทธิ์การต้านอนุมูอิสระ โดยวิธีวิเคราะห์ DPPH (2,2 diphenyl-1-picryhydrazyl scavenging activity) ตามวิธีของ Choi *et al*., (2007) [110] โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน

3. ฤทธิ์การต้านอนุมูอิสระโดยวิธีวิเคราะห์ $ABTS^+$ ตามวิธีของ Choi *et al.* (2007) [110] โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน

4. ปริมาณแอนโธไซยานิน ด้วยวิธี pH differential ตามวิธีของ Finocchiaro *et al*. (2010) [111]

3.2.3.2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อโฟมต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่แบบผงพร้อมชงดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท

ศึกษาปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยนำน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการเตรียมในข้อที่ 3.2.2 มาผสมกับสารก่อโฟม 3 ชนิด คือ Egg albumin, Methyl Cellulose (MC), Methyl Cellulose (MC) ผสมกับ Egg albumin ร้อยละ 2.5, 3 และ 3.5 [117] วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมี 9 สิ่งทดลอง ดังนี้

(1) ใส่สารก่อโฟม Egg albumin ปริมาณร้อยละ 2.5
(2) ใส่สารก่อโฟม Egg albumin ปริมาณร้อยละ 3
(3) ใส่สารก่อโฟม Egg albumin ปริมาณร้อยละ 3.5
(4) ใส่สารก่อโฟม MC ปริมาณร้อยละ 2.5
(5) ใส่สารก่อโฟม MC ปริมาณร้อยละ 3
(6) ใส่สารก่อโฟม MC ปริมาณร้อยละ 3.5
(7) ใส่สารก่อโฟม EA : MC ในอัตราส่วน 1 : 1 ปริมาณร้อยละ 2.5
(8) ใส่สารก่อโฟม EA : MC ในอัตราส่วน 1 : 1 ปริมาณร้อยละ 3
(9) ใส่สารก่อโฟม EA : MC ในอัตราส่วน 1 : 1 ปริมาณร้อยละ 3.5

จากนั้นนำมาตีผสมด้วยเครื่องผสมอาหาร KitchenAid หัวตีตะกร้อ ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปศึกษาความคงตัวของโฟม ทำตามวิธีของ กฤต (2548) [118] ความหนาแน่นของโฟม ทำตามวิธีของ อรทัย (2547) [119] ค่า Overrun ของโฟม ทำตามวิธีของ Kirk and Sawyer (1991) [120] แล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาบดด้วยเครื่อง และนำไปร่อนโดยใช้ชุดตะแกรงมาตรฐานพร้อมเครื่องร่อน (100 Mesh) บรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีผลิตภัณฑ์ที่ได้เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3.1

3.2.3.3 การศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง

นำผลการทดลองที่ดีที่สุดจากข้อที่ 3.2.3.1 และ 3.2.3.2 มาทำการเปรียบเทียบกันทั้งด้านคุณภาพของกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมถึงตรวจสอบลักษณะของอนุภาคผงน้ำ

ซาวข้าวไรซ์เบอรี่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS (IT-500HR)) (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (JEOL, JSM-IT-500HR and JEOL, JED-2300)) ที่แรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์

3.3 วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

3.4 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

ห้องปฏิบัติการผักและผลไม้ อาคารเฉลิมพระเกียรติ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อาคารปฏิบัติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

เริ่มตั้งแต่ ตุลาคม 2560 ถึง มีนาคม 2562

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาระยะเวลาในการแช่และการล้างข้าวด้วยน้ำสะอาด (น้ำซาวข้าว) ต่อปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

4.1.1 การศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่และล้างข้าวด้วยน้ำสะอาดต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีในเมล็ดข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

จากการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวที่ผ่านการแช่และซาวข้าว พบว่าการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ที่เวลา และการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ด้วยน้ำที่ใช้ในการแช่ (ซาวครั้งที่ 0) และน้ำที่สองใช้ในการทำความสะอาด (ซาวครั้งที่ 1) ทำให้ปริมาณฟีนอลิกรวมอยู่ในช่วง 1.26-5.37 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการ DPPH อยู่ในช่วง 0.37-4.64 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการ $ABTS^{+}$ อยู่ในช่วง 8.630-12.111 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม และมีปริมาณแอนโทไซยานิน อยู่ในช่วง 2.97-12.12 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.1) ค่าที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการแช่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระทั้งสองแบบ และปริมาณสารแอนโทไซยานินในข้าวไรซ์เบอรี่ และระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด คือ ระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ที่ 0 ชั่วโมง ยังคงเหลือจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอยู่เมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่มากที่สุด เมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นพบว่าค่าของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wattanakul (2016) ผลของอุณหภูมิในการแช่ต่อการงอกและการปรุงอาหารที่มีต่อ GABA ไทอามีน สารต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวกล้องงอกข้าวนึ่ง พบว่าระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกรวม ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณแอนโทไซยานินลดลง [121] และมีอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงในข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการแช่และซาว เพราะแอนโทไซยานินในข้าวสีนั้นอยู่ในส่วนของแวคิวโอ ซึ่งไม่สร้างพันธะกับผนังเซลล์ทำให้อยู่ในรูปอิสระ ส่งผลให้แอนโทไซยานินเป็นสารละลายน้ำได้ง่าย จึงถูกชะล้างออกไปกับน้ำที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปได้ [122][123] สำหรับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวไรซ์เบอรี่ เมื่อผ่านการแช่และซาวข้าวปริมาณฟีนอลิกมีค่าลดลง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปเซลล์มีทั้งรูปแบบอิสระ (Free form) ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ และแบบไม่อิสระ (Bound form) ซึ่งไม่ละลายในน้ำ โดยส่วนมากมักมีการสร้างพันธะกับสารประกอบอื่น

อยู่รวมกับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบของไกลโคไซด์ หรือจับตัวกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเองหรือสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน แอลคาลอยด์ ลิปิด และเทอร์พีนอยด์ เป็นต้น ดังนั้น การแช่น้ำ หรือการซาวจึงสามารถทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระได้[124]

ผลจากการแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ (ตารางที่ 4.1) พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ข้าว และจำนวนครั้งที่ซาวมากขึ้น ทำให้ค่าความสว่างของข้าวไรซ์เบอรี่ลดลง จากการแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ครั้งที่ 0 และทำการซาวครั้งที่ 1 นั้นทำให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันกับค่าสีแดง ระยะเวลาในการแช่มากขึ้นจำนวนครั้งที่ซาวมากขึ้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของค่าสีเหลือง (b*) ของข้าวไรซ์เบอรี่เมื่อผ่านการแช่และซาวครั้งที่ 0 ลดลงใน 2-4 ชั่วโมงแรก เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 6-8 และลดลงอีกในชั่วโมงที่ 10-12 เช่นกันกับข้าวไรซ์เบอรี่เมื่อผ่านการซาวในครั้งครั้งที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่สม่ำเสมอกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสีในข้าวระหว่างกระบวนการหุงข้าวเพื่อบริโภคนั้น มีปัจจัยที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี เช่น อุณหภูมิน้ำที่ใช้แช่ข้าว ระยะเวลาในการแช่ข้าว ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวก่อนนำมาเข้ากระบวนการหุงข้าว [125][126] จากการศึกษาของ Sareepuang และคณะ (2008) [127] ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำแช่ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำแช่ที่ใช้ในการแช่ข้าวจะทำให้ค่าความสว่าง (Lightness) ของข้าวลดลงแต่ค่าสี (a* และ b*) เพิ่มขึ้น และข้อมูลนี้ยังสอดคล้ายกับงานวิจัยของ Islam และคณะ (2003) [128] นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของระดับสีของข้าวนอกจากเกิดจากเม็ดสีในเปลือกหรือรำข้าวแล้ว ยังมีสาเหตุอื่นที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีในข้าว จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีข้าวในกระบวนการหุงข้าว [129][130][131] ได้รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของสีในข้าวมีสาเหตุมาจากหลักการปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ (Non-Enzymatic Browning Reaction) เกิดขึ้นโดยที่น้ำตาลรีดิวซ์ที่มีในข้าวทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนโปรตีน ซึ่งในช่วงการกะเทาะเปลือกและการเก็บรักษาจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lambert และคณะ (2006) [132] ที่พบว่า ข้าวที่ผ่านการแช่จะมีระดับของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเกิดสีน้ำตาลมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านการแช่

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและค่าสีในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุกที่ผ่านการแช่และล้างด้วยน้ำสะอาด

ตัวอย่าง		ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ				ค่าสี		
ระยะเวลาแช่ข้าว (ชั่วโมง)	น้ำซาวข้าว (ครั้งที่)	ฟีนอลิกทั้งหมด (mg Gallic eq./g)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g) DPPH$^+$	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g) ABTS$^+$	สารแอนโทไซยานิน (mg/g)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีน้ำเงิน (b*)
0	0	5.37±0.31^{Aa}	2.45±1.53^{Bbcd}	10.90±0.88^{Ab}	12.12±0.89^{Aa}	7.27±0.56^{Ad}	9.28±2.27^{Ab}	3.12±1.81^{Aab}
0	1	4.10±0.19^{Bb}	4.64±1.67^{Aa}	12.11±0.86^{Aa}	5.44±0.95^{Bdef}	7.51±2.32^{Ad}	4.79±5.63^{Ac}	-3.83±5.76^{Ac}
2	0	3.48±0.54^{Ac}	2.87±0.08^{Ab}	9.34±0.31^{Ac}	9.18±1.17^{Ab}	5.42±1.06^{Be}	13.95±3.22^{Aab}	-0.70±4.68^{Abc}
2	1	2.57±0.39^{Bef}	1.91±0.02^{Bbcde}	9.00±0.59^{Ac}	5.28±1.59^{Adef}	11.80±1.03^{Aa}	16.93±2.67^{Aa}	-0.02±0.49^{Abc}
4	0	2.99±0.17^{Ade}	2.74±0.06^{Ab}	8.47±0.65^{Ac}	8.85±0.49^{Ab}	3.75±0.47^{Be}	10.99±2.13^{Ab}	-1.13±1.92^{Abc}
4	1	1.70±0.14^{Bgh}	1.54±0.08^{Bcdef}	9.17±0.11^{Ac}	3.31±1.18^{Bfg}	10.53±0.26^{Aab}	13.75±1.67^{Aab}	1.86±2.52^{Abc}
6	0	3.37±0.22^{Acd}	2.76±0.12^{Ab}	9.08±0.76^{Ac}	7.98±2.42^{Abc}	4.69±0.71^{Be}	11.34±2.84^{Ab}	2.42±1.10^{Aab}
6	1	1.52±0.22^{Bgh}	1.49±0.08^{Bcdef}	9.09±0.51^{Ac}	4.28±0.21^{Aefg}	7.75±0.24^{Ad}	12.52±1.79^{Aab}	1.01±1.26^{Abc}
8	0	2.83±0.14^{Aef}	2.56±0.17^{Abc}	9.33±0.43^{Ac}	6.61±1.21^{Acd}	4.41±0.36^{Be}	11.36±2.81^{Ab}	1.31±2.62^{Abc}
8	1	1.96±0.15^{Bg}	1.31±0.19^{Bdef}	9.48±0.80^{Ac}	4.11±1.23^{Aefg}	8.63±0.39^{Acd}	12.42±0.80^{Aab}	-0.51±3.55^{Abc}
10	0	2.94±0.20^{Ade}	1.39±0.15^{Acdef}	8.48±0.45^{Ac}	6.18±0.60^{Acde}	4.92±0.25B^{Be}	10.16±2.95^{Ab}	-0.03±0.51^{Abc}
10	1	1.72±0.23^{Bgh}	1.36±0.08^{Acdef}	8.40±0.48^{Bc}	4.15±1.45^{Bab}	12.16±0.09^{Aa}	13.41±0.71^{Aab}	7.61±2.74^{Aa}
12	0	2.44±0.39^{Af}	0.40±0.41^{Af}	8.63±0.29^{Ac}	7.08±1.12^{Abcd}	4.18±1.21^{e}	12.57±0.89^{Bab}	-0.17±4.59^{Abc}
12	1	1.26±0.05^{Bh}	0.94±0.56^{Aef}	8.79±0.43^{Ac}	2.97±0.81^{Bg}	9.43±1.33^{bc}	13.23±0.99^{Aab}	2.57±0.72^{Aab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แตกต่างกัน แสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างน้ำซาวข้าวครั้งที่ 0 และ ครั้งที่ 1 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกัน แสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างระยะเวลาที่ใช้แช่ข้าว

4.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่และล้างข้าวด้วยน้ำสะอาดต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีในน้ำซาวข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

จากการศึกษาการล้างทำความสะอาดข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมี พบว่า ปริมาณสารฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิกรวม สารต้านอนุมูลอิสระ 2 แบบ $DPPH^+$ และ $ABTS^+$ และปริมาณแอนโทไซยานิน จากการทดลองว่าเวลาในการแช่และจำนวนครั้งในการซาวข้าวมีผลต่อปริมาณสารฤทธิ์ทางชีวภาพที่อยู่ในเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ ซึ่งส่งผลให้สารเหล่านั้นละลายปนมากับน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดข้าว เมื่อทำการแช่ข้าวที่มีสีจะสามารถทำให้ข้าวที่หุงออกมามีความนุ่มน่ารับประทานมากกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการแช่ ตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงผลการแช่ข้าวผ่านไป 12 ชั่วโมง เมล็ดข้าวมีการดูดซึมน้ำกลับในเมล็ดทำให้มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง แต่ไม่สูงเท่ากับข้าวที่ไม่ผ่านการแช่แต่แค่ซาวได้ (ตารางที่ 4.1) ตารางที่ 4.2 แสดงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ อยู่ในช่วง 0.19-2.29 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม, 0.92-3.47 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล๊อกซ์, 0.37-5.37 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล๊อกซ์ และ 0.30-4.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำแช่และน้ำซาวข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้ มีประโยชน์ต่อร่างกายของผู้บริโภค [133] โดยส่วนมากนั้นข้าวที่มีรงควัตถุเด่นและเห็นได้ชัดเจนอย่างข้าวไรซ์เบอรี่ ที่มีลักษะสีม่วงเข้มนั้นมักมีสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ สะสมอยู่ในส่วนของผิวเมล็ดและบริเวณผิวเปลือกจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน และโดยหลักสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ที่มีลักษณะเป็นสีม่วงก็คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งสารเหล่านี้สามารถหลุดหรือละลายในสารละลายที่ขั้วและไม่มีขั้วได้ [134] ทำให้ในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่มีสารฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้ปนออกมาด้วยในช่วงที่มีการแช่และซาว ทั้งนี้น้ำซาวข้าวในการทดลองสามารถนำไปทำให้เกิดประโยชน์ต่อได้เนื่องจากมีงานวิจัยของ วาริช (2549) [135] ได้ศึกษาผลของข้าวที่มีสีแดงและสีดำต่อการอุดตันไขมันในเส้นเลือดของกระต่าย โดยทำเปรียบเทียบกับข้าวขาว พบว่า การอุดตันไขมันในเส้นเลือดของกระต่ายที่กินข้าวแดงมีค่าน้อยกว่ากระต่ายที่กินข้าวขาวถึงร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิด lipid oxidation ในตับของกระต่ายที่กินข้าวแดงลดลง ในทางตรงกันข้ามมีกิจกรรมการต่อต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมของเอนไซม์บ้างชนิดเพิ่มสูงขึ้น และยังช่วยให้มีการสะสมของ HDL ในเลือดของกระต่ายอีกด้วย เพียงงานวิจัยนี้ทำให้เห็นคุณค่าและความสำคัญของข้าวไม่ขัดสีว่ามีคุณประโยชน์มากมาย เหมาะสมกับคนในยุคปัจจุบันนี้อย่างมากที่ประชากรของประเทศกำลังหันมาดูแลสุขภาพมากขึ้น และลดผู้ป่วยในโรคต่างๆลงได้อีกทางโดยการบริโภคอย่างถูกต้องตามหลักโภชนาการ

จากตารางที่ 4.2 จำนวนครั้งในการซาวข้าวและระยะเวลาในการแช่ข้าว ส่งผลต่อค่าสี L*, a* และ b* ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ครั้งที่ 0 ต่อ

ระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในแช่ข้าวแต่ค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้นเมื่อแช่ข้าวที่ 8 ชั่วโมงขึ้นไป ในส่วนของการซาวครั้งที่ 1 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าความสว่าง ส่วนค่าสีแดง (a*) พบว่า เมื่อผ่านการซาวโดยไม่ผ่านการแช่ข้าวมีค่าสีแดงที่สูงและมีสีแดงที่เข้มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ขึ้นเพิ่มมากขึ้น และในชั่วโมงที่ 8 มีค่าติดลบซึ่งเป็นค่าที่เข้าใกล้สีเขียว ทำให้สีของชั่วโมงที่ 8 ของน้ำซาวข้าวที่ 0 มีลักษณะสีที่กึ่งม่วงเขียวกว่าตัวอย่างอื่นๆ เช่นเดียวกันกับน้ำซาวข้าวที่ 1 ค่าสีเหลือง (b*) พบว่ามีแนวโน้มไปทางค่าที่ติดลบที่เป็นสีน้ำเงิน เมื่อซาวข้าวครั้งที่ 1 มีค่าติดลบมากกว่าการซาวข้าวครั้งที่ 0

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำซาวข้าวทั้งสองครั้งและระยะเวลาในการแช่ข้าว พบว่าการซาวโดยไม่ผ่านการแช่โดยน้ำซาวที่ 0 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 4.43 ซึ่งต่างกับน้ำซาวข้าวที่ผ่านการแช่ข้าวที่ชั่วโมงต่างๆ กันมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.99-5.49 จากการใช้น้ำซาวข้าวครั้งที่ 1 กับข้าวที่ไม่ผ่านการแช่ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 7.00 มีค่าเป็นกลาง ในส่วนน้ำซาวข้าวที่ 1 ที่ผ่านการแช่ข้าวกับมีค่าความกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.00-5.69 มีความเป็นกรดอ่อนๆ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ทั้ง 2 ครั้ง และระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่า การซาวข้าวไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ น้ำซาวข้าวที่ผ่านการซาวที่ 2 ชั่วโมง ไม่พบของแข็งที่ละลายน้ำได้ แต่เมื่อผ่านไปที่ชั่วโมงที่ 4 พบว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ที่ 1 องศาบริกซ์ และแช่ข้าวนานขึ้นก็มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ผสมมากับน้ำซาวข้าว

ดังนั้นการซาวและการแช่เป็นระยะเวลานานส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าความเป็นกรด-ด่าง รวมถึงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัย สินีนาฎและคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินและผลของไอออนอะลูมิเนียมต่อเสถียรภาพน้ำเม่า พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเม่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนของสีในตัวอย่างและปริมาณของแอนโทไซยานินลดลงเนื่องจากไม่มีความเสถียรทางโครงสร้างเคมี [136] เช่นเดียวกับน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ค่าสี ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ในน้ำแช่และน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

ตัวอย่าง		ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ				ค่าสี			ความเป็นกรดด่าง	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้
ระยะเวลาแช่ข้าว (ชั่วโมง)	น้ำซาวข้าว (ครั้งที่)	ฟีนอลิกทั้งหมด (mg Gallic eq./g)	สารต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g) DPPH$^+$	สารต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g) ABTS$^+$	แอนโทไซยานิน (mg/L)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีน้ำเงิน (b*)		(องศาบริกซ์)
0	0	0.34±0.01^{Ae}	1.01±0.15^{Ac}	2.37±0.20^{Ad}	0.27±0.21^{Bb}	4.09±0.31^{Bcd}	11.38±6.18^{Aab}	1.06±2.26^{Aab}	4.43±0.07^{Ac}	0.00±0.00^{Af}
0	1	0.19±0.08^{Ae}	0.92±0.52^{Ac}	0.63±0.19^{Be}	1.20±0.96^{Ab}	6.82±1.11^{Aa}	16.28±1.46^{Aa}	6.58±5.63^{Aa}	7.00±1.74^{Aa}	0.00±0.00^{Af}
2	0	2.29±0.11^{Aa}	1.12±0.82^{Bc}	4.53±0.09^{Ac}	3.91±0.36^{Aa}	4.17±0.77^{Acd}	2.29±1.94^{Abc}	-2.54±1.69^{Ab}	4.99±0.12^{Abc}	0.00±0.00^{Af}
2	1	1.45±0.30^{Bd}	2.81±1.10^{Aab}	0.37±0.14^{Be}	0.80±0.36^{Bb}	7.08±1.17^{Aa}	6.93±8.49^{Ab}	-3.42±3.15^{Ab}	5.00±0.98^{Abc}	0.00±0.00^{Af}
4	0	1.60±0.38^{Acd}	1.20±0.25^{Bc}	4.90±0.10^{Ab}	3.71±0.56^{Aa}	3.37±1.91^{Ad}	5.83±3.81^{Abc}	-1.59±6.83^{Ab}	5.12±0.02^{Bbc}	1.00±1.00^{Aa}
4	1	1.63±0.40^{Abcd}	2.60±0.34^{Aab}	0.37±0.11^{Be}	0.94±0.32^{Bb}	6.32±1.20^{Aab}	5.26±9.90^{Abc}	-2.85±2.12^{Ab}	5.66±0.01^{Ab}	0.00±0.00^{Bf}
6	0	1.51±0.25^{Acd}	1.29±0.65^{Ac}	4.72±0.15^{Abc}	4.04±0.57^{Aa}	2.60±1.86^{Bd}	2.58±5.42^{Abc}	-1.38±5.17^{Ab}	5.26±0.03^{Abc}	0.50±0.00^{Ad}
6	1	2.19±0.15^{Aab}	3.47±0.67^{Aa}	0.43±0.03^{Be}	0.64±0.49^{Bb}	6.86±0.41^{Aa}	6.97±3.73^{Ab}	-0.08±2.93^{Aab}	5.45±0.12^{Abc}	0.00±0.00^{Bf}
8	0	1.53±0.09^{Acd}	2.49±0.64^{Aab}	5.37±0.15^{Aa}	4.54±0.78^{Aa}	3.71±1.92^{Ad}	-3.06±6.17^{Ac}	-1.82±9.05^{Ab}	5.31±0.02^{Bbc}	0.40±0.00^{Ae}
8	1	1.74±0.26^{Aabcd}	2.40±0.40^{Aab}	0.51±0.15^{Be}	0.90±0.46^{Bb}	6.44±0.29^{Aab}	6.49±1.70^{Ab}	-2.78±1.80^{Ab}	5.52±0.01^{Ab}	0.00±0.00^{Bf}
10	0	1.64±0.18^{Abcd}	2.65±0.65^{Aab}	4.99±0.32^{Ab}	4.54±0.06^{Aa}	4.52±1.20^{Abcd}	3.69±3.08^{Abc}	-1.81±0.54^{Ab}	5.35±0.01^{Abc}	0.60±0.00^{Ac}
10	1	1.71±0.42^{Aabcd}	2.78±0.54^{Aab}	0.65±0.08^{Be}	0.33±0.80^{Bb}	6.02±0.34^{Aabc}	6.39±0.19^{Ab}	-2.61±1.86^{Ab}	5.69±0.32^{Ab}	0.00±0.00^{Bf}
12	0	1.91±0.24^{Aabcd}	2.37±0.33^{Aab}	4.89±0.38^{Ab}	3.57±0.32^{Aa}	4.36±0.44^{Bbcd}	7.27±2.53^{Ab}	-2.15±5.86^{Ab}	5.49±0.02^{Bb}	0.70±0.00^{Ab}
12	1	2.05±0.69^{Aabc}	2.32±0.49^{Ab}	0.57±0.17^{Be}	0.74±0.31^{Bb}	6.65±0.49^{Aa}	6.44±2.59^{Ab}	-4.59±0.92^{Ab}	5.67±0.01^{Ab}	0.00±0.00^{Bf}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แตกต่างกัน แสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างน้ำซาวข้าวครั้งที่ 0 และ ครั้งที่ 1 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกัน แสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างระยะเวลาที่ใช้แช่ข้าว

4.1.3 การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวและการล้างทำความสะอาดข้าวต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพในข้าวไรซ์เบอรี่หุงสุก

ผลของกระบวนการหุงข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ต่อปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า ข้าวกล้องไรซ์เบอรี่หุงสุกที่ผ่านการแช่ข้าวที่ 0 ชั่วโมง และผ่านการซาวข้าว 2 ครั้ง มีปริมาณฟีนอลิกรวมเท่ากับ 3.19±0.06 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อร้อยกรัม และเมื่อนำข้าวไรซ์เบอรี่ไปแช่เป็นเวลาดังนี้ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำข้าวไรซ์เบอรี่ไปซาวอีก 2 ครั้ง และนำไปหุงให้สุก พบว่าปริมาณฟีนอลิกรวมในเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณลดลงตามระยะเวลาในการแช่ข้าว เท่ากับ 1.39, 0.63, 0.54, 0.90, 0.51 และ 0.79 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อร้อยกรัมตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สารประกอบฟีนอลิกรวมนั้นอาศัยอยู่เซลล์โดยมีรูปแบบแตกต่างกันไปตามโครงสร้างและพันธะต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหุงข้าว โดยระหว่างกระบวนหุงข้าวผ่านทั้งการแช่ข้าว การซาวทำความสะอาด และผ่านความร้อนที่ทำให้ข้าวสุกเพื่อบริโภค ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกนั้นยังอยู่รูปแบบอิสระ (free form) สามารถละลายน้ำได้ ทำให้การแช่ข้าวและจำนวนครั้งในการซาวข้าวมีผลโดยตรงกับฟีนอลิกแบบอิสระสามารถหลุดออกจากผนังเซลล์ของข้าวได้ [124] อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกรวมที่อยู่ในรูปแบบไม่อิสระ (bound form) ไม่สามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากมักมีการสร้างพันธะกับสารประกอบอื่น ซึ่งตรงนี้สลายตัวไป เนื่องมาจากโดนความร้อนจากการทำให้ข้าวสุกโดยเฉพาะการให้ความร้อนแบบมีอากาศยิ่งเร่งการเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบฟีนอลิกรวมได้ [137]

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่หุงสุก ด้วยวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธี ได้แก่ DPPH และ ABTS พบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการ DPPH ของข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ที่ผ่านกระบวนการแช่ตามระยะเวลาที่กำหนดได้แก่ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นซาวข้าว 2 ครั้ง และนำมาหุงให้สุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.30 - 1.74 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องปริมาณฟีนอลิกรวม ข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการแช่ที่เวลา 0 ชั่วโมงมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS มากที่สุด 5.39 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ รองลงมาคือ แช่ที่ 2 ชั่วโมง 5.30 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วย DPPH และ ABTS ผลที่ได้ออกมาอาจไม่ได้สอดคล้องกันทั้งหมด เนื่องจากทั้งสองวิธีนั้นมีกลไกในการทดสอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องใช้ทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน โดยวิธี DPPH เป็นการทดสอบให้การให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ $DPPH^{+}$ มีในธรรมชาติ และวิธี ABTS เป็นการทดสอบความสามารถการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ

$ABTS^{+}$ ไม่มีในธรรมชาติและต้องทำปฏิกิริยาสารประกอบอื่นถึงเป็นอนุมูลอิสระ [138] แต่อย่างไรก็ตาม ทำให้ทราบว่าเวลาในการแช่ข้าวส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS มากกว่า DPPH ยังรวมถึงกระบวนอื่นในกระบวนการหุงข้าวด้วย ซึ่งทั้งสองวิธีเมื่อใช้ประเมินร่วมกันจะทำให้สามารถประเมินกิจกรรมโดยรวมของสารต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [139][140][141]

ผลการตรวจสอบค่าสีของข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ที่หุงสุก พบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวและซาวข้าวมีผลต่อค่าสีที่เกิดขึ้นในเมล็ดของข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ที่นำมาหุงสุก เพื่อบริโภคเมื่อเปรียบเทียบจากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่าข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลานาน มีค่าสีที่มากขึ้นตามระยะเวลาในการแช่ โดยเฉพาะค่า L* ของข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ที่แช่ที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 13.57, 12.97, 12.40, 13.27, 12.02, 14.60, และ 15.25 ตามลำดับ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกันกับค่า a* และค่า b* ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นบางช่วงเวลาและลดลงในบางช่วงเวลาเช่นกัน

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และค่าสีในเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่หุงสุกที่ผ่านการแช่และซาว

ตัวอย่าง	ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ				ค่าสี		
ระยะเวลาแช่ข้าว	ฟีนอลิกทั้งหมด	สารต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g)		แอนโทไซยานิน	ค่าความสว่าง	ค่าสีแดง	ค่าสีน้ำเงิน
(ชั่วโมง)	(mg Gallic eq./g)	$DPPH^+$	$ABTS^+$	(mg/g)	(L*)	(a*)	(b*)
0	3.19 ± 0.06^{a}	1.40 ± 0.47^{a}	5.39 ± 0.04^{a}	1.07 ± 0.50^{b}	13.57 ± 1.37^{bc}	8.14 ± 0.85^{c}	0.61 ± 2.17^{bc}
2	1.39 ± 0.42^{b}	1.50 ± 0.59^{a}	5.30 ± 0.33^{a}	1.20 ± 0.60^{ab}	12.97 ± 0.65^{cd}	11.45 ± 1.51^{bc}	-1.40 ± 3.11^{c}
4	0.63 ± 0.26^{c}	1.30 ± 0.61^{a}	4.73 ± 0.53^{b}	1.10 ± 0.10^{b}	12.40 ± 0.52^{cd}	17.45 ± 1.61^{a}	3.71 ± 2.21^{ab}
6	0.54 ± 0.21^{c}	1.61 ± 0.56^{a}	4.49 ± 0.20^{bc}	1.50 ± 0.63^{ab}	13.27 ± 0.95^{bcd}	11.02 ± 1.48^{bc}	3.73 ± 3.19^{ab}
8	0.90 ± 0.11^{c}	1.55 ± 0.20^{a}	3.81 ± 0.05^{d}	1.37 ± 0.68^{ab}	12.02 ± 0.05^{d}	13.82 ± 4.88^{ab}	-0.08 ± 0.34^{bc}
10	0.51 ± 0.28^{c}	1.62 ± 0.39^{a}	4.38 ± 0.15^{bc}	1.27 ± 0.12^{ab}	14.60 ± 0.15^{ab}	12.89 ± 1.97^{b}	1.58 ± 1.92^{bc}
12	0.79 ± 0.16^{c}	1.74 ± 0.35^{a}	4.18 ± 0.17^{c}	2.20 ± 0.69^{a}	15.25 ± 0.17^{a}	10.52 ± 0.65^{bc}	6.47 ± 1.92^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกัน แสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ระหว่างระยะเวลาที่ใช้แช่ข้าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

4.2 การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

จากข้อ 4.1.2 เลือกน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ 2 ชั่วโมง และซาวครั้งที่ 0 นำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่เสริมสารให้ความหวาน ได้แก่ 1. น้ำตาลทราย 2. สารสกัดจากหญ้าหวาน 3. ซูคราโลส ในปริมาณร้อยละ 0.012 และ 0.014 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมและผู้บริโภคให้การยอมรับ รวมถึงการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานแสดงดังตารางที่ 4.4 เครื่องดื่มที่ได้จากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ซึ่งมีลักษณะปรากฏ มีสีออกม่วงแดงเข้ม ทำให้มีค่าความสว่าง (L*) ต่ำ อยู่ในช่วง 4.46-5.18 ทั้งนี้พบว่าปริมาณน้ำตาลและสารให้ความหวานทั้งสองชนิด ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสว่าง (L*) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง 9.34-2.41 และค่าสีน้ำเงิน (b*) อยู่ในช่วง 4.20-1.43 ทั้งนี้ปริมาณของน้ำตาลและสารให้ความหวานทั้งสองชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนของสีแดงและสีน้ำเงิน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) จากค่าของความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีน้ำเงิน (b*) แสดงว่าอยู่ในเฉดสีม่วงแดง [142] เนื่องจากเครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการเสริมสารให้ความหวานนั้นเป็นน้ำสะอาดที่ใช้เพื่อทำการซาวแล้วนำเอาน้ำซาวมาทำผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง จึงมีค่าเป็นกลาง เทียบเท่ากับ น้ำสะอาดทั่วไป ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.85-7.03 จากผลการทดลองพบว่าชนิดและปริมาณสารให้ความหวานมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อเติมน้ำตาลทราย ที่ร้อยละ 0.012 และ 0.014 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.03 และ 6.95 ตามลำดับ ส่วนการเติมสารสกัดจากหญ้าหวานที่ร้อยละ 0.012 และ 0.014 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.92 และ 6.87 ตามลำดับ และการเติมซูคราโลสที่ ร้อยละ 0.012 และ 0.0.14 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.85 และ 6.88 ตามลำดับ เมื่อเติมสารให้ความหวานทำให้มีค่าความเป็นกรดมากขึ้น ($p\leq0.05$) และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่เป็นน้ำตาลที่ละลายในเครื่องดื่ม อยู่ที่ 1.00-1.25 °Brix ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.4 ค่าสี (L*, a*, b*) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

ตัวอย่าง / ปริมาณที่ใช้ (ร้อยละ)		ค่าสี			ความเป็นกรด-ด่าง	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)
		L*	a*	b*		
ซูโครส	0.012	5.18±1.61[a]	-2.41±0.26 [b]	-1.43±1.23 [c]	7.03±0.01 [a]	1.00±0.00[a]
	0.014	5.11±0.49[a]	5.73±1.21 [a]	-1.42±0.07 [c]	6.95±0.02 [b]	1.20±0.00[a]
สตีเวีย	0.012	4.85±1.58[a]	4.81±0.89 [a]	4.20±0.60 [a]	6.92±0.01 [c]	1.20±0.00[a]
	0.014	4.46±0.75[a]	2.45±0.63 [a]	3.72±1.35 [a]	6.87±0.02 [d]	1.00±0.00[a]
ซูคราโลส	0.012	5.14±0.73[a]	2.36±0.59 [ab]	1.10±0.46 [b]	6.85±0.01 [e]	1.00±0.00[a]
	0.014	4.85±2.07[a]	9.34±2.26 [ab]	3.04±0.45 [a]	6.88±0.01 [d]	1.00±0.00[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

จากเครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการเสริมน้ำตาลทรายและสารให้ความหวานทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในการเสริมน้ำตาลทรายและสารให้ความหวานในผลิตภัณฑ์ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่เสริมน้ำตาลทราย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.012 มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด โดยมีแอนโทไซยานิน ฟีนอลิกรวม และสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่าเท่ากับ 19.638 มิลลิกรัมต่อลิตร, 8.588 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม, 13.464 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม, 4.093 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม ตามลำดับ รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่เสริมหญ้าหวาน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.014 มีค่าเท่ากับ 17.534 มิลลิกรัมต่อลิตร, 8.363 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม, 13.587 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม, 4.252 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินมีความสอดคล้องกับค่าสีที่แสดงในตารางที่ 4.17 มีลักษณะสีม่วงแดง เนื่องจากสารแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีแดงถึงสีม่วง และสามารถละลายได้ดีในน้ำ [143] ทั้งนี้สารให้ความหวานรวมถึงน้ำตาลทราย สารเหล่านี้สกัดออกมาจากพืช ทำให้สารเหล่านี้มีสาร ออก-

ฤทธิ์ทางชีวภาพในตัวเอง ส่งผลให้เมื่อมีการเติมสารจำพวกนี้ลงไปในอาหารทำให้ปริมาณของสาร ออก-ฤทธิ์ทางชีวภาพมีการเพิ่มขึ้น [144][145]

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

ตัวอย่าง / ปริมาณที่ใช้ (ร้อยละ)		ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg/g)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg Gallic eq./g)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g)	
				$DPPH^+$	$ABTS^+$
ซูโครส	0.012	19.64±1.22 [a]	8.59±1.32 [a]	13.46±0.67 [a]	4.09±0.31 [a]
	0.014	9.82±0.27 [d]	7.64±0.16 [ab]	13.76±0.88 [a]	4.02±0.32 [ab]
สตีเวีย	0.012	12.02±1.00 [c]	8.32±0.15 [ab]	11.99±2.12 [ab]	4.52±0.19 [a]
	0.014	17.53±0.10 [b]	8.36±0.14 [ab]	13.59±0.43 [a]	4.25±0.35 [a]
ซูคราโลส	0.012	8.98±0.15 [e]	7.10±0.56 [b]	14.03±0.43 [a]	3.54±0.21 [b]
	0.014	2.87±0.06 [f]	5.09±0.76 [c]	8.03±0.25 [b]	2.32±0.33 [c]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกัน แสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.3 การทดสอบความชอบและการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้ซูคราโลสทดแทนน้ำตาลทรายทั้งหมดร้อยละ 0.014 ได้รับการยอมรับด้าน กลิ่นข้าว รสชาติ ความหวาน ความชอบโดยรวม มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.6) ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ใช้สารซูคราโลสมีคะแนนความชอบด้านสี 6.33 กลิ่นข้าว 6.53 รสชาติ 6.33 ความหวาน 6.34 และความชอบโดยรวม 6.70 ซึ่งผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ วรารัตน์และคณะ (2552) ที่ว่ารสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซูคราโลสจะทำให้มีความหวานคล้ายน้ำตาลมากที่สุด แต่การทดแทนด้วยซูคราโลสอาจทำหน้าที่ได้ไม่เหมือนน้ำตาลทรายทั้งหมด โดยเป็นผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์อ่อนลงอย่างเห็นได้ชัด [146] และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิชญานิน และปุณฑริกา (2558) กล่าวว่า ซูคราโลส มีรสชาติคล้ายคลึงกับน้ำตาลทราย และไม่ทำให้เกิดรสขม หรือเฝื่อนติดปลายลิ้นเหมือนหญ้าหวาน [147]

ตารางที่ 4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

ตัวอย่าง / ปริมาณที่ใช้ (ร้อยละ)		ทดสอบทางประสาทสัมผัส				
		สี	กลิ่นข้าว	รสชาติ	ความหวาน	ความชอบโดยรวม
ซูโครส	0.012	6.27±0.94 [a]	4.90±1.35 [b]	5.20±1.45 [b]	5.20±1.45 [b]	5.53±1.36 [b]
	0.014	6.40±0.77 [a]	5.43±1.38 [b]	5.40±1.38 [b]	5.37±1.33 [b]	5.63±1.35 [b]
สตีเวีย	0.012	6.40±0.93 [a]	6.20±1.24 [a]	6.20±1.21 [a]	6.20±1.21 [a]	6.47±1.46 [a]
	0.014	6.40±0.86 [a]	6.23±1.25 [a]	6.37±1.25 [a]	6.37±1.25 [a]	6.47±1.43 [a]
ซูคราโลส	0.012	6.80±1.00 [a]	6.43±1.57 [a]	6.37±1.75 [a]	6.37±1.75 [a]	6.57±1.62 [a]
	0.014	6.33±1.06 [a]	6.53±1.74 [a]	6.33±1.86 [a]	6.34±1.86 [a]	6.70±1.77 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 การศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและโฟมแมท ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง

4.3.1 การศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่ม

จากข้อ 4.1.2 นำน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ที่ 2 ชั่วโมง และซาวครั้งที่ 0 ทำการผสมกับสารให้ความหวานในข้อ 4.2 คือซูคราโลส ปริมาณร้อยละ 0.014 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงนำไปทำผง

4.3.1.1 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการละลาย และร้อยละผลผลิต

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณของมอลโตเดกซ์ตรินที่มีผลต่ออัตราการละลาย และร้อยละผลผลิต ของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า อัตราการละลายมีค่าอยู่ในช่วง 1.14-1.86 นาที ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณของมอลโตเดกซ์ตรินที่เติมลงไป ส่งผลให้อัตราการละลายมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ 170 และใช้ปริมาณของมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 40 มีอัตราการละลายที่ดีสุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้กับร้อยละผลผลิต พบว่าปริมาณของมอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวกำหนดปริมาณร้อยละผลผลิต ซึ่งมีค่าร้อยละการผลิตอยู่ในช่วง 22.73-27.32 และค่าของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 23.3-29.3 °Brix มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินค่าทั้งสอง มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของการทำแห้งแบบพ่นฝอยในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (เปอร์เซ็นต์)	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	อัตราการละลาย (นาที)	ร้อยละผลผลิต
150	30	23.40±0.30 ^{b}	1.86±0.33 ^{a}	22.73±0.12 ^{d}
	40	29.30±0.20 ^{a}	1.32±0.12 ^{ab}	27.32±0.03 ^{a}
170	30	23.30±0.20 ^{b}	1.84±0.48 ^{a}	23.07±0.02 ^{c}
	40	29.30±0.20 ^{a}	1.14±0.03 ^{b}	26.30±0.10 ^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.1.2 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าและปริมาณของมอลโตเดกซ์ตรินที่มีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระในอาหารและค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการทำแห้งของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าที่เพิ่มมากขึ้นมีผลให้ความชื้นของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่มีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เนื่องมาจาก การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิตัวกลางและอนุภาคของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่มีค่ามาก อัตราการถ่ายโอนความร้อนจึงเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นในอนุภาคของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ลดลง [148] ส่วนปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่มากขึ้นส่งผลให้ผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีความชื้นมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในห้องอบแห้งมากขึ้น การสัมผัสกันระหว่างละอองน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่และมอลโตเดกซ์ตรินกับอากาศลมร้อนขาเข้าในการอบแห้งจึงไม่ทั่วถึง ความชื้นในผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โดยทั่วไปยังพบว่า การเพิ่มมอลโตเดกซ์ตรินส่งผลให้ละอองของผลิตภัณฑ์ มีขนาดใหญ่ซึ่งอาจ

เป็นเหตุให้หยดละอองผลิตภัณฑ์มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสอากาศร้อนลดลงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง [10] เมื่อเปรียบเทียบความชื้นของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 30 มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดร้อยละ 2.80 รองลงมาคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 30 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.94 ส่วนของปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ร้อยละ 40 ทั้งสองอุณหภูมิ มีค่าความชื้นที่สูงแต่อยู่ในมาตราฐานอาหารผง

ส่วนปริมาณน้ำอิสระของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่างๆ พบว่าอยู่ในช่วง 0.10-0.16 ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัยสำหรับผลิตภัณฑ์ผง [149] และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำอิสระมาก โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินจะทำให้ผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เมื่อละลายน้ำแล้ว พบว่า ผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 30 มีค่าความเป็นกรดที่ 4.28 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามากขึ้นและเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ค่าความเป็นกรดเพิ่มตามอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินจึงทำให้ทราบว่าอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ
150	30	4.28±0.07 ^{c}	2.94±0.01 ^{b}	0.11±0.01 ^{d}
	40	4.22±0.01 ^{d}	3.64±0.20 ^{a}	0.12±0.01 ^{c}
170	30	4.53±0.01 ^{b}	2.80±0.05 ^{b}	0.13±0.01 ^{b}
	40	4.71±0.01 ^{a}	3.81±0.02 ^{a}	0.17±0.01 ^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.1.3 ผลของการวิเคราะห์คุณภาพทางคุณลักษณะทางกายภาพ เคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงที่ผ่านอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่มีต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์พบว่า ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่า L* น้อยที่สุดและ a*, b* มาก (ตารางที่ 4.9 และ 4.10) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานิน (ตารางที่ 4.11) คือ เมื่อมีแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสีม่วงแดงในปริมาณมาก ค่าความสว่างก็จะมีค่าน้อย (ค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 0) มีค่าแดงมากขึ้น (ค่า a* มีค่าเข้าใกล้ +100) และน้ำเงินก็จะเพิ่มขึ้น (ค่า b* มีค่าเข้าใกล้ -100) อย่างไรก็ดีพบว่าค่าสี a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าสี L* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และเมื่อนำผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ไปละลายและนำมาวัดค่าสีอีกพบว่าเป็นตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งค่าสี L*, a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อค่าสีในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เติมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 แบบผง

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน	ค่าสีผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เติมซูคราโลส ร้อยละ 0.014		
องศาเซลเซียส	เปอร์เซ็นต์	L*	a*	b*
150	30	66.83±0.02 ^{c}	10.06±0.11 ^{a}	10.21±0.11 ^{a}
	40	67.84±0.07 ^{b}	8.46±1.79 ^{a}	11.21±1.65 ^{a}
170	30	68.10±0.09 ^{a}	9.86±0.46 ^{a}	9.56±0.31 ^{a}
	40	68.25±0.15 ^{a}	10.26±1.01 ^{a}	9.27±1.35 ^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อค่าสีในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 แบบละลายนน้ำ

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน	ค่าสีน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014		
องศาเซลเซียส	เปอร์เซ็นต์	L*	a*	b*
150	30	6.97±0.89 [a]	7.11±2.66 [a]	-2.60±1.57 [a]
	40	5.49±0.86 [a]	9.21±4.01 [a]	-3.57±0.26 [a]
170	30	7.19±1.57 [a]	6.19±0.63 [a]	-3.37±1.94 [a]
	40	7.02±0.13 [a]	9.17±0.42 [a]	-3.34±1.87 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ คือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้จากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ฟีนอลิก (Phenolic) แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งจะให้สีที่มีลักษณะม่วงแดง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การตรวจสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ Trolox Equivalent Antioxidant capacity Assay: TEAC โดยใช้ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl ($DPPH^+$) และ Trolox Equivalent Antioxidant capacity Assay: TEAC โดยใช้ 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS+ Assay) เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 30 มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด แอนโทไซยานิน ฟีนอลิกรวม และสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่าเท่ากับ 1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.17 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม, 5.54 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล๊อกซ์ต่อกรัม, 0.86 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล๊อกซ์ต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014

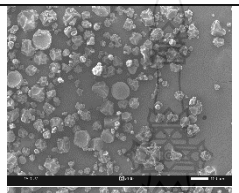
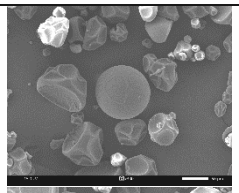
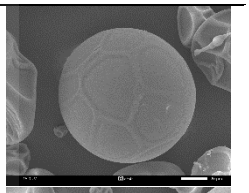
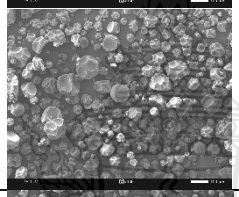
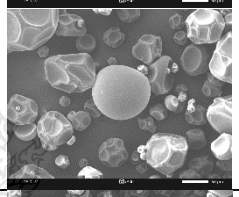
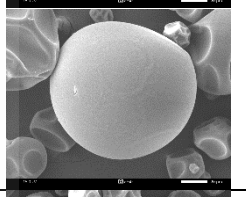
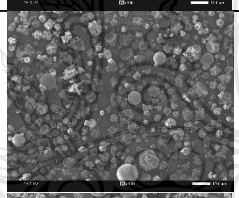
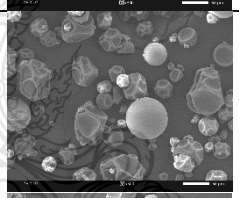
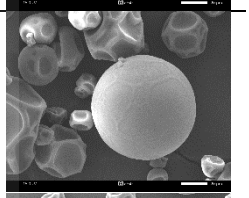
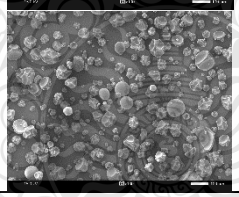
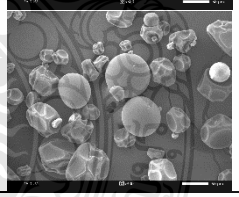
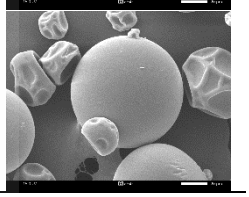
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน	ปริมาณสารแอนโทไซยานิน	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g)	
องศาเซลเซียส	เปอร์เซ็นต์	(mg/g)	(mg Gallic eq./g)	DPPH	$ABTS^+$
150	30	1.80±0.36	0.17±0.07	5.54±0.53	0.86±0.13 [a]
	40	1.34±0.25	0.05±0.02	4.88±1.04	0.73±0.10 [a]
170	30	1.57±0.46	0.13±10.09	4.08±0.58	0.74±0.17 [a]
	40	1.50±0.27	0.07±0.05	4.06±1.12	0.44±0.07 [b]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.1.4 ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงที่ผ่านอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน

การศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่มีต่อโครงสร้างภายนอกของผงแห้งที่เตรียมได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทั้งสองอุณหภูมิ พบว่า โครงสร้างภายนอกของผงแห้งที่ได้เป็นลักษณะทรงกลมดังตารางที่ 4.12 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenberg และคณะ (1990) [150] และ Loksuwan และคณะ (2007) [151] กล่าวคือการที่อนุภาคมีลักษณะดังกล่าวนั้นเกิดจากการหดตัวของอนุภาคเนื่องมาจากการระเหยของน้ำในขั้นตอนการอบแห้ง จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภายนอกของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานซูคราโลสที่มีปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินแตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าอนุภาคที่มีลักษณะเป็นทรงกลมกลวง และแสดงถึงการฝังตัวของหยดน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผนังของสารมอลโตเดกซ์ตริน ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดลักษณะดังกล่าวได้ดังนี้คือขั้นตอนการทำแห้งอุณหภูมิภายในของหยดละอองฝอยจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำทำให้น้ำที่อยู่ภายในเกิดการกลายเป็นไอและไม่สามารถแพร่ออกมาสู่ภายนอกได้ เนื่องจากผิวของอนุภาคนั้นเริ่มแห้ง จึงรวมตัวเกิดเป็นฟองอากาศอยู่ภายในผงอนุภาค และเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นร่วมถึงอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าที่เพิ่มมากขึ้น พบว่าความหนาของชั้นเปลือกจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากทั้งสองปัจจัยมีการเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งเกิดอย่างรวดเร็ว และเกิดการแข็งตัวของอนุภาคอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 4.12 ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 40 และ 50 อุณหภูมิร้อนลมขาเข้า 170 และ 150 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า องศาเซลเซียส	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน เปอร์เซ็นต์	ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014		
		100X	350X	750X
150	30			
	40			
170	30			
	40			

4.3.2 การศึกษาปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท

จากข้อ 4.1.2 นำน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ที่ 2 ชั่วโมง และซาวครั้งที่ 0 ทำการผสมกับสารให้ความหวานในข้อ 4.2 คือซูคราโลส ปริมาณร้อยละ 0.014 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงนำไปทำผง

4.3.2.1 ผลของปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของการทำแห้งแบบโฟมแมทของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

ผลของการศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อโฟมในการผลิตผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ โดยการใช้สารก่อโฟม 2 ประเภท ได้แก่ Egg albumin (EA) และ Methocel (MC) ในปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 นอกจากนี้ยังมีการใช้สารผสมEgg albumin และ Methocel (EA:MC) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 [117]

จากการตรวจสอบคุณภาพของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่โดยวิธีการอบแห้งแบบโฟมแมท (ตารางที่ 4.13) พบว่า EA มีความสามารถในการละลายที่เร็วกว่า MC และ EA:MC อาจเนื่องมาจาก MC มีสายโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก มีคุณสมบัติที่สามารถกระจายตัวได้ดีในความร้อน เมื่อละลายโดยใช้ความร้อนจึงทำให้ MC ละลายได้เร็ว เพราะฉะนั้น MC จึงมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ไม่ดี แต่สามารถกระจายตัวและละลายได้ดีในน้ำร้อน จึงสามารถละลายได้เร็วกว่า และ MC สามารถทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีช่วยให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น เมื่อนำไปอบแห้ง MC จะช่วยพยุงโครงสร้างของโฟมไว้ไม่ให้ฟองอากาศเกิดการยุบตัวลง [119] โฟมที่อบแห้งแล้วจึงมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ซึ่งน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในรูพรุนได้จึงสามารถละลายได้อย่างรวดเร็ว

จากการศึกษาค่าร้อยละการขึ้นฟู (Overrun) พบว่า การขึ้นฟู ของ EA, EA:MC และ MC ปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 มีค่าร้อยละการขึ้นฟูอยู่ในช่วง 10.0 ถึง 388.3 (ตารางที่ 4.13) เห็นได้ว่า EA:MC ในทุกร้อยละการขึ้นฟูอยู่ในช่วงร้อยละ 173.3 ถึง 388.3 และมีค่าร้อยละการขึ้นฟูสูงสุด เนื่องจาก EA:MC มีการผสมผสานระหว่าง EA ที่ช่วยในการขึ้นฟู ส่วนของ MC มีคุณสมบัติในการยึดเกาะ และช่วยให้อิมัลชั่นคงตัว และ MC เป็นกัม (Gum) มีคุณสมบัติเป็นเจล (Gel) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว และเกิดสภาพฟิล์มในอาหารได้ ทำให้มีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้เกิดโฟมและความคงตัวในอาหารที่ต้องการทำแห้งแบบโฟมแมท [152] ด้วยคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผลผลิตของสารก่อโฟม MC มีค่าร้อยละของผลผลิตสูงที่สุด (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้สารก่อโฟมชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง		การขึ้นฟู (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที)	การละลาย (นาที)	ร้อยละการผลิต
ไข่ขาวผง (EA)	2.5	10.0±5.0 ^{g}	8.4±0.1 ^{f}	8.8±0.4 ^{f}	2.94±0.30 ^{h}	7.03±0.20 ^{bc}
	3	110.0±10.0 ^{f}	8.9±0.2 ^{f}	12.4±0.4 ^{c}	4.24±0.18 ^{g}	4.54±0.36 ^{g}
	3.5	209.2±8.8 ^{d}	6.4±0.1 ^{g}	10.5±0.3 ^{d}	5.88±0.32 ^{f}	9.79±0.33 ^{a}
เมลโธเซล (MC)	2.5	270.0±10.1 ^{c}	29.2±0.1 ^{d}	10.8±0.6 ^{d}	42.36±0.17 ^{c}	6.52±0.22 ^{de}
	3	275.0±2.5 ^{c}	31.5±0.1 ^{c}	10.6±0.6 ^{d}	41.43±0.78 ^{b}	6.71±0.26 ^{cd}
	3.5	310.8±11.3 ^{b}	26.4±0.3 ^{e}	9.7±0.2 ^{e}	43.39±0.77 ^{a}	7.48±0.32 ^{b}
EA : MC (1:1)	2.5	388.3±10.4 ^{a}	24.7±0.6 ^{e}	10.7±0.8 ^{d}	13.31±0.21 ^{e}	6.23±0.22 ^{def}
	3	173.3±20.8 ^{e}	45.5±3.1 ^{a}	14.9±0.2 ^{a}	19.56±0.38 ^{d}	5.81±0.31 ^{f}
	3.5	277.8±11.5 ^{c}	33.8±0.5 ^{b}	13.9±0.3 ^{b}	18.82±0.51 ^{d}	6.15±0.20 ^{ef}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความหนาแน่น (Density) ของโฟม EA, EA:MC และ MC ในปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 มีค่าอยู่ในช่วง 8.4 ถึง 45.5 กรัมต่อมิลลิลิตร โฟมที่ได้จาก EA:MC ฟองอากาศที่ได้จะไม่ยุบตัวทำให้ความหนาของโฟมมีค่าสูง ค่าการขึ้นฟูของโฟมที่สูงแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บอากาศในโฟมมากขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความหนาแน่นปริมาณการแยกตัวของของเหลว (Stability) มีความสัมพันธ์กัน โดยโฟมที่มีความหนาแน่นน้อย มีปริมาณการแยกตัวของของเหลวต่ำ ซึ่งแสดงว่าโฟมนั้นมีความคงตัวสูงและมีค่าการขึ้นฟู (Overrun) สูง เนื่องจากโฟมที่มีค่าความหนาแน่นต่ำนั้นหมายถึงฟิล์มของโฟมมีความสามารถในการอุ้มอากาศไว้ในฟิล์มได้มาก [153] ตามตารางที่ 4.13

ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.24 ถึง 6.85 (ตารางที่ 4.14) ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ว่า เมื่อนำผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่มาละลายน้ำและวัดค่าความเป็นกรดด่างจะอยู่ในช่วงเดียวกันกับน้ำเปล่า (pH 6.4-7.4) เนื่องจากผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ไม่มีสารที่มีความเป็นกรดเติมลงไปเลย เช่นเดียวกันกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total solids: TS) ของโฟม EA, EA:MC และ MC ปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 มีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.26) โดยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.9 ถึง 3.5 °Brix

ตารางที่ 4.14 ผลของชนิดและร้อยละของสารก่อโฟมต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของสารก่อโฟมในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

ตัวอย่าง		ความเป็นกรด-ด่าง	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	ปริมาณความชื้น	ปริมาณน้ำอิสระ
			(°Brix)	(% d.b.)	
ไข่ขาวผง (EA)	2.5	6.61±0.11 ^{b}	3.1±0.1 ^{bc}	4.36±0.02 ^{f}	0.31±0.01 ^{e}
	3	6.85±0.14 ^{a}	3.2±0.1 ^{b}	4.60±0.15 ^{e}	0.29±0.00 ^{f}
	3.5	6.71±0.07 ^{ab}	3.5±0.1 ^{a}	3.31±0.22 ^{g}	0.26±0.01 ^{g}
เมลโธเซล (MC)	2.5	6.32±0.09 ^{c}	3.5±0.1 ^{a}	6.43±0.02 ^{d}	0.60±0.01 ^{a}
	3	6.74±0.10 ^{ab}	3.1±0.1 ^{b}	6.64±0.11 ^{c}	0.61±0.01 ^{a}
	3.5	6.77±0.06 ^{ab}	2.9±0.1 ^{c}	6.49±0.05 ^{cd}	0.51±0.01 ^{b}
EA : MC (1:1)	2.5	6.70±0.19 ^{ab}	2.9±0.2 ^{c}	8.29±0.04 ^{b}	0.47±0.01 ^{c}
	3	6.24±0.12 ^{c}	2.9±0.2 ^{c}	8.25.0.16 ^{b}	0.43±0.01 ^{d}
	3.5	6.84±0.09 ^{a}	3.1±0.1 ^{bc}	8.51±0.07 ^{a}	0.44±0.01 ^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณความชื้น (Moisture content) และค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (Water activity: a_w) ของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงเปรียบเทียบผลระหว่าง EA, MC และ EA:MC ที่เติมในปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 จะเห็นว่า MC มีค่าปริมาณความชื้นมากกว่า EA เนื่องมาจากในขั้นตอนการตีโฟมของ MC โฟมที่ได้มีลักษณะเป็นฟองละเอียดและรูพรุนจำนวนมาก เมื่อนำออกจากเตาอบสู่บรรยายกาศภายนอกที่มีความชื้นสูง ส่งผลให้อากาศแทรกเข้าไปในโมเลกุลของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง จึงทำให้ผงที่ทำจากสารก่อให้เกิดโฟม MC เกิดการดูดความชื้นกลับรวมถึงปริมาณน้ำอิสระในอาหาร [154]

ผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้จากการผลิตโดยวิธีการอบแห้งแบบโฟมแมท นำมาวัดค่าสี พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) EA MC และ EA:MC มีค่าอยู่ในช่วง 38.91-43.02, 48.03-53.98 และ 36.55-50.11 ตามลำดับ มีค่าสีเขียว (+a*) จนถึงสีแดง (-a*) EA MC และ EA:MC มีค่า 10.59-12.17, 11.62-12.18 และ 11.55-12.81 ตามลำดับ มีค่าสีน้ำเงิน (+b*) จนถึงสีเหลือง (-b*) EA MC และ EA:MC มีค่า 14.18-15.67, 6.61-7.13 และ 8.81-18.04 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15, 4.16)

ตารางที่ 4.15 ผลของสารก่อโฟมต่อค่าสีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง

ตัวอย่าง		ค่าสีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง		
		L*	a*	b*
ไข่ขาวผง (EA)	2.5	38.91±0.34^{h}	12.17±1.15^{ab}	14.18±1.50^{c}
	3	40.27±0.40^{g}	11.99±0.25^{ab}	15.67±0.64^{b}
	3.5	43.02±0.02^{f}	10.59±0.28^{c}	14.82±0.24^{bc}
เมลโธเซล (MC)	2.5	48.03±0.19^{d}	11.62±0.45^{b}	6.61±0.47^{f}
	3	51.91±0.05^{b}	12.18±0.16^{ab}	7.13±0.23^{f}
	3.5	53.98±0.37^{a}	11.71±0.46^{b}	7.24±0.13^{f}
EA : MC (1:1)	2.5	36.55±0.12^{i}	12.81±0.58^{a}	18.04±0.29^{a}
	3	47.01±0.17^{e}	11.44±0.30^{bc}	11.50±0.79^{d}
	3.5	50.11±0.02^{c}	11.46±0.53^{bc}	8.81±0.11^{e}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้น จากการวัดค่าสี L* a* และ b* ของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่าสารก่อโฟม EA:MC ที่ปริมาณร้อยละ 2.5 มีลักษณะเป็นสีม่วงเข้ม รองลงมาคือ สารก่อโฟม EA ที่ปริมาณร้อยละ 2.5 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าสีของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ที่ละลายน้ำแล้ว พบว่า สารก่อโฟม MC มีค่า L* ที่มีลักษณะเป็นสีเข้มมากกว่าสารก่อให้เกิดโฟมชนิดอื่น ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า a* ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องมาจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่มีลักษณะเป็นสีม่วงออกแดงทำให้เมื่อละลายแล้วค่า a* จึงมีค่าที่น้อยเช่นเดียวกันกับค่า b* ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ผลของสารก่อโฟมต่อค่าสีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงละลายน้ำ

ตัวอย่าง		ค่าสีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงละลายน้ำ		
		L*	a*	b*
ไข่ขาวผง (EA)	2.5	4.93±0.57^{ab}	4.06±3.83 ^{a}	2.32±3.07^{a}
	3	4.50±0.34^{ab}	2.10±0.72 ^{a}	2.92±1.57^{a}
	3.5	5.19±0.81^{ab}	6.22±2.28 ^{a}	-0.81±1.65^{ab}
เมลโธเซล (MC)	2.5	4.68±1.76^{ab}	5.49±2.77 ^{a}	-1.11±1.83^{ab}
	3	3.36±0.96^{b}	5.50±2.76 ^{a}	-1.19±3.66^{ab}
	3.5	2.98±0.57^{a}	3.21±2.94 ^{a}	-4.61±4.53^{b}
EA : MC (1:1)	2.5	3.92±0.75^{ab}	2.73±3.44 ^{a}	-0.57±1.62^{ab}
	3	4.19±0.36^{ab}	4.68±2.36 ^{a}	-3.85±3.37^{b}
	3.5	4.55±1.34^{ab}	3.87±2.59 ^{a}	-1.91±3.14^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2.2 ผลของปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท

สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินพบว่าเมื่อใช้สารเกิดโฟม EA, EA:MC และ MC ปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 ปริมาณแอนโทไซยานินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.28) แต่เมื่อพิจารณาที่ชนิดและปริมาณของสารก่อโฟม พบว่า สารก่อให้เกิดโฟมชนิด EA:MC และ EA ปริมาณร้อยละ 3 และ 2.5 สามารถเก็บกักปริมาณแอนโทไซยานินได้มากกว่า เนื่องจากผลการเจือจาง (dilution effect) ในระหว่างทำให้เกิดโฟมมีเพิ่มแรงในการตีส่งผลให้เกิดความหนาแน่นมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Souza et.al. (2014) [155] ที่ระบุว่าการเติมสารก่อโฟมหรือสารตัวพาในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลผลิตมากขึ้นทำให้อัตราส่วนของสารสำคัญถูกเฉลี่ยให้ลดลง

ตารางที่ 4.17 ผลของชนิดและปริมาณสารก่อโฟมต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

ตัวอย่าง		ปริมาณสารแอนโทไซยานิน	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mg Trolox eq./g)	
		(mg/L)	(mg Gallic eq./100g)	$DPPH^+$	$ABTS^+$
ไข่ขาวผง (EA)	2.5	5.98±0.63 ^{a}	4.66±0.03 ^{b}	9.24±0.31 ^{a}	1.20±0.01 ^{a}
	3	4.78±0.70 ^{ab}	4.44±0.13 ^{c}	8.81±0.19 ^{b}	1.12±0.08 ^{a}
	3.5	2.77±0.81 ^{cd}	4.18±0.12 ^{d}	7.17±0.30 ^{d}	0.83±0.13 ^{bc}
เมลโธเซล (MC)	2.5	3.17±0.87 ^{cd}	4.71±0.09 ^{b}	8.61±0.04 ^{bc}	1.17±0.20 ^{a}
	3	2.70±0.87 ^{cd}	4.67±0.20 ^{b}	8.39±0.04 ^{c}	0.94±0.06 ^{ab}
	3.5	1.87±0.45 ^{d}	3.75±0.08 ^{e}	6.21±0.12 ^{e}	0.67±0.11 ^{bcd}
EA : MC (1:1)	2.5	4.11±0.99 ^{bc}	4.85±0.01 ^{b}	1.77±0.30 ^{h}	0.53±0.18 ^{d}
	3	2.97±0.85 ^{cd}	4.10±0.05 ^{d}	3.95±0.30 ^{g}	0.59±0.29 ^{cd}
	3.5	3.17±0.76 ^{cd}	6.17±0.10 ^{a}	4.96±0.18 ^{f}	0.78±0.09 ^{bcd}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

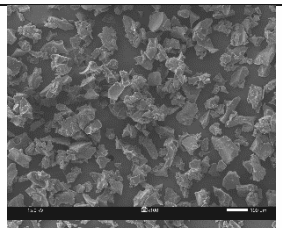
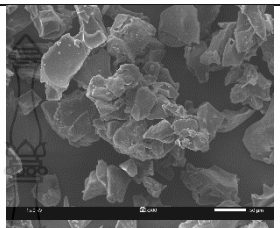
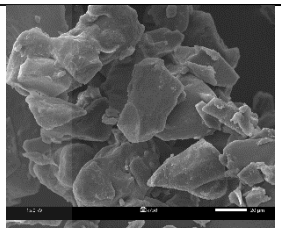
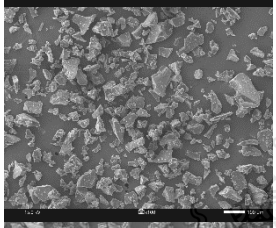
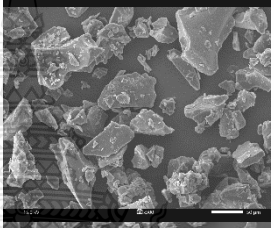
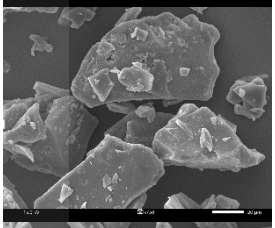
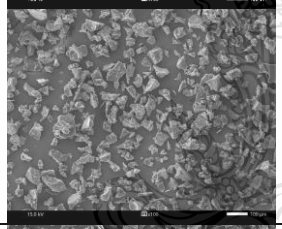
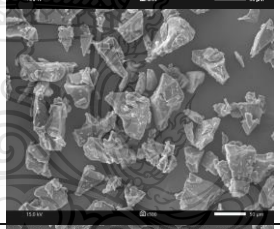
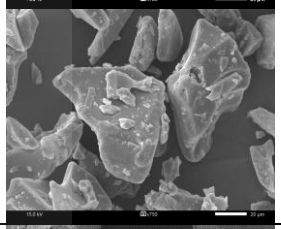
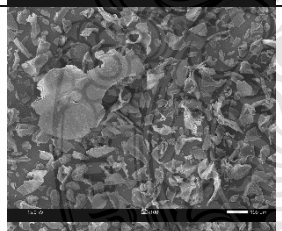
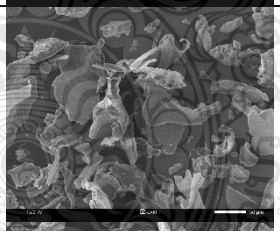
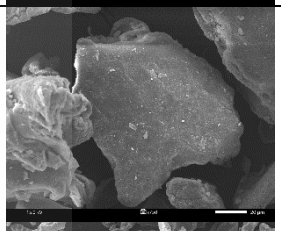
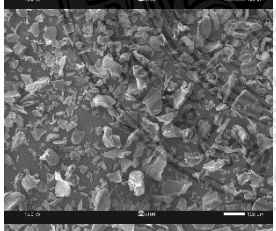
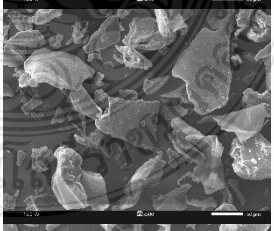
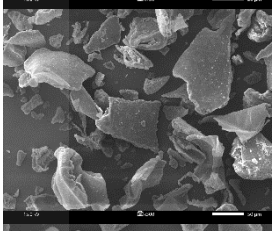
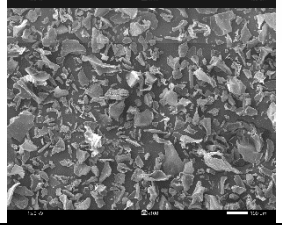
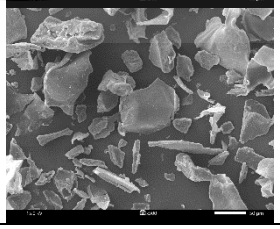
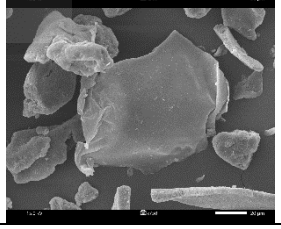
ในส่วนของปริมาณสารประกอบฟีนอลของสารก่อโฟม EA, EA:MC และ MC ปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 มีปริมาณที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คืออยู่ในช่วง 3.75±0.12 ถึง 6.17±0.10 mg Gallic eq./100g จากการเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูอิสระสองวิธีคือ แบบ $DPPH^+$ และ $ABTS^+$ พบว่าสารก่อโฟม EA, EA:MC และ MC ปริมาณร้อยละ 2.5, 3.0 และ 3.5 มีปริมาณที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจาก $DPPH^+$ และ $ABTS^+$ เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร โดยอนุมูล $DPPH^+$ เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วง อยู่ในรูปของอนุมูลอยู่แล้ว ไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลเหมือนกับกรณี $ABTS^+$ โดยเป็นการวัดความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเป็นวิธีเบื้องต้นที่นิยมใช้ในการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระโดยทั่วไปส่วนการทดสอบฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกซี เนื่องจาก $ABTS^+$ เป็นอนุมูลอิสระที่สลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซี ซึ่งการทดลองทั้งสองวิธีนี้ทำปฏิกิริยาในตัวกลางที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Solvent) [156][157] ซึ่งจากการทดลองพบว่า EA ที่ปริมาณร้อยละ 2.5 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดทั้งสองค่า คือ $DPPH^+$ และ $ABTS^+$ มีค่า 9.24±0.31 และ 1.20±0.01 mg Gallic

eq./100g ตามลำดับ เนื่องจากสภาวะในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ [158][159]

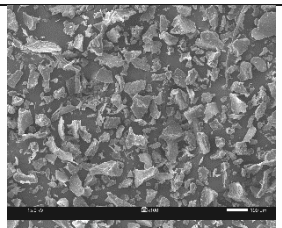
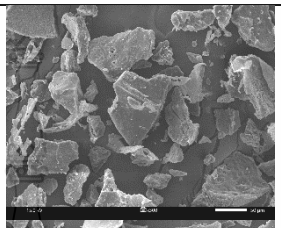
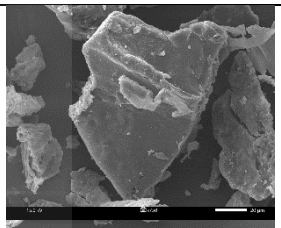
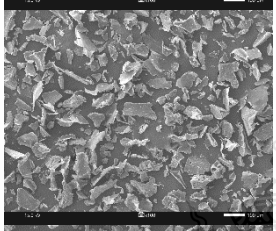
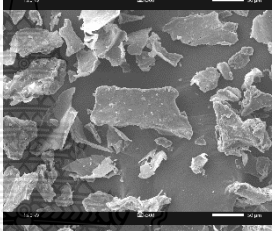
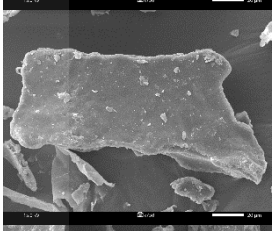
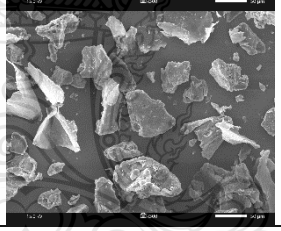
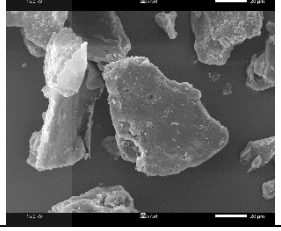
4.3.2.3 ผลของปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท

การศึกษาผลของปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมที่มีต่อโครงสร้างภายนอกของผงอบแห้งของน้ำซาวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส 0.014 ที่เตรียมได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า โครงสร้างภายนอกของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส 0.014 ที่ได้เป็นลักษณะเกล็ดสี่เหลี่ยม พื้นผิวของอนุภาคบางส่วนมีลักษณะเรียบและบางส่วนมีลักษณะเป็นหลุมโดยรอบอนุภาคสำหรับทุกชนิดสารก่อโฟมและปริมาณของสารก่อโฟม ดังตารางที่ 4.18 เมื่อพิจารณาผลของชนิดของสารก่อโฟมมีผลทำให้ขนาดอนุภาคและรูปร่างของอนุภาคแตกต่างกัน เนื่องจากชนิดก่อโฟมแต่ละชนิดมีโครงสร้างของอนุภาคที่แตกต่างกันตามลักษณะของโครงสร้างเคมี โดยสารก่อโฟมชนิดของไข่ขาวผงจะมีขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคที่เล็กและเรียบกว่าสารก่อโฟมชนิดเมลโธเซลที่ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่าและมีพื้นผิวของอนุภาคเป็นหลุมไม่เรียบ เนื่องจากเมทโธเซลเป็นสายโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักแต่ไข่ขาวผงนั้นมีองค์ประกอบหลักเป็นโปรตีน [79][87] ส่งผลทำให้โครงสร้างภายนอกของสารก่อโฟมทั้งสองแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารก่อโฟมที่มีการผสมกันระหว่างสารก่อโฟมไข่ขาวผงและเมทโธเซลที่ปริมาณต่างๆ พบว่า ขนาดของอนุภาคใกล้เคียงกับสารก่อโฟมไข่ขาวผงและมีพื้นผิวของอนุภาคเหมือนกับสารก่อโฟมเมทโธเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา และคณะ (2560) [160] และ Franco *et al*. (2016) [161] กล่าวคือการศึกษาชนิดของสารก่อโฟมส่งผลต่อขนาดของอนุภาคและพื้นผิวของอนุภาคของผลิตภัณฑ์อบแห้งแบบโฟมแมท รวมไปถึงสารตั้งต้นของผลิตภภัณฑ์อบแห้งด้งกล่าวด้วย เนื่องจากขนาดของอนุภาคและพื้นผิวของอนุภาคนั้นๆ เปลี่ยนแปลงตามโครงสร้างทางเคมีและองค์ประกอบหลักของสารตั้งต้นและสารก่อโฟมจะมีขนาดใหญ่หรือเล็ก เรียบหรือเป็นหลุมขึ้นกับลักษณะของสารทั้งชนิด

ตารางที่ 4.18 ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อชนิดและปริมาณสารก่อโฟมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ชนิดและร้อยละของสารก่อโฟม		ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014		
		100X	350X	750X
ไข่ขาวผง (EA)	2.5			
	3			
	3.5			
เมทโธเซล (MC)	2.5			
	3			
	3.5			

ตารางที่ 4.18 ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อชนิดและปริมาณสารก่อโฟมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ต่อ)

ชนิดและร้อยละของสารก่อโฟม		ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014		
		100X	350X	750X
EA:MC (1:1)	2.5			
	3			
	3.5			

4.3.3 การศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง

ผลของการศึกษาคุณสมบัติการละลายต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง พบว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 30 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติการละลายได้ดีกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมทที่ใช้ไข่ขาวผง ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยมีค่าการละลายอยู่ที่ 1.86±0.33 นาที และ 2.94±0.30 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากสารตัวกลางที่ต่างชนิดกัน พบว่าคุณสมบัติของมอลโตเดกซ์ตรินสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าคุณสมบัติของไข่ขาวผง เนื่องจากโครงสร้างของมอลโตเดกซ์ตรินเกิดจากแป้งซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลุ่มคาร์โบไฮเดรต แต่ส่วนของไข่ขาวผงเป็น

อนุพันธ์ของโปรตีน [162] ส่งผลให้การละลายของตัวกลางทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของการศึกษาร้อยละการผลผลิตต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง พบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 30 เปอร์เซ็นต์ มีร้อยละการผลผลิตมากกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมทที่ใช้ไข่ขาวผง ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยมีค่าร้อยละการผลผลิตอยู่ที่ 22.73±0.12 และ 7.03±0.02 ตามตารางที่ 4.19 เป็นผลมาจากสารตัวกลางของการทำแห้งทั้งสองแบบแตกต่างกันส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตแตกต่างกันร่วมไปถึงวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน การทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นสารตัวกลางเป็นแป้งดัดแปร (มอลโตเดกซ์ตริน) ซึ่งมีความคงที่สูงมีลักษณะองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต ส่วนของการทำแห้งแบบโฟมแมทนั้นมีสารตัวกลางเป็นสารก่อโฟม (ไข่ขาวผง) ที่มีความคงน้อยกว่าและมีลักษณะองค์ประกอบหลักเป็นโปรตีน [87] ส่งผลให้ได้ร้อยละผลผลิตน้อยกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลของการศึกษาปริมาณความชื้นต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ในการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง พบว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมทที่ใช้ไข่ขาวผง ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยมีค่าร้อยละการผลผลิตอยู่ที่ 2.94±0.01 และ 4.36±0.02 ตามตารางที่ 4.19 เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมทส่งผลให้การระเหยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถระเหยน้ำได้มากกว่าปริมาณความชื้นของการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าน้อยกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมท [148]

ผลของการศึกษาปริมาณน้ำอิสระต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ในการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง พบว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมทที่ใช้ไข่ขาวผง ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยมีค่าร้อยละการผลผลิตอยู่ที่ 0.11±0.01 และ 0.31±0.02 ตามตารางที่ 4.19 โดยสอดคล้ายกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แครอทผงสำเร็จรูป [163] ซึ่งระบุว่าจะต้องมีปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ไม่เกิน 0.6 อุณหภูมิในการทำแห้งส่งผลต่อปริมาณน้ำอิสระในอาหารโดยอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำทำให้มีปริมาณน้ำอิสระในอาหารน้อยกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมท [148]

ตารางที่ 4.19 คุณสมบัติการละลาย ร้อยละการผลิต ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบโฟมแมทต่อน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผง

ตัวอย่าง		การละลาย (นาที)	ร้อยละการผลผลิต	ปริมาณความชื้น (% d.b.)	ปริมาณน้ำอิสระ
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 30 เปอร์เซ็นต์	1.86±0.33 [b]	22.73±0.12 [a]	2.94±0.01 [b]	0.11±0.01 [b]
ไข่ขาวผง (EA)	2.5	2.94±0.30 [a]	7.03±0.20 [b]	4.36±0.02 [a]	0.31±0.01 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของการศึกษาปริมาณสารแอนโทไซยานินต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ในการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง พบว่า การทำแห้งแบบโฟมแมทมีค่าปริมาณสารแอนโทไซยานินมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีค่าเท่ากับ 5.98 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องมาจากการทำแบบโฟมแมทนั้นใช่อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำแต่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนาน ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิทำแห้งสูงเกินอุณหภูมิน้ำเดือดแต่ใช้ระยะเวลาสั้น ด้วยเหตุนี้สารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มที่ไม่ทนความสูงทำให้เกิดการสูญเสียสารแอนโทไซยานินไป [155] ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ผลของการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอยในการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง พบว่า สารฟีนอลิกนั้นจัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่ทนความร้อนสูงส่งผลให้การทำแบบโฟมแมทที่เป็นกรรมวิธีการทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำแต่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานมีปริมาณสารฟีนอลิกมากกว่าการทำแบบพ่นฝอยที่ใช้อุณหภูมิกว่าจุดเดือดของน้ำ ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกของการแห้งแบบโฟมแมทมีค่ามากกว่าการทำแห้งพ่นฝอย [158] ตามตารางที่ 4.20 มีค่าเท่ากับ 4.66 และ 0.17

ผลของการศึกษาความสามารในการต้านอนุมูลอิสระต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ในการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง โดยใช้วิธีการทดสอบ 2 วิธี ได้แก่ $DPPH^+$ และ $ABTS^+$ พบว่า ความาสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ DPPH+ มีค่ามากกว่า วิธีการ ABTS+ ในทั้งสองตัวอย่าง (ตารางที่ 4.20) ทั้งสองตัวอย่างนั้นการทำแห้งแบบโฟมแมทที่ใช้ไข่ขาวผงเป็นสารก่อโฟมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเดกซ์ตริน เนื่องจากสภาวะในการทำอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นใช้อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้เกิดการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างโดยง่าย [159]

ตารางที่ 4.20 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบโฟมแมท

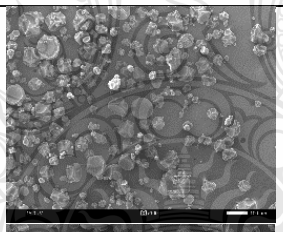
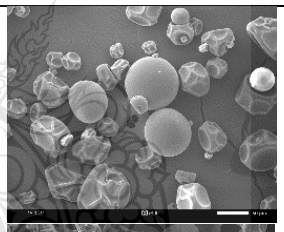
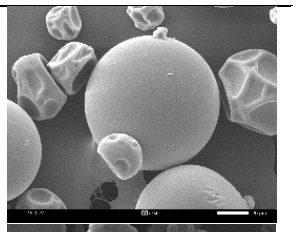
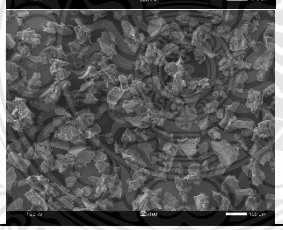
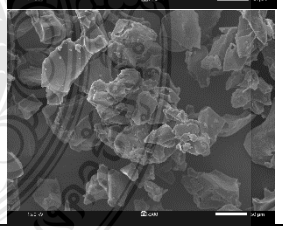
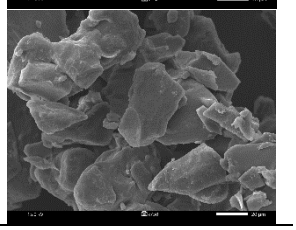
ตัวอย่าง		ปริมาณสารแอนโทไซยานิน	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	ความสามารถในการต้านอนุมุลอิสระ (mg Trolox eq./g)	
		(mg/L)	(mg Gallic eq./100g)	$DPPH^+$	$ABTS^+$
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 30 เปอร์เซ็นต์	1.80±0.36 [b]	0.17±0.07 [b]	5.54±0.53 [b]	0.86±0.13 [b]
ไข่ขาวผง (EA)	2.5	5.98±0.63 [a]	4.66±0.03 [a]	9.24±0.31 [a]	1.20±0.01 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของการศึกษาลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคต่อการแห้งแบบโฟมแมทและพ่นฝอย ในการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผง พบว่า โครงสร้างของอนุภาคทั้งสองตัวอย่างมีความแตกต่างกัน โดยโครงสร้างภายนอกของการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินในการทำแห้งนั้นมีลักษณะภายนอกเป็นทรงกลม และพื้นผิวเป็นหลุม มีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบโฟมแมทมีใช้สารก่อโฟมแบบไข่ขาวผงมีลักษณะเป็นเหลี่ยม และพื้นผิวของอนุภาคเป็นหลุม มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากมอลโตเดกซ์ตรินมีลักษณะโดยพื้นฐานนั้นเป็นทรงกลมและมีองค์ประกอบหลัก

เป็นคาร์โบไฮเดรตส่งผลให้สามารถอุ้มน้ำไว้ภายในของอนุภาคได้ เมื่อทำอบแห้งด้วยความร้อนสูงส่งผลให้ลักษณะภายนอกเกิดการเปลี่ยนเนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำจากภายในอย่างรวดเร็วทำให้พื้นผิวของมอลโตเดกซ์ตรินแตกออกทำให้จากการส่องกล้องเห็นว่าพื้นผิวของผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ไม่เรียบ [150][151] ในส่วนของการทำแห้งแบบโฟมแมทนั้นเกิดจากการตีอากาศให้อากาศเข้าไปแทรกอยู่ตามเนื้อของโฟมเมื่อทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำๆเป็นเวลาหนึ่งทำให้อากาศสามารถระบายได้อย่างรวดเร็ว แต่ด้วยสารก่อโฟมนั้นมีลักษณะเป็นเส้นใยโปรตีน [79][87] ทำให้เมื่อทำการอบแห้งเรียบร้อยนำมาปั่นให้เป็นผงจึงเกิดเป็นผลึกตามที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบโฟมแมทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตัวอย่าง		ลักษณะของอนุภาคผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014		
		100X	350X	750X
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 30 เปอร์เซ็นต์			
ไข่ขาวผง (EA)	2.5			

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำซาวข้าวและข้าวไรซ์เบอรี่หุงสุก พบว่า น้ำซาวข้าวจากการแช่ข้าวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีสารประกอบ-ฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS และแอนโทไซยานินมากที่สุด เท่ากับ 2.29 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม, 3.91 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1.12 มิลลิกรัมสมมูลย์Troloxต่อกรัม และ 4.53 มิลลิกรัมสมมูลย์Troloxต่อกรัม ตามลำดับ และข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS สูงที่สุด

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารให้ความหวานในเครื่องดื่มจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า การเติมน้ำตาลซูโครส สตีเวีย และซูคาโลสปริมาณร้อยละ 0.012 และ 0.014 โดยน้ำหนักในเครื่องดื่มจากน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ไม่มีผลต่อค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($p>0.05$) น้ำซาวข้าวที่เติมซูคราโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.014 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด มี ปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS เท่ากับ 2.872 มิลลิกรัมต่อลิตร, 5.092 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม, 8.033 มิลลิกรัมสมมูลย์Troloxต่อกรัม และ2.324 มิลลิกรัมสมมูลย์Trolox ต่อกรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาและพัฒนาเครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เติมซูคราโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.014 ที่ผู้บริโภคชอบมากที่สุด มาทำการศึกษาต่อด้วยการทำผงแบบพ่นฝอยพบว่าอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ร้อยละ 30 เหมาะสมที่จะทำการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด โดยมีค่าความชื้นต่ำที่สุด ร้อยละ 2.944 และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) (ABTS), ฟีนอลิกรวม และแอนโทไซยานิน มีค่า 1.8035 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.1729 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม, 5.5441 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม, 0.85787 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรล็อกซ์ต่อกรัม ตามลำดับ มีค่าสี ได้แก่ ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 66.83, 10.06 และ 10.21 ตามลำดับ อัตราการละลายเท่ากับ 1.86 นาที และมีร้อยละผลผลิตเท่ากับ

22.73 ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณสารพยุงในช่วงที่ทำการศึกษามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น ค่าสี อัตราการละลาย และร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาและพัฒนาเครื่องดื่มน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เติมซูคราโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.014 ที่ผู้บริโภคชอบมากที่สุด มาทำการศึกษาต่อด้วยการทำผงแบบแบบโฟมแมทโดย EA ปริมาณร้อยละ 2.5 เป็นสารก่อโฟมที่มีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าการใช้ MC หรือ EA:MA และยังรวมถึงร้อยละผลผลิตที่ได้อยู่ในระดับปานกลาง และเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะคุณภาพในการคืนรูปของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่า น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงคืนรูปมีปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

จากการศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและโฟมแมท ต่อการผลิตน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวานผงสามารถสรุปได้ว่าการทำแห้งแบบโฟมแมทโดยใช้ไข่ขาวผงเป็นสารก่อโฟมที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 เหมาะสมแก่การทำผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.014 เนื่องมาจากเนื่องจากมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลสผง โดยทำการศึกษาคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และด้านจุลินทรีย์ เพื่อให้สามารถกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้

5.2.2 จากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่น เช่น น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่แบบเม็ดละลายน้ำเสริมวิตามินซี เครื่องดื่มเวย์โปรตีนผสมน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ เป็นต้น

บรรณานุกรม

[1] งามชื่น คงเสรี. (2546). ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร.

[2] Patrapee Kamalanont. (2562). ดื่มเครื่องดื่มรสหวานมากก่อโรคมหาศาล. สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2563. จากเว็บไซต์: https://www.thaihealth.or.th/Content/50742-ดื่มเครื่องดื่มรสหวานมากก่อโรคมหาศาล.html

[3] พิชญานิน เพชรล้อมทอง และ ปุณฑริกา รัตนตรัยวงศ์. (2557). น้ำตาลและสารให้ความหวานกับแนวทางการบริโภคในยุคปัจจุบัน ฉบับที่ : 1. พิษณุโลก:มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[4] วรรณมงคล เชื้อมงคล. (2551). สารให้ความหวาน: การใช้และความปลอดภัย. ไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ 3(1) : 161-168

[5] ปวีณา ชัยมงคลมณี, อรุณศรี ลีจีรจำเนียร. (2558). การผลิตแอนโทไซยานินผงจากเปลือกองุ่นด้วยวิธีเอนแคปซุเลชันร่วมกับการทำแห้งแบบโฟมแมท. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 36 . หน้า 491-498.

[6] ชื่นจิต สีพญา. (2558). ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวดี มีประโยชน์. สืบค้นเมื่อวันจันทร์ที่ 19 มิถุยายน 2560, จากชื่อเว็บไซต์: http://siweb.dss.go.th/

[7] ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว (RGD&RSC). (2557). คุณสมบัติทางโภชนาการ Nutrition facts. แหล่งที่มา : http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/about-rsc-rgdu/2014-07-22-09-13-39.

[8] ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว (RGD&RSC). (2557). ลักษณะข้าวไรซ์เบอรี่. แหล่งที่มา : http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/about-rsc-rgdu/2014-07-22-09-13-39.

[9] โอภา วัชระคุปต์. (2549). สารต้านอนุมูลอิสระ. พี. เอส. พริ้นท์, กรุงเทพฯ.

[10] Liu, R. H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. Journal of Cereal Science. 46: 207-219.

[11] Rice-Evans, C.A., N.J. Miller and G. Paganga. (1996). Review Article: Structure antioxidantactivity relationships of flavonoids and phenolic acids. Free Radical Biology and Medicine. 20(7): 933-956.

[12] Nijveldt, R. J., E. Nood, D. EC. Hoorn,P.G., Boelens, K. van Norren and , P. A.M. Leewen. (2001). Flavonoids: A review of probable mechanisms of action and potential applications. American Journal of Clinical Nutrition. 74: 418-425.

[13] Adom, K.K. and R.H. Liu. (2002). Antioxidant activity of grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 6182-6187.

[14] Abdel-Aal, E-S.M., Young, J.C., and Rabalski, I. (2006). Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54(13): 4696-4704.

[15] Kim, J.K., S.Y. Lee. S.M. Chu. S.H. Lim. S.C. Suh. Y.T. Lee. H.S. Cho and S.H. Ha. (2010).Variation and correlation analysis of flavonoids and carotenoids in Korean pigmented rice (Oryza sativa L.) cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58 (24): 12804-12809.

[16] Huang, S. H. and L.T. Ng. (2011). Quantification of tocopherols, tocotrienols, and γ - oryzanol contents and their distribution in some commercial rice varieties in Taiwan. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 59(20): 11150-11159

[17] Rong, N., L.M. Ausman and R.J. Nicolosi. (1997). Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. Lipids. 32:303-309.

[18] ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. (2552). ข้าวต้านอนุมูลอิสระ. แหล่งที่มา: http://dna.kps.ku.ac.th/index.html, 30 กันยายน 2553.

[19] นิพัทธา ชาติสุวรรณ และวริพัสย์ อารีกุล. (2553). พารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, น. 252-260.

[20] ณัตฐาวุฒิ ฐิติปราโมทย์, นิสากร แซ่วัน, ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ, ปัญญวัฒน์ ปินตาทอง, นนท์ ธิติเลิศเดชา , นัฏฐเนศวร์ ลับเลิศลบ และอัษฎาวุธ หิรัญรัตน์. (2555). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโปรแอนโท

ไซ-ยานิดินและแอนโทไซยานินจากข้าวมีสี 4 ชนิด, น. 557-560. รายงานการประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[21] Ryu, S.N., S.Z. Park and C.T. Ho. (1998). High performance liquid chromatogram-phicdetermination of anthocyanin pigments in some varieties of black rice. Journal of Food and Drug Analysis. 6: 729-736.

[22] Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. (2004). The distribution of phenolic acids in rice. Food Chemistry. 87: 401-406.

[23] Shen, Y., J. Liang, X. Peng, L. Yan and B. Jinsong. (2009). Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. Journal of Cereal Science. 49:106-111.

[24] Kong, S. and J. Lee. (2010). Antioxidants in milling fraction of black rice cultivars. Food Chemistry. 120: 278-281.

[25] Zhang, M.W., R.F. Zhang, F.X. Zhang. and R.H. Liu. (2010). Phenolic profiles an antioxidant activity of black rice bran of different commercially available varieties. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58: 7580-7587.

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

[27] พรประภา ชุนถนอม, อรัญ สารโภคา, ภานุมาศ จันทร์ดาพันธ์, หทัยรัตน์ บุญทวี และอินธิวา ศรีพันรมย์. (2555). คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของข้าวฮางงอกที่ไม่มีสีและมีสี, หน้า 628-631. ในรายงานการประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[28] วุฒิพงษ์ ฮามวงศ์. (2555). มหัศจรรย์ข้าวเพื่อสุขภาพข้าวฮางงอก. แหล่งที่มา : http://www.isa-ngate.com/local/kao_bang.html, 1 เมษายน 2556

[29] ปวีณา รัตนเสนา และประภัสสร บุษหมั่น. (2555). กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอกของข้าวไทยบางสายพันธุ์, น. 628-631. ในรายงานการประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[30] อัสมา อับรู. (2554). ผลของกระบวนการแปรรูปต่อคุณภาพเครื่องดื่มข้าวมีสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[31] โอภา วัชระคุปต์. (2550). สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : นิวไทยมิตรการพิม.

[32] ปวีณา พันทอง. (2559). การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี CUPRAC โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา.

[33] วิภพ สุทธนะ. (2556). ฤทธิ์ต้านมะเร็งของฟลาโวนอยด์: กลไกการออกฤทธิ์. *ศรีนครินทร์เวชสาร, 28*(4), 567-582.

[34] บุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2556. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21*(3), 275-286.

[35] Apak, R., Gorinstein, S., Böhm, V., Schaich, K. M., Özyürek, M., & Güçlü, K. (2013). Methods of measurement and evaluation of natural antioxidantcapacity/ activity (IUPAC technical report). *Pure and Applied Chemistry*, *85*(5), 957–998.

[36] สังคม เตชะวงศ์เสถียร. (2536). การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว. การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว. แหล่งที่มา : http://www.agserver.kku.ac.th. 28 มกราคม 2550.

[37] จักรพงศ์ ไพบูลย์. (2542). สารต้านอนุมูลอิสระ. แหล่งที่มา :http://www.thaiclinic.com/antioxidant.html. 20 กุมภาพันธ์ 2550.

[38] กัศราภรณ์ มลชัยภูวิวัฒน์. (2544). สารต้านอนุมูลอิสระ. พืช ผัก ผลไม้ ต้านมะเร็ง. แหล่งที่มา : http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/st2545/4-5/no12/vegetablepic.html. 25 มกราคม 2550.

[39] สุวิชา ดีหะสิงห์. (2550). การสกัดและการทำให้สารแอนโธไซยานินในลูกหว้าบริสุทธิ์. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[40] รัตนา รุจิรวนิช และ ระมน เสรีวรวิทย์กุล. (2532). การสกัดแอนโธไซยานินส์จากดอกกระเจี๊ยบแดงแห้ง. โครงการวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[41] ประสิทธิ์ บุญไทย. (2539). ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสารแอนโธไซยานินส์ในการเพาะเลี้ยงแคลลัสของกระเจี๊ยบแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

[42] เรือนเงิน สินธุ. (2544). การสกัดและคุณภาพวิเคราะห์ของแอนโธไซยานินส์ในลูกหว้า. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

[43] Banerjee, A. and N. Dasgupta. 2005. In vitro study of antioxidant activity of Syzygium cumini fruit. Food Chemistry. 90 : 727-733.

[44] Timberlake, C.F. and P. Bridle. (1980). Anthocyanin. In J. Walford (eds.). Developments in food colors. London : Applied Science Publish. 1, p. 115-149.

[45] Longo, L. and G. Vasapollo. (2006). Extraction and identification of anthocyanin from Smilax aspera L. berries. Food Chemistry. 94: 226 - 231.

[46] Harborne, J.B. (1998). Phytochemical Methods A guide to modern techniques of plant analysis. 3th ed. Chapman & Hall. Tomson Science, 2 - 6 Boundary Row, London SE18HN,UK. 295 p.

[47] ฉวีวรรณ จันทรขรินทร และ บุศกรณ์ มหาโยธี. (2531). การศึกษาเสถียรภาพของรงควัตถุแอนโธไซยานินส์ในน้ำกระเจี๊ยบแดง. โครงการวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

[48] นัยวิทย์ เฉลิมนนท์. (2538). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้สีแดงธรรมชาติจากกลีบกระเจี๊ยบแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาเขตกำแพงแสน.

[49] Francis, F. (1989). Food colourants: Anthocyanins. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 28, 273–314.

[50] Nuzhet, T. and F. Erdogdu. (2006). Effects of pH and temperature of extraction medium on effective diffusion coefficient of anthocyanin pigments of black carrot (Daucus carotavar. L.). Journal of food Engineering. 76 : 579 - 583.

[51] Brouillard, R. and B. Delaparte. (1977). Mechanism of the structure transformations of anthocyanins in acidic media. Aim. Chem. Soc., p. 99, 1359, 8461.

[52] Markham, K.R. (1982). Ultraviolet-visible absorption spectroscopy. In Techniques of flavonoid identification. Academic Press, p.37-51.

[53] Sim, C.A. and J.R. Moris. (1948). Effect of pH, sulfure dioxide, storage time, and temperature on the color and stability of red muscadine grape wine. Enol. Vitic. 35(1) : 35-39.

[54] Watada, A.E. and J.A. Abbott. (1975). Objective method of estimating anthocyanin content for determining color grade of grapes. Food Sci. 40 : 1278-1279.

[55] Ozai Durrani. A. K. (1948). "Quick-cooking rice and process for making same". US palent 2. 438-939, 6 April.

[56] งามชื่น คงเสรี, สุนันทา วงศ์ปิยชน, พูลศรี สว่างจิต, ละม้ายมาศ ยังสุข และ วิชัย หิรัญญูปกรณ์, (2551). การผลิตข้าวกึ่งสำเร็จจรูป. สืบค้นออนไลน์จาก: http://anchan.lib.ku.ac.th

[57] งามชื่น คงเสรี. (2536). การพัฒนาข้าวไทยสู่ตลาดคุณภาพ. กสิกร 66 (6) : 534 – 539.

[58] งามชื่น คงเสรี. (2547). คุณภาพข้าวสวย, น.41-61. ใน: คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

[59] งามชื่น คงเสรี. (2539). คุณภาพข่าวสารและข่าวสุก . เอกสารประกอบการบรรยาย สัมมนาเรื่องขาวกับคน ของสมาคมโรงสีขาวไทย โรงแรมรีเจนทชะอำ เพชรบุรี 24 สิงหาคม 2539 .

[60] Glenn B. Gregorio, Dharmawansa Senadhira, and Rhulyx D. Mendoza. (1997). Screeing rice for salinity tolerance. IRRI Discussion Paper Series. NO. 22.

[61] สถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร. (2542). ข้าวกล้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่งม กรุงเทพฯ.

[62] อบเชย วงศ์ทอง และขนิษฐา พูลผลกุล. (2544). หลักการประกอบอาหาร. มหาวิทยาเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[63] Juliano, B. O. (1973). Grain quality evaluation of world rices. Manila: The International Rice Research Institute.

[64] วรางคณา สมพงษ์. (2548). เอกสารคำสอน กอ. 342 การแปรรูปอาหาร 2. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[65] Masters, K. (1979). Spray drying handbook. 3nd ed. London: George Godwin Ltd. 687 p.

[66] วรเดช อรุณเลิศรัศมี. (2545). ผลขององค์ประกอบทางเคมีต่อจลนศาสตร์การดูดความชื้นของซีอิ้วผงอบแห้งแบบ พ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

[67] Gharsallaoui, A., G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley, and R. Saurel. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. Food research international. 40:1107-1121.

[68] นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์, โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพฯ.

[69] รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. (2540). เอกสารคำสอนการประเมินอายุการเก็บอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

[70] งามทิพย์ภู่วโรดม. (2538). เอกสารประกอบการสอนหลักการบรรจุ. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะ อุตสาหกรรมเกษตร.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ

[71] Fowle, J. (2005). Developments in barrier films for packaging. Pira International Ltd. UK. อ้างโดย รัชนีวรรณ กุลจันทร์.2551.การหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์สำหรับสภาพให้ซึมผ่านได้ ของไอฐ้าของฟิล์มพลาสติกและการประยุกต์ในการบรรจุอาหารที่ไวต่อความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ

[72] Borges, S.V., A. L. S. H. Reis. E.C., Jorge, P. R. Pinto, and V. M. Oliveira. (2002). Spray drying of tropical fruit juice. Alomentaria. 334 :125-130.

[73] Nadeem, H.S., M. Torun, and F. Ozdemir. (2011). Spray drying of the mountain tea (Sideritis stricta) water extract by using different hydrocolloid carriers. LWT - Food science and technology.44:1626-1635.

[74] พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์มณฑิรา นพรัตน์และ ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์. (2545). กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 25(3). หน้า 257-277.

[75] ยุพร พืชกมุทร. (2555). การถนอมอาหารและการแปรรูปอาหารด้วยการทำแห้ง. ในเอกสารการสอนชุดวิชาเทคโนโลยีการถนอมและแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่1. สาขาวิชามนุษยนิเวศวิทยา. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

[76] กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. (2536). กระบวนการแปรรูปอาหาร. สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

[77] Karim, A.A. and Wai, C.C. (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) puree. Stability and airdrying characteristics. Food Chemistry. 64 (7) : 337-343.

[78] ชุติมา อนุเทศ, วิไล สนธิเพิ่มพูน, ธีรพร กงบังเกิด และพันธ์ณรงค์ จันทร์แสงศรี.(2553). สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงสำเร็จรูปจากตะไคร้ด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 20 (3): 1-10.

[79] คุ้มเกล้า ตุลาดิลก และพนิดา รัตนปิติกรณ์. (2551). น้ำกระเทียมดองชนิดผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[80] ดุษฎีอุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล. (2555). “บทที่ 4 สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรท-ไฮโดรคอลลอยด์และ การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.” เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรท Carbohydrate Technology สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. แหล่งที่มา http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chaptchapter 4.html (สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561).

[81] สุนทร ตรีนันทวัน. (2555). “ฟิล์มเคลือบผิวผลไม้จากเยื่อฟางข้าว CMC.”[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://edtech.ipst.ac.th/index.php/2011-07-29-04-02-00/18-2011-08-09-06-29-06/372-2012-07-09-02-32-53 (สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561).

[82] นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2552). “carboxy methyl cellulose cmc.” แหล่งที่มาhttp://www.foodnetworksolution.com /vocab/word/1439/CMC (สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561).

[83] กฤษณา ศิรเลิศมุกุล. (2547). “เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน.” แหล่งที่มา http://www.material.chula.ac.th/RADIO47/September/radio9-4.htm (สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561).

[84] กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์. (2554). “การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ.”การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. วันที่10–11 พฤศจิกายน 2554, อำเภอหาดใหญ่จังหวัดสงขลา. แหล่งที่มาhttp://www.chem.eng.psu.ac.th/tiche2011/TCHE/data/paper/thai/tes/oral/tes007.pdf (สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561).

[85] รานี สุวรรณพฤกษ์ และสุธาทิพย์ ศิริไพศาลพิพัฒน์. (2554). “การผลิตโซเดียมคาร์บอกซี เมทธิลเซลลูโลสจาก ผักตบชวา.” สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (หน้า 471-478). แหล่งที่มา http://anchan.lib.ku.ac.th/kukr/handle/003/11297mode=full (สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561).

[86] Almasi, H., Ghanbarzadeh, B.,Entezami, A.A. (2010). International Journal of Biological Macromolecules. (Accessed 15th December 2018). แหล่งที่มา http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813009002104

[87] นิรนาม. (2557). โปรตีนไข่ขาวผง. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : https://th-th.facebook/albuminshop

[88] ธวัชชัย ศุภวิทิตพัฒนา. (2554). ผลของสารก่อโฟมที่มีต่อสมบัติของโจ๊กข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูปที่ผสมด้วยโฟม-แมท. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

[89] สุธิดา กิจเกษตรสถาพร และพนิดา รันตปิติกรณ์. (2551). การผลิตสารสกัดชนิดผงจากพริกแดงสดโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[90] Grotz, L. V., Molinary, S., Peterson, C.R., Quinlan, E.M., and Reo, R. (2012). Alternative sweeteners. 4th edition. Sucralose. Nabors, O. L.: 182-197.

[91] พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา. (2557). สารานุกรมอาหารออนไลน์ (online food encyclopedia). http://www.foodnetworksolution.com/wiki

[92] ADA Evidence Analysis Library. (2011). The truth about artificial sweeteners or sugar substitutes.

[93] Starratt AN, Kirby CW, Pocs R, Brandle JE. Rebaudioside F. (2002). a diterpene glycoside from Stevia rebaudiana. Phytochemistry. 59(4):367-70.

[94] Kennelly EJ, Baggett S, Nuntanakorn P, Ososki AL, Mori SA, Duke J, et al. (2002). Analysis of thirteen populations of black cohosh for formononetin. Phytomedicine. 9(5):461-7.

[95] Hanson JR, De Oliveira BH. (1993). Stevioside and related sweet diterpenoid glycolsides. Nat Prod Rep. 10(3):301-9.

[96] Yadav SK, Guleria P. (2012). Steviol glycosides from Stevia: biosynthesis pathway review and their application in foods and medicine. Crit Rev Food Sci Nutr. 52(11):988-98.

[97] Brandle JE, Telmer PG. (2007). Steviol glycoside biosynthesis. Phytochemistry. 68(14): 1855-63.

[98] Shibata H, Sawa Y, Oka T, Sonoke S, Kim KK, Yoshioka M. (1995). Steviol and steviolglycoside: glucosyltransferase activities in Stevia rebaudiana Bertoni--purification and partial characterization. Arch Biochem Biophys. 321(2):390-6.

[99] Wood HB, Jr, Allerton R, Diehl HW, Fletcher HG, Jr. Stevioside. I. (1955). The structure of the glucose moieties. J Org Chem. 20:875–83.

[100] Crammer B, Ikan R. (1986). Sweet glycosides from the stevia plant. Chem Br. 22(10):915–7.

[101] Koyama E, Kitazawa, K., Ohori, Y., Izawa, O., Kakegawa, K., Fujino, A. (2003). Invitro metabolism of the glycosidic sweeteners, stevia mixture and enzymatically modified stevia in human intestinal microflora. Food Chem Toxicol. 41(3):359–74.

[102] Yamamoto K, Yoshikawa K, Okada S. (1994). Effective production of glycosyl-steviosid - es by alpha- 1,6 transglucosylation of dextrin dextranase. Biosci Biotechnol Biochem. 58(9):1657-61.

[103] Kinghorn AD, Soejarto DD. (1985). Current status of stevioside as a sweeteningagent for human use. Economicand medical plant research. 1:1-52.

[104] World Health Organization. (2006). Safety evaluation of certain contaminants in food Prepared by the Sixty- fourth meeting of the Joint FAO/ WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Geneva: WHO Press; 1-778 p.

[105] คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. (2546). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[106] ไพโรจน์ วิริยจารี. (2535). วิธีทางอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[107] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2532). การอบแห้งอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[108] อรุณี อภิชาติสรางกูล. (2530). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทั่วไป. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

[110] Choi, Y., H.S. Jeong and J. Lee. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. Food Chemistry. 103 : 130-138.

[111] Finocchaiaro, F., B. Ferrari and A. Gianinetti. (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 Seniene. 51:28-34.

[112] แสงระวี ณ พัทลุง. (2559). การใช้สารให้ความหวานซูคราโลสในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำเห็ด. การประชุมวิชาการระดับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1. หน้า 493-499.

[113] คณิตนันท์ เอซัน เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์ และ สุภาภรณ์ เลขวัด. (2558). ผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวผง. วารสารวิทย์. กษ. 46(3)(พิเศษ): หน้า 785-788.

[114] ชลิตา เนียมนุ้ย สันติชัย สิริวัชโรดม และอุษารัตน์ แววตระการ. (2554). ผลของการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงเบต้าไซยานินจากแก้วมังกรแดง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(2)(พิเศษ): 209-212.

[115] Al-khatani HA, Hasson BH.. (1990). Spray drying of Roselle (Hibicus sabdariffa L.) extract. Journal of food Science; 55(4):1073-1076.

[116] AOAC. (2016). AOAC Official Method 978.10 Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food, Fritted Glass Crucible Method, ch.4 pp. 46-47. AOAC Official Methods of Analysis. 20th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.

[117] Auisakchaiyoung T, Rojanakorn T. (2015). Effect of foam-mat drying conditions on quality of dried Gac fruit (Momordica cochinchinensis) aril. International Food Research Journal ;22:2025-2031.

[118] กฤต บุณยะวรรธนะ. (2548). เครื่องดื่มผงจากผลยอผสมผลไม้โดยการทำแห้งแบบโฟมแมท [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร] . เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[119] อรทัย บุญทะวงศ์. (2547.) กรรมวิธีและลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะเกี๋ยง (Cleistocalyxnervosum verapamil) ผงชงละลายที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร]. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[120] Kirk RS, Sawyer R. (1991). Pearson's composition and analysis of food. 9th ed. New York: John Wiley and Sons.

[121] Wattanakul, U., Wattanakul, W., Sujarit. C.. (2016). Effects of Temperature Soaking, Germination and Cooking to thiamine GABA, antioxidants in Sungyod malts and Parboiled Germinated brown rice. Full research reports. Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Sivijaya, Trang, 9-10.

[122] Zaupa, M., Calani, L., Del Rio, D., Brighenti, F. and Pellegrini, N., (2015), "Characterization of Total Antioxidant Capacity and (poly) Phenolic Compounds of Differently Pigmented Rice Varieties and their Changes during Domestic Cooking," *Food Chemistry,* 187, pp. 338-347.

[123] Min, B., McClung, A. and Chen, M.H.. (2014). "Effects of Hydrothermal Processes on Antioxidants in Brown. Purple and Red Bran Whole Grain Rice (*Oryza sativaL.)*." *Food Chemistry*. 159. pp. 106-115.

[124] Anson, N.M., van den Berg, R., Havenaar, R., Bast, A. and Haenen, G.R.M.M.. (2009). " Bioavailability of Ferulic Acid is Determined by its Bioaccessibility," Journal of Cereal Science. 49. pp. 296-300.

[125] S. Bhatthacharya and P. V. S. Rao, (1966), " Effect of processing conditions on quality of parboiled rice," *Journal of Agricultural Food Chemistry*, vol. 14, pp. 476-479.

[126] P. Pillaiyar and R. Mohandas. (1981). "Hardness and color in parboiled rice prodiced at low and high temperature." *Journal of Food Science and Technology.* vol. 18. pp. 7-9.

[127] K. Sareepuang, S. Siriamornpun, L. Wiset, and N. Meeso, 2008, "Effect of soaking properature of parboiled fragrant rice," *World Journal of Agricultural Scienes,* vol. 4, pp. 409-415.

[128] M. R. Islam, N. Shimizu, and T. Kimura. (2003). "Energy requirement in parboiling and Its relationship to some important quality indicators." *Journal of Food Engineering*. vol. 63. pp. 433-439.

[129] S. Bhatthacharya, (1996), "Kinetics on colour changes in rice due to parboiling," *Journal of Food Engineering*, Vol. 29, pp. 433-439.

[130] T. Kimura, K. R. Bhattacharya, and S. Z. Ali. (1993). "Discoloration characteristics of rice during parboiling (I): Effect of processing conditions on the color intensity of parboiled rice." *Journal of the Society of Agricultural Structures*. Vol. 24. pp. 23-30.

[131] P. Sirisoontaralak and A. Noomhorm, (2006). "Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice." *Journal of Stored Products and Research*. Vol.42. pp. 264-276.

[132] L. Lamberts, E. De Bie, V. Derycke, W. S. Veraverbeke, W. De Man, and L. A. Delcour, (2006), "Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice," *Cereal Chemistry,* Vol. 83, no. 1, pp. 80-85.

[133] ดำเนิน กาละดี, พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ และ ศันสนีย์ จำจด. (2543). พันธุ์ศาสตราปรับปรุงพันธุ์และโภชนะศาส์เกษตรของข้าวเหนียวดำ. รายงานการวิจัยของสถายันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[134] Koh, H. j., Won, Y. J., Cha, G. W. & Heu, M. H., (1996), Verietal variation of pigmentation and some nutritive characteristics of colored rices. Journal of Crop Science, 411(5), 600-607.

[135] วาริช ศรีละออง. (2549). รงควัตถุในข้าวมีความสำคัญอย่างไร. วารสารจาร์พา. 14(90), หน้า 54-55.

[136] สินีนาฏ ภูมีศรี และดร.ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. (2558). การหาปริมาณแอนโทไซยานินและผลของไอออนอะลูมิเนียมต่อเสถียรภาพของน้ำเม่า. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น

[137] Chmiel, T., Saputro, I.E., Kusznierewicz, B. and Bartoszek, A.. (2018). “The Impact of Cooking Method on the Phenolic Composition, Total Antioxidant Activity and Starch Digestibility of Rice (*Oryza sativa* L.).” *Journal of Food Processing and Preservation*. 42 (1).

[138] Halee, A. and Rattanapun, B.. (2017). “Study of Antioxidant Efficacies of 15 Local Herbs.” *KMUTT Research and Development Journal*. 40 (2). pp. 269-279. (In Thai)

[139] Tananuwong, K. and Tewaruth, W.. (2010). “Extraction and Application of Antioxidants from Black Glutinous Rice.” *LWT-Food Science and Technology*. 43 (3). pp. 476-481.

[140] Jiang, H., Ji, B., Liang, J., Zhou, F., Yang, Z. And Zhang, H., (2006). “Comparison on the Antioxidant Capacity of Selected Fruits and Vegetables and their Separations,” *Chemistry of Natural Compounds*, 42(4), pp. 410-414.

[141] Stratil, P., Klejdus, B. and Kubá, V.. (2006). “Determination of Total Content of Phenolic Compounds and their Antioxidant Activity in Vegetables Evaluation of Spectrophotometric Methods.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54 (3). pp. 607-616.

[142] ดวงกมล ลีมจันทร์, วิษฐิดา จันทราพรชัย และวิชัย หฤทัยธนาสันดิ์. (2551). การสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ. กรุงเทพฯ: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[143] พีระนันท์ มาปัน, สุพรรณิกา ติ๊บขัน, ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย, ดำเนิน กาละดี และศันสนีย์ จำจด. (2557). การคัดเลือกในชั่วต้นเพื่อลักษณะแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงและไม่ไวต่อช่วงแสงในลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่างข้าวพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดและปทุมธานี 1. วารสารนเรศวรพะเยา 7(2): 160-171.

[144] Abou-Arab, AE., Abou-Arab, AA., Abu-Salem, MF. (2010). Physico-chemical assessment of natural sweeteners steviosides produced from stevia rebaudiana bertoni plant. African Journal of Food Science. 4(5): 269- 281.

[145] Shukla, S., Mehta, A., Mehta P and Bajpai VK. (2012). Antioxidant ability and total phenolic content of aqueous leaf extract of Stevia rebaudiana Bert. Experimental and Toxicologic Pathology. 64 (2012) 807–811.

[146] วรารัตน์ สานท์, ทัศนีย์ ลิ้มสกุล และลี่ลี อิงศรีสว่าง. (2552). การพัฒนาขนมหม้อแกงไข่ลดพลังงานและปรับปรุงสัดส่วนกรดไขมันด้วยซูคราโลสและกะทิธัญญาพืช. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

[147] พิชญานิน เพชรล้อมทอง และ ปุณฑริกา รัตนตรัยวงศ์. (2558). น้ำตาลและสารให้ความหวานกับแนวทางการบริโภคในยุคปัจจุบัน ฉบับที่: 1. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[148] Goula AM, Adamopoulos KG. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidifiedair: II. The effect on powder properties. J Food Eng. 66(1): 35-42.

[149] Quek SY, Chok NK, Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. Chem Eng Process. 46(5): 386-92.

[150] Loksuwan J. (2007). Characteristics of microencapsulated β-cartene formed by spraydrying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. Food Hydrocoll. 21(5): 928-935.

[151] Panida Rattanapitigorn, Masahiro Ogawa and Nithiya Rattanapanone. (2016). Effect of Methocel™, Maltodextrin, Sodium Chloride, and pH on Foaming Properties and Foam-mat Drying of Aqueous Pandan (Pandanus amaryllifolius) Leaves Extract. CHIANG MAI UNIVERSITY JOURNAL OF NATURAL SCIENCES. Vol.15(3). 237-252.

[152] Paras Sharma and Hardeep Singh Gujral. (2010). Effect of sand roasting and micro-wave cooking on antioxidant activity of barley. Food Research International. (on line).

[153] Karim, A. A. and Wai, C. C. (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. Food Chemistry Journal. 64, 337-343.

[154] อริสรา โพธิ์สนาม, ชนินทร์ น้อยอามาตย์, ศิริพร แก้วสอาด. (2554). คุณภาพของเม่าผงชงละลายที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งโฟม-แมท. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 765-769

[155] Souza V.B.d., Fujita A., Thomazini M., Silva E.R., Lucon Jr. J.F., Genovese M.I. and Favaro- Trindade C. S. (2014). Functionalproperties and stability of spray-driedpigments from Bordo grape (Vitis labrusa) winemaking pomace. Food Chemistry. 164, 380-386

[156] ดวงพร อมรเลิศพิศาล, ยุวดี พีรพรพิศาล, ธวัช แต้โสตถิกุล, อุเทน จำใจ, มัณฑนา นวลเจริญ และดวงตา กาญจนโพธิ์. (2551). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *Sargassumpolycystum C.* Agardh. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, 2(2), 96-103.

[157] บุหรัน พันธุ์สวรรค์. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21(3), 275-286.

[158] Paras Sharma and Hardeep Singh Gujral. (2010). Effect of sand roasting and micro-wave cooking on antioxidant activity of barley. Food Research International. (on line).

[159] Kohyama, N., Fujita, M., Ono, H., Ohnishi-Kameyama, M., Matsunaka, H., Takayama, T., and Murata, M. (2009). Effects of phenolic compounds on the browning of cooked barley. Journal Agricultural Food Chemistry. 22;57(14). 6402-7.

[160] Panida Rattanapitigorn, Masahiro Ogawa and Nithiya Rattanapanone. (2016). Effect of Methocel™, Maltodextrin, Sodium Chloride, and pH on Foaming Properties and Foam-mat Drying of Aqueous Pandan (Pandanus amaryllifolius) Leaves Extract. CHIANG MAI UNIVERSITY JOURNAL OF NATURAL SCIENCES. Vol.15(3). 237-252

[161] Franco, T.S., C.A. Perussello, L.N. Ellendersen, and M.L. Masson. (2016). Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. LWT - Food Science and Technology. 66, 503-513.

[162] Femeniaa, A., Garcı´a-Pascual, P., Simala, S., and Rosselló, C. (2003). Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from Aloe barbadensis Miller. Carbohydrate Polymers.51: 397-405.

[163] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2550). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 1402/2550 แครอทผงสำเร็จรูป.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter lab

เป็นการวัดสีในระบบ Hunter lab โดยค่า L* เป็นค่าสีดำและขาว (Lightness facter) ค่า a* เป็นค่าสีเขียวและแดง (Greeness/Redness) และค่า b* เป็นค่าสีน้ำเงินและเหลือง (Blueness/Yellowness)

ภาพผนวกที่ ก1 Hue srquence และ Hue angle ในแผนผังของ CIE Lab

เมื่อ *L** คือ ค่าสีดำและสีขาว มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
*a** คือ ค่าสีแดง เมื่อ a* มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว
เมื่อ a* มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง
*b** คือ ค่าสีเหลือง เมื่อ b* มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน
เมื่อ b* มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง

ก่อนวัดค่าสีทุกครั้งต้องทำการปรับค่ามาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (L*= 93.55, a*=-1.06, b*= 1.43) แล้วจึงทำการวัดสีของตัวอย่างข้าวโดยนำตัวอย่างข้าวใส่ลงบนภาชนะใส (Petri dish) ทำการวัดค่าทั้งหมด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

2. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้
2. can สำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

2.2 วิธีการ

1. เสียบปลั๊ก แล้วเปิดเครื่อง ทิ้งไว้ 15 นาที
2. ทำการ Cailbrate เครื่องด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ค่า A_W อยู่ระหว่าง 0.990 – 1.010

3. ใส่ตัวอย่างให้ได้ 1/3 ของตลับวัด เปิดฝาเครื่องเพื่อใส่ตลับวัด ในล็อกของเครื่อง

4. จากนั้นปิดฝาและล็อกฝา เครื่องก็จะเริ่มทำงาน

5. เมื่อเครื่องวัดค่าเสร็จเรียบร้อย เครื่องจะร้องเตือน

6. จดค่าที่แสดงอยู่ที่หน้าจอของเครื่อง เป็นอันเสร็จสมบูรณ์

3. การวิเคราะห์ค่าโอเวอร์รัน (Overrun)

นำส่วนที่เป็นของเหลวตวงเพื่อหาปริมาตร และจากนั้นทำการตีโฟมแล้วจึงนำโฟมตวงหาปริมาตรอีกครั้งและจดบันทึก คำนวณได้จากสูตร (Kirk และ Sawyer, 1991) [120]

$$\text{**Overrun (ร้อยละ)} = \frac{\text{น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสม-น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของโฟม)}}{\text{น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของโฟม}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density)

นำโฟมบรรจุลงในถ้วยพลาสติกที่ชั่งน้ำหนักแล้วให้เต็มและปราศจากโพรงอากาศภายในถ้วย เกลี่ยโฟมที่ล้นบริเวณปากถ้วยด้วยพายยาง เช็ดบริเวณรอบนอกถ้วยไม่ให้มีเศษโฟมเหลืออยู่จากนั้นชั่งน้ำหนัก คำนวณได้จากสูตร (อรทัย, 2547) [119]

**ความหนาแน่นของโฟม (กรัม/มิลลิลิตร) = น้ำหนักโฟม / ปริมาตรถ้วย

5. การวิเคราะห์ความคงตัวของโฟม (Stability)

การวิเคราะห์ความคงตัวของโฟม (กฤต, 2548) [118] ความคงตัวของโฟมวัดจากปริมาตรของเหลวแยกตัวออกจากโฟม โดยถ้าปริมาตรของเหลวที่แยกออกจากโฟมมีค่ามากแสดงว่าโฟมมีความคงตัวน้อย (Karim et al., 1999) [153] ปริมาตรของเหลวที่แยกออกจากโฟม หาได้โดยนำโฟมใส่ลงในกรวยกรองซึ่งวางอยู่บนกระบอกตวงขนาด 20 มิลลิลิตร บันทึกปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกจากโฟมเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง

6. การวิเคราะห์ค่าการละลาย (Dissolution)

การวิเคราะห์ค่าการละลาย (AL-Kahtani et al., 1699) [115] ชั่งผงแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น (อุณหภูมิห้อง) ปริมาณ 125 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย magnetic stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 จับเวลา ที่ใช้ในการละลายของผงจนสมบูรณ์

7. ร้อยละผลผลิต (% Yield)

การคำนวณร้อยละของผลผลิต คำนวณได้จากสูตร

$$\text{**ร้อยละผลผลิต (\%Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของผงที่อบได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของโฟม (กรัม)}} \times 100$$

8. ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total solids: TS)

นำผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 3 กรัม มาผสมน้ำสะอาด 125 มิลลิลิตร เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการผสมผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่แล้ว มาวัดด้วยเครื่องรีเฟกโตมิเตอร์ (Refractometer) ยี่ห้อ Portable รุ่น FG103/113

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ใช้วิธีการของ AOAC (AOAC, 2000) ดังนี้

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระป๋องหาความชื้น (Moisture Can)
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าสาหรับงานวิเคราะห์
4. ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้า (Electrical Hot Air Oven)

1.2 วิธีวิเคราะห์

1. อบ Moisture Can พร้อมฝาปิดในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W1)

2. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักแน่นอน 3 กรัม ใส่ใน Moisture Can ที่ผ่านการอบและทราบน้ำหนักแน่นอน (W2)

3. นำ Moisture Can ที่ใส่ตัวอย่างแล้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ±2 องศาเซลเซียส
โดยเปิดฝาออก อบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4. นำออกจากตู้อบโดยปิดฝาทันทีและทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักไว้

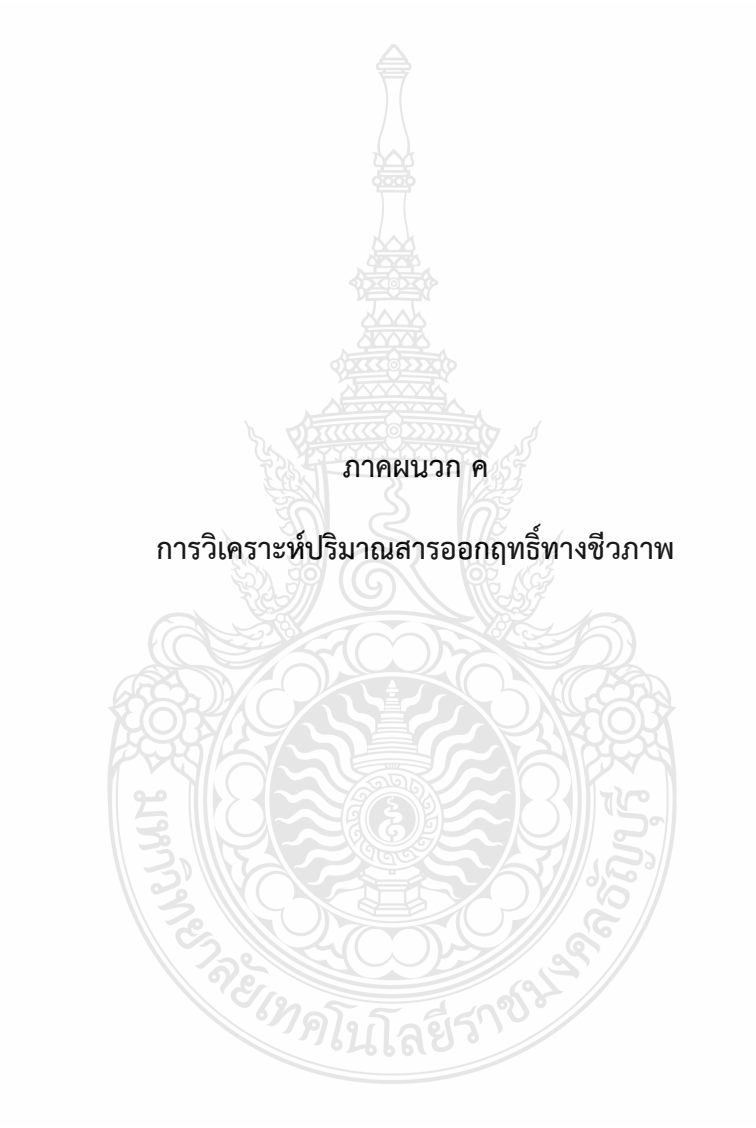
5. นำไปอบซ้ำหลายๆครั้งจนได้น้ำหนักที่คงที่ (W3) (น้ำหนักคงที่ หมายความว่าผลต่างน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน ต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม)

6. คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้าหนัก) = (W1 - W3)/(W2 – W1)

เมื่อ W1 = น้ำหนักของ Moisture Can (กรัม)
W2 = น้ำหนักของ Moisture Canและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
W3 = น้ำหนักของ Moisture Can และตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

นำผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ 3 กรัม มาผสมน้ำสะอาด 125 มิลลิลิตร เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการผสมผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่แล้ว มาวัดด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Sperscientific รุ่น Benchtopmeter860031



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

1. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total Phenolic Compound) ในข้าว โดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ดัดแปลงจากวิธีของ Maizura *et al*. (2011) [109]

1.1 เตรียมสารละลาย

- สารละลาย Folin-Ciocalteu ร้อยละ 10 ในน้ำกลั่น
- สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na2CO3) ความเข้มข้น ร้อยละ 5 ในน้ำกลั่น
- สารละลายมาตรฐาน gallic acid

เตรียมสารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 100 microgram/ml ปริมาตร 50 ml

(ชั่ง gallic acid 0.0050 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 50 ml)

↓

เจือจางที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 microgram /ml ปริมาตร 5 ml

(ใช้น้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 0 และ gallic acid (100 microgram /ml) 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 ml. ตามลำดับ)

↓

ปรับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 5 ml

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารละลายมาตรฐาน (0-100 microgram/ml) หรือสารสกัดข้าวปริมาตร 0.4 ml (3 ซ้ำ)

↓

เติม Folin-Ciocalteu 2 ml. ทิ้งไว้ 4 นาที

↓

เติมสารละลาย Na_2CO_3 1.6 ml. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

(สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ความเข้มของสีตามความเข้มข้นของ gallic acid)

↓

นำสารละลายส่วนใสวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm. (ใช้น้ำกลั่นเป็น blank)

↓

พลอตกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของ gallic acid (microgram/ml)

↓

คำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

หมายเหตุ ตัวอย่างที่ใช้วัดค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่าการดูดกลืนแสงควรอยู่ในช่วงของสารละลายมาตรฐานและไม่ควรเกิน 1 จึงจาเป็นต้องเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนทาปฏิกิริยา

2. การตรวจสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในข้าว (Antioxidant activity) โดยวิธี

2.1 Trolox Equivalent Antioxidant capacity Assay: TEAC โดยใช้ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl ($DPPH^+$) ดัดแปลงจากวิธีของ Zigonenu et al., (2007) [110]

การเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้นต่างๆ และนำมาพลอตกราฟเพื่อศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเทียบกับ Trolox

2.1.1 การเตรียมสารเคมี

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

1 mM = 0.394.33 g/1000 ml

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

ต้องการเตรียมความเข้มข้น 200 micromole (μM) ปริมาตร 100 ml น้ำหนัก $DPPH^+$ ที่ใช้คือ = 0.03944/5 = 0.0079 g

เตรียมสารละลาย $DPPH^+$ ความเข้มข้น 200 micromole (μM) ในร้อยละ 50 ethanol ปริมาตร 100 ml ดังนี้

ชั่ง $DPPH^+$ 0.0079 g

↓

เติม Ethanol 50 ml กวนผสมโดยใช้ Magnetic bar 15 นาที

↓

เติมน้ำกลั่น 50 ml กวนโดยใช้ Magnetic bar ต่ออีก 10 นาที

↓

สารละลาย $DPPH^+$ สำหรับการวิเคราะห์

(ควรเตรียมทุกวันก่อนการวิเคราะห์ และเก็บในที่มืด)

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

1 mM = 0.25029 g/1000 ml

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

ต้องการเตรียมความเข้มข้น 200 micromole (μM) ปริมาตร 100 ml น้ำหนัก $DPPH^+$ ที่ใช้คือ = 0.025029 /5 = 0.0050 g

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

ชั่ง Trolox 0.0050 g

↓

เติม methanol ร้อยละ 80 และปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml

↓

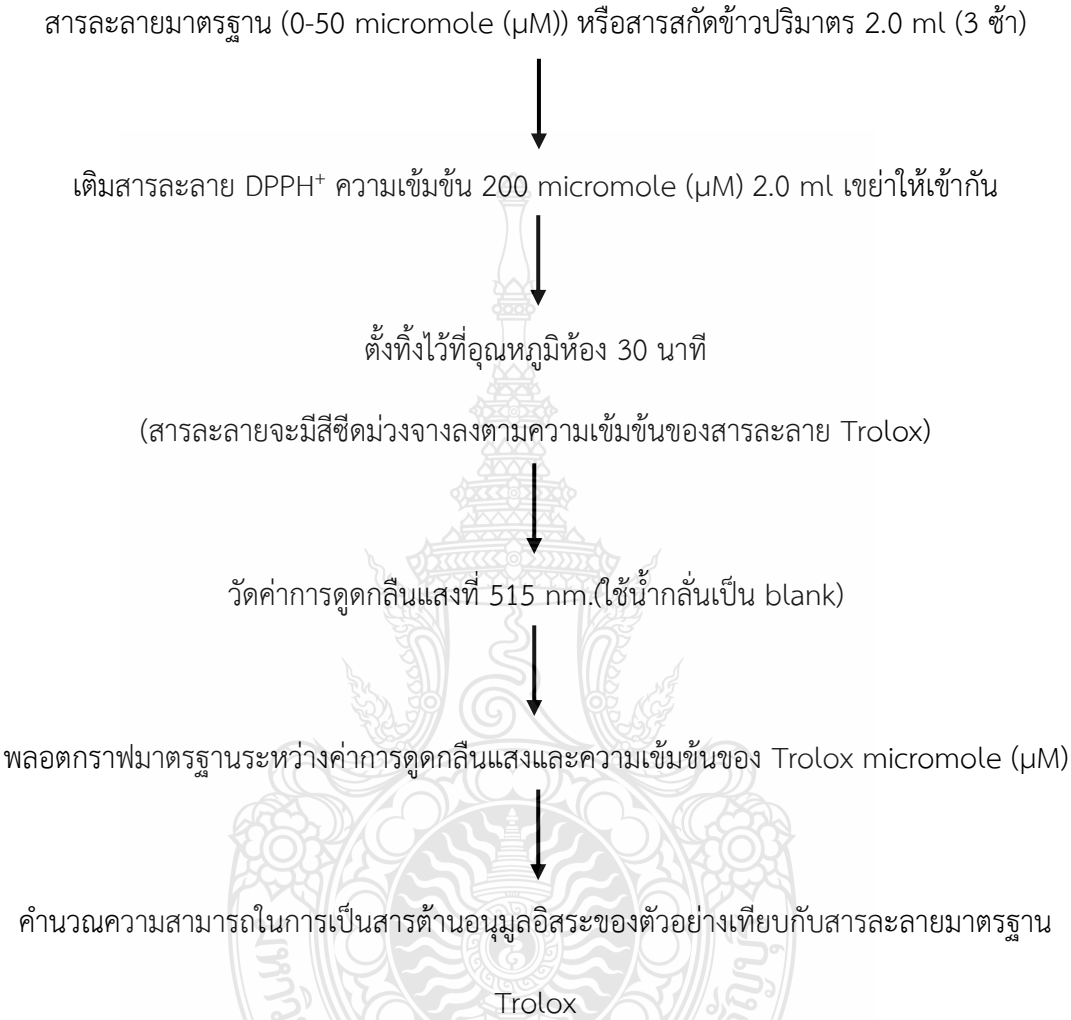
เจือจางด้วย methanol ร้อยละ 80 ที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 micromole (μM) ปริมาตร 5 ml (ใช้ methanol ร้อยละ 80 ที่ความเข้มข้น 0 และ Trolox (200 micromole (μM)) 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, และ 1.25 ตามลำดับ

↓

ปรับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานด้วย methanol ร้อยละ 80 ให้ได้ปริมาตร 5 ml

(4.75, 4.5, 4.25, 4.0 และ 3.75 ตามลำดับ)

2.1.2 การวิเคราะห์



2.2 Trolox Equivalent Antioxidant capacity Assay: TEAC โดยใช้ 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt ($ABTS^+$ Assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Choi et al., (2007) [110]

2.2.1 การเตรียมสารเคมี

สารละลาย $ABTS^+$ความเข้มข้น 7mM (ABTS+ MW. 548.68)

1 M = 548.68 g/1000 ml

1 mM = 0.548.68 g/1000 ml

7 mM = 3.84076/1000 ml

ต้องการเตรียมความเข้มข้น 7 mM ปริมาตร 50 ml น้าหนัก $ABTS^+$ ที่ใช้คือ

= (3.84076/1000) x 50 = 0.1920 g

เตรียมสารละลาย $ABTS^+$ความเข้มข้น 7mM/50ml โดยชั่ง $ABTS^+$ 0.1920g ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 ml

Potassium persulfate ความเข้มข้น 2.45 mM (MW. 270.32)

1M = 270.32 g/1000 ml

1 mM = 0.27032 g/1000 ml

2.45 mM = 0.662/1000 ml

ต้องการเตรียมความเข้มข้น 2.45 mM ปริมาตร 50 ml น้าหนัก Potassium persulfate ที่ใช้คือ = (0.662/1000) x 50 = 0.0331 g

ชั่งสาร Potassium persulfate 0.0331g ละลายด้วยสารละลาย $ABTS^+$ ความเข้มข้น 7mM/50ml ที่เตรียมก่อนหน้านี้ จะได้สารละลายผสมที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารมาตรฐาน โดยเก็บที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12-16 ชั่วโมงก่อนการใช้งาน (เก็บไว้ใช้ได้นาน 2-3 วัน ในที่มืด)

- สารละลายมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้น (0-200 µM) โดยเริ่มต้นจากความเข้มข้น 200 µM เหมือน DPPH คือ น้ำหนัก DPPH 0.0050 g ละลายใน ethanol

ชั่ง Trolox 0.0050 g

↓

เติม ethanol และปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml

↓

เจือจางด้วย Ethanol ที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 µg/ml ปริมาตร 2 ml

(ใช้ Ethanol ที่ความเข้มข้น 0 และ Trolox (200 µM) 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 และ 0.60 ตามลำดับ)

↓

ปรับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานด้วย Ethanol ให้ได้ปริมาตร 2 ml

(1.90, 1.80, 1.70, 1.60, 1.50 และ 1.40 ตามลำดับ)

- สารละลาย $ABTS^+$ Potassium persulfate ให้มีมีค่าการดูดกลืนแสง 0.70±0.02 (0.680-0.720)

สารละลาย $ABTS^+$ หลังทำปฏิกิริยากับ Potassium persulfate ต้องนำมาเจือจางด้วย ethanol ก่อนการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐาน โดยสารละลาย $ABTS^+$ ต้องมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความความยาวคลื่น 734 nm เท่ากับ 0.70±0.02 (สารละลาย $ABTS^+$ ที่เตรียมได้จากวันแรกใช้อัตราส่วนในการเจือจาง 0.1: 10 ml ทิ้งไว้ 4 นาทีก่อนทำปฏิกิริยา แต่เมื่อเก็บสารละลายไว้ใช้ในวัดถัดไปอัตราส่วนในการเจือจางจะลดลงเช่น วันที่ 3 อัตราส่วนในการเจือจางเป็น 0.1: 8 ml เมื่อเก็บจนครบ 1 สัปดาห์ อัตราส่วนในการเจืองจางจะเป็น 0.1: 7 ml ต้องทาการทดสอบการการใช้ทำปฏิกิริยาทุกครั้ง)

2.2.2 การวิเคราะห์

สารละลายมาตรฐาน Trolox หรือสารสกัดข้าว 0.1 ml เติมสารละลาย $ABTS^{+}$

ที่มีค่าการดูดกลืนแสง 0.70±0.02 ปริมาตร 3.9 ml

ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 6 นาที

วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 nm โดยใช้ ethanol เป็น blank

พลอตกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสง

3. การหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin) ในข้าว

โดยวิธี pH-differential method ดัดแปลงจากวิธีของ Finocchiaro et al.(2010) [111]

3.1 การเตรียมสารละลาย

- Potassium chloride (KCl) buffer, 0.025 M, pH 1.0

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

- Sodium acetate ($CH_3CO_2Na \cdot_3 H_2O$) buffer, 0.4 M, pH 4.5

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

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

กำหนดอัตราส่วนในการเจือจางตัวอย่างให้เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับ buffer pH 1.0 โดยค่า absorbance ต้องไม่เกิน 1.2 และตัวอย่างที่ใช้ในการทาปฏิกิริยาต้องไม่เกินร้อยละ 20 ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งอัตราส่วนในการเจือจางใช้เป็นตัวกาหนดค่า DF (Dilution factor) ที่ใช้ในการคำนวณ

การทำปฏิกิริยากับ buffer

สารสกัดข้าว 0.5 ml (3 ซ้า) 2 ชุดสำหรับ 2 buffer

↓

เติม buffer pH 1.0 และ buffer pH 4.5 ในแต่ละชุด 4.5 ml

↓

ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที (ไม่ควรเกิน 1ชั่วโมง)

↓

วัดค่า Absorbance ที่ 510 และ 700 nm.โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

↓

คำนวณค่า Absorbance (A)

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH\ 1} - (A_{510} - A_{700})_{pH\ 4.5}$$

↓

คำนวณค่า Anthocyanin content (mg/l)

$$\text{Anthocyanin content (mg/l)} = (A \times MW \times DF \times 10^3) / (e \times L)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเจือจาง

MW คือ มวลโมเลกุลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (449.2)

DF คือ Dilution Factor

e คือ Molar absorptivity ของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (26,900)

L คือ Pathlength (1 cm) (1.0)

10^3 คือ factor for conversion from g to mg

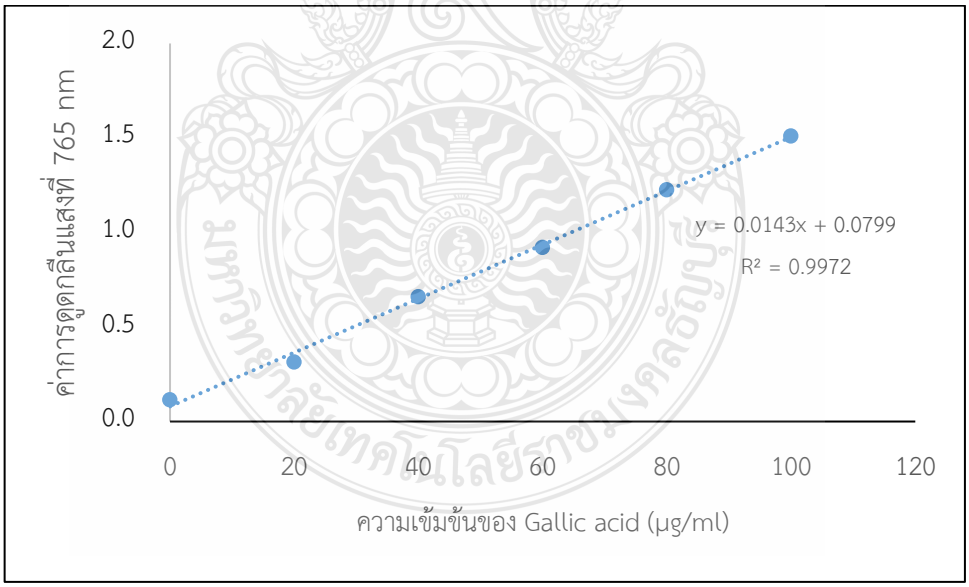
ภาคผนวก ง

กราฟมาตราฐาน

1. ค่าการดูดกลืนแสง ของ Gallic acid ที่เป็นสารมาตรฐาน ทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดังตารางที่ ง.1 และภาพที่ ง.1

ตารางผนวกที่ ง.1 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Gallic acid ในการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารมาตรฐาน	ความเข้มข้น (µg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสง				ค่าเฉลี่ย
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	
Gallic acid	0.0	0.112	0.102	0.125	0.122	0.115
	20.0	0.315	0.312	0.319	0.319	0.316
	40.0	0.668	0.642	0.680	0.656	0.662
	60.0	0.926	0.918	0.927	0.920	0.923
	80.0	1.211	1.232	1.241	1.227	1.228
	100.0	1.512	1.505	1.517	1.511	1.511

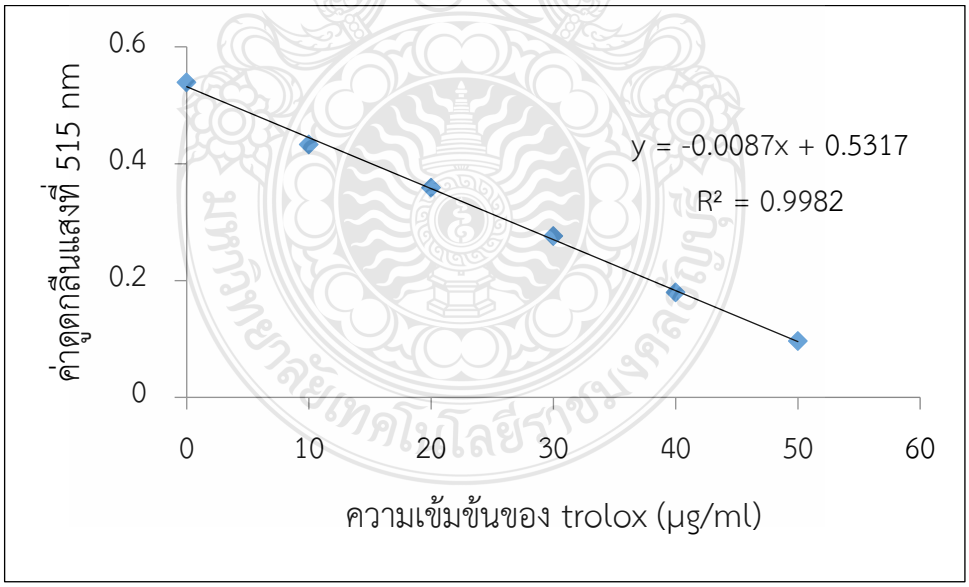


ภาพผนวกที่ ง.1 กราฟเส้นตรงของสารมาตรฐาน Gallic acid ในการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

2. ค่าการดูดกลืนแสงของ Trolox ที่เป็นสารมาตรฐาน เพื่อทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ตารางที่ ง.2 และภาพที่ ง.2

ตารางผนวกที่ ง.2 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

สารมาตรฐาน	ความเข้มข้น (µg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสง ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ค่าเฉลี่ย
Trolox	0	0.545	0.553	0.524	0.533	0.539
	10	0.438	0.423	0.441	0.428	0.433
	20	0.355	0.364	0.345	0.37	0.359
	30	0.278	0.28	0.265	0.281	0.276
	40	0.163	0.178	0.195	0.182	0.180
	50	0.07	0.098	0.116	0.101	0.096

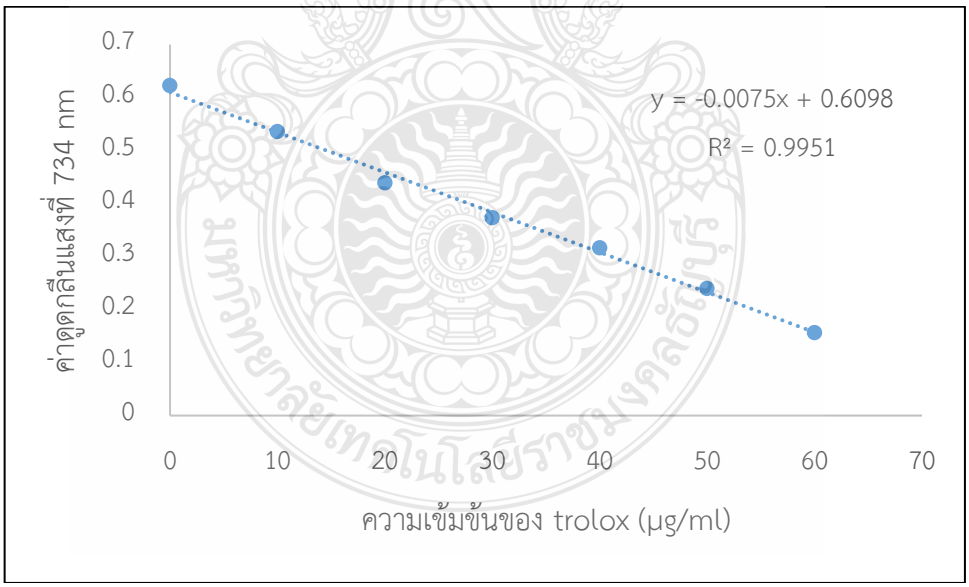


ภาพผนวกที่ ง.2 กราฟเส้นตรงของสารมาตรฐาน Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

3. ค่าการดูดกลืนแสงของ Trolox ที่เป็นสารมาตรฐาน เพื่อทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ตารางที่ ง.3 และภาพที่ ง.3

ตารางผนวกที่ ง.3 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS

สารมาตรฐาน	ความเข้มข้น (µg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสง ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ค่าเฉลี่ย
Trolox	0	0.617	0.629	0.624	0.62	0.622
	10	0.533	0.543	0.529	0.539	0.536
	20	0.436	0.442	0.448	0.431	0.439
	30	0.365	0.381	0.364	0.383	0.373
	40	0.321	0.311	0.326	0.309	0.317
	50	0.241	0.239	0.245	0.234	0.240
	60	0.151	0.164	0.152	0.159	0.157



ภาพผนวกที่ ง.3 กราฟเส้นตรงของสารมาตรฐาน Trolox ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS

ภาคผนวก จ

แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ตารางผนวกที่ จ.1 ตารางสุ่มตัวอย่างอาหาร

ตัวอย่าง							
จำนวนคน		1	2	3	4	5	6
	1	981	119	476	634	245	785
	2	422	293	627	781	196	331
	3	719	926	195	563	918	457
	4	174	455	588	857	479	166
	5	668	834	252	245	322	648
	6	296	662	831	196	952	222
	7	353	341	749	918	383	514
	8	847	787	964	479	536	418
	9	535	578	313	322	146	286
	10	248	814	999	952	775	534
	11	524	498	873	383	691	757
	12	716	675	785	536	849	875
	13	985	581	331	146	217	392
	14	371	137	457	775	428	661
	15	632	226	166	691	886	149
	16	863	349	648	849	622	923
	17	197	752	222	217	491	225
	18	459	963	514	428	743	779
	19	359	951	418	886	515	661
	20	627	737	286	622	259	119
	21	932	289	534	491	168	293
	22	576	693	757	743	937	926
	23	748	862	875	515	374	455
	24	191	174	392	259	565	834
	25	865	518	661	168	979	662
	26	484	426	149	937	127	341

ตารางผนวกที่ จ.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง							
จำนวนคน		1	2	3	4	5	6
	27	213	345	923	374	634	787
	28	466	622	225	565	781	578
	29	322	234	779	979	563	814
	30	255	553	661	127	857	498

แบบประเมินทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน ชุดที่ 1

ชื่อ _____ วันที่ _____อายุ _____

คำชี้แจ้ง : กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้จากซ้ายไปขวา ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแล้วให้คะแนนตามความชอบตามลำดับ คะแนนที่ได้ กำหนดไว้ด้านล่างตามปัจจัยคุณภาพ และกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
สี						
กลิ่นข้าว						
รสชาติ						
ความหวาน						
ความชอบโดยรวม						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ภาพผนวกที่ ง.1 แบบประเมินทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

ภาคผนวก ฉ

ภาพประกอบการทำการทดลอง

1. การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวและการล้างทำความสะอาดข้าว(ซาวข้าว)ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีในกระบวนการหุงข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

ชั่งข้าวไรซ์เบอรี่ 100 กรัม ตวงน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในถุงซีป เมื่อครบกำหนดเวลา ซาวครั้งที่ 1

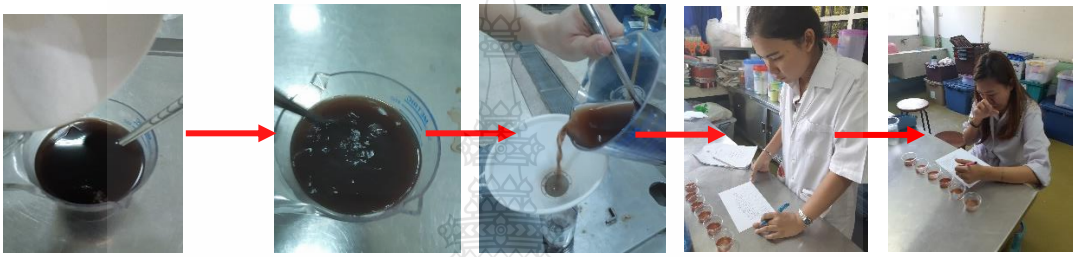
กรองน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ครั้งที่ 1 ชั่งน้ำหนักข้าว และเติมน้ำ ทำการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ครั้งที่ 2

กรองน้ำซาวครั้งที่ 2 ชั่งน้ำหนักข้าว และนำข้าวไปหุงให้สุก และชั่งน้ำหนัก นำไปวิเคราะห์ต่อไป

ภาพผนวกที่ ฉ.1 ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวและการล้างทำความสะอาดข้าว(ซาวข้าว)ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีในกระบวนการหุงข้าวกล้องไรซ์เบอรี่

2. การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

แช่ข้าวไรซ์เบอรี่ 2 ชั่วโมง ซาวข้าวไรซ์เบอรี่ ต้มพาสเจอไรส์ ชั่งสารให้ความหวาน

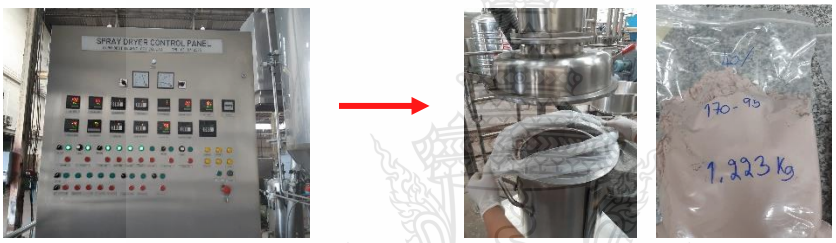


เทสารให้ความหวานลงไป คนให้ละลาย กรองตะกอน นำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

ภาพผนวกที่ ฉ.2 ขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

3. การศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่ม

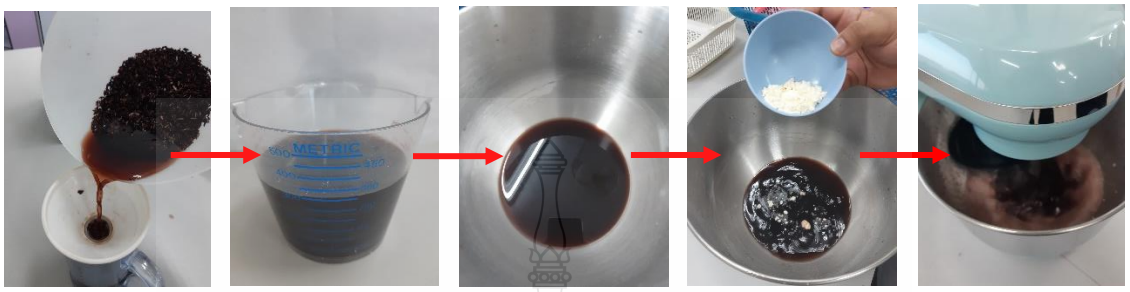
ชั่งน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ ชั่งสารพยุง ทำการผสมให้เข้ากัน กรองตะกอนออก วอมเครื่อง



กำหนดอุณหภูมิขาเข้า อัตราการไหล ได้ผลิตภัณฑ์ผงน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่

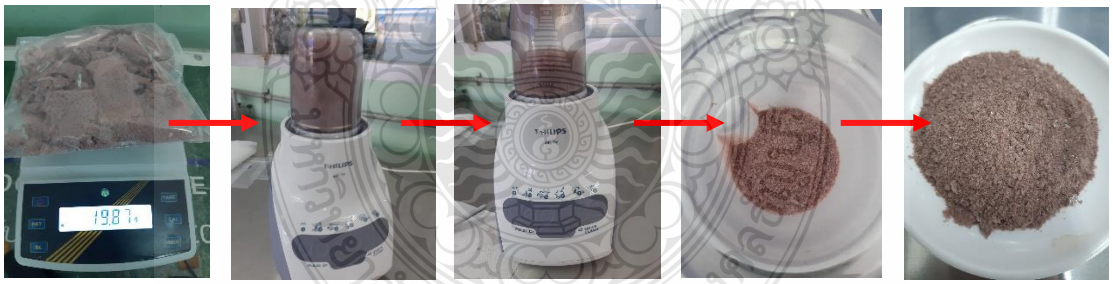
ภาพผนวกที่ ฉ.3 ขั้นตอนการศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่ม

4. การศึกษาปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท



กรองน้ำซาวข้าว วัดปริมาตร เทลงหม้อผสม เติมสารก่อโฟม เปิดเครื่องตีผสม

ปิดเครื่องตีผสม ชั่งน้ำหนักโฟม เทโฟมลงบนถาด เกลี่ยงโฟม นำเข้าอบให้แห้ง



ชั่งน้ำหนักหลังอบ ปั่นให้ละเอียด นำผงที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป

ภาพผนวกที่ ฉ.4 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณและชนิดของสารก่อโฟมต่อคุณลักษณะทางกิจกรรมและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่ผงชงพร้อมดื่มโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท

ภาคผนวก ช

ผลทางสถิติของการทดลอง

ตารางผนวกที่ ช.1 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	5.3733	0.31005	4.598	0.044
	0	1	4.1000	0.18682		
Total	2	0	3.4767	0.54243	8.366	0.014
	2	1	2.5700	0.39051		
Total	4	0	2.9900	0.17321	8.409	0.014
	4	1	1.7033	0.14224		
Total	6	0	3.3700	0.22539	7.411	0.018
	6	1	1.5167	0.22591		
Total	8	0	2.8233	0.14295	7.258	0.018
	8	1	1.9433	0.15695		
Total	10	0	2.9433	0.19757	39.934	0.001
	10	1	1.7233	0.23502		
Total	12	0	2.4400	0.38974	5.943	0.027
	12	1	1.2567	0.04509		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.2 ผลทางสถิติเปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	2.6900	1.16052	-5.998	0.027
	0	1	4.6400	1.67269		
Total	2	0	2.8767	0.07767	16.658	0.004
	2	1	1.9133	0.02309		
Total	4	0	2.7400	0.05568	18.441	0.003
	4	1	1.5433	0.07767		
Total	6	0	2.7600	0.12288	12.554	0.006
	6	1	1.4900	0.07937		
Total	8	0	2.5633	0.16862	6.256	0.025
	8	1	1.3067	0.19140		
Total	10	0	1.3867	0.15177	0.345	0.763
	10	1	1.3633	0.07506		
Total	12	0	0.3933	0.40464	-0.979	0.431
	12	1	0.9400	0.56312		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.3 ผลทางสถิติเปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	10.9000	0.87195	-2.950	0.098
	0	1	12.1100	0.85855		
Total	2	0	9.3433	0.31214	1.838	0.208
	2	1	9.0033	0.59181		
Total	4	0	8.4700	0.65108	-2.221	0.157
	4	1	9.1733	0.11240		
Total	6	0	9.0800	0.76413	-0.064	0.955
	6	1	9.0900	0.51391		
Total	8	0	9.3233	0.42911	-0.730	0.541
	8	1	9.4800	0.80075		
Total	10	0	8.4800	0.45078	5.735	0.029
	10	1	8.3967	0.47353		
Total	12	0	8.6300	0.29309	-1.864	0.203
	12	1	8.7933	0.42736		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.4 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานินของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	12.1200	0.88882	25.646	0.002
	0	1	5.4433	0.92916		
Total	2	0	9.1867	1.17189	2.683	0.115
	2	1	5.2767	1.58850		
Total	4	0	8.8533	0.49329	8.515	0.014
	4	1	3.3067	1.18450		
Total	6	0	7.9833	2.42261	2.724	0.112
	6	1	4.2767	0.20817		
Total	8	0	6.6133	1.121821	1.778	0.217
	8	1	4.1100	1.22882		
Total	10	0	6.1767	0.60277	4.050	0.056
	10	1	4.1467	1.45191		
Total	12	0	7.0800	1.11879	11.646	0.007
	12	1	2.9733	0.81365		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.5 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีความสว่าง (L*) ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	7.2733	0.55949	-0.226	0.842
	0	1	7.5067	2.31802		
Total	2	0	5.4233	1.06214	-8.975	0.012
	2	1	11.8033	1.02539		
Total	4	0	3.7467	0.47353	-17.504	0.003
	4	1	10.5300	0.25710		
Total	6	0	4.6900	0.71267	-5.646	0.030
	6	1	7.7500	0.26514		
Total	8	0	4.4100	0.36056	-10.416	0.009
	8	1	8.6333	0.39273		
Total	10	0	4.9233	0.24502	-44.225	0.001
	10	1	12.1633	0.08737		
Total	12	0	4.1800	1.21392	-8.172	0.015
	12	1	9.4333	1.32666		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.6 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีแดง (a*) ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	9.2767	2.26990	1.189	0.357
	0	1	4.7933	5.62708		
Total	2	0	13.9533	3.21833	-1.593	0.252
	2	1	16.9300	2.66929		
Total	4	0	10.9867	2.12679	-1.303	0.323
	4	1	13.7467	1.66626		
Total	6	0	11.3433	2.83585	-0.550	0.638
	6	1	12.5233	1.78931		
Total	8	0	11.3567	2.81397	-0.912	0.458
	8	1	12.4200	0.79605		
Total	10	0	10.1600	2.95269	-2.255	0.153
	10	1	13.4100	0.70682		
Total	12	0	12.5700	0.88476	-4.523	0.046
	12	1	13.2267	0.99027		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.7 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีน้ำเงิน (b*) ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	3.1233	1.80871	2.871	0.103
	0	1	-3.8300	5.75897		
Total	2	0	-0.7033	4.68061	-0.270	0.812
	2	1	-0.0200	0.48590		
Total	4	0	-1.1333	1.91474	-1.824	0.210
	4	1	1.8633	2.51615		
Total	6	0	2.4200	1.10313	1.270	0.332
	6	1	1.0067	1.26358		
Total	8	0	1.3133	2.61600	1.092	0.389
	8	1	-0.5100	3.55194		
Total	10	0	-0.0267	0.50718	-5.907	0.027
	10	1	7.6100	2.74022		
Total	12	0	-0.1733	4.59218	-1.222	0.346
	12	1	2.5700	0.71631		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.8 ผลทางสถิติของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ฟินอลิกทั้งหมด	Between Groups	49.067	13	3.774	51.754	.000
	Within Groups	2.042	28	.073		
	Total	51.109	41			
สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH	Between Groups	45.222	13	3.479	10.239	.000
	Within Groups	9.513	28	.340		
	Total	54.734	41			
สารต้านอนุมูลอิสระ ABTS	Between Groups	40.710	13	3.132	9.228	.000
	Within Groups	9.502	28	.339		
	Total	50.212	41			
สารแอนโทไซยานิน	Between Groups	262.753	13	20.212	13.811	.000
	Within Groups	40.976	28	1.463		
	Total	303.729	41			
ค่าสีความสว่าง (L*)	Between Groups	322.890	13	24.838	28.225	.000
	Within Groups	24.640	28	.880		
	Total	347.529	41			
ค่าสีแดง (a*)	Between Groups	299.784	13	23.060	3.495	.003
	Within Groups	184.752	28	6.598		
	Total	484.536	41			
ค่าสีน้ำเงิน (b*)	Between Groups	270.123	13	20.779	2.420	.024
	Within Groups	240.438	28	8.587		
	Total	510.561	41			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.9 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	0.3367	0.01155	2.734	0.112
	0	1	0.1900	0.08185		
Total	2	0	2.2833	0.10693	4.265	0.051
	2	1	1.4467	0.30616		
Total	4	0	1.6033	0.37434	-0.167	0.883
	4	1	1.6333	0.40204		
Total	6	0	1.5100	0.24515	-3.725	0.065
	6	1	2.1933	0.14572		
Total	8	0	1.5233	0.09609	-2.306	0.148
	8	1	1.7433	0.25891		
Total	10	0	1.6400	0.17436	-0.496	0.669
	10	1	1.7100	0.41869		
Total	12	0	1.9100	0.24249	-0.421	0.715
	12	1	2.0567	0.68705		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.10 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	1.0067	0.14224	0.389	0.735
	0	1	0.9200	0.52307		
Total	2	0	1.1233	0.82039	-8.533	0.013
	2	1	2.8000	1.09713		
Total	4	0	1.2000	0.24576	-4.146	0.054
	4	1	2.6033	0.34122		
Total	6	0	1.2867	0.65310	-6.577	0.022
	6	1	3.4700	0.67089		
Total	8	0	2.4900	0.64086	0.172	0.880
	8	1	2.4000	0.39837		
Total	10	0	2.6533	0.64632	-0.185	0.870
	10	1	2.7800	0.54065		
Total	12	0	2.3700	0.32512	0.161	0.887
	12	1	2.3233	0.48993		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.11 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE					
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
Total	0	0	2.3667	0.19553	9.350	0.011
	0	1	0.6267	0.18771		
Total	2	0	4.5300	0.08660	71.876	0.000
	2	1	0.3733	0.13614		
Total	4	0	4.9000	0.10583	166.273	0.000
	4	1	0.3633	0.11060		
Total	6	0	4.7233	0.14844	44.971	0.000
	6	1	0.4333	0.03055		
Total	8	0	5.3667	0.15144	730.000	0.000
	8	1	0.5000	0.1400		
Total	10	0	4.9833	0.32517	30.038	0.001
	10	1	0.6500	0.07550		
Total	12	0	4.8900	0.37403	36.553	0.001
	12	1	0.5633	0.17214		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.12 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานินของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	0.2667	0.20817	-5.009	0.038
	0	1	1.6333	0.41633		
Total	2	0	3.9100	0.36056	10.367	0.009
	2	1	0.8000	0.36056		
Total	4	0	3.7100	0.55678	19.110	0.003
	4	1	0.9333	0.32146		
Total	6	0	4.0433	0.56862	5.581	0.031
	6	1	0.6333	0.49329		
Total	8	0	4.5433	0.77675	19.631	0.003
	8	1	0.9000	0.45826		
Total	10	0	4.5433	0.05774	8.535	0.013
	10	1	0.3333	0.80208		
Total	12	0	3.5767	0.32146	9.597	0.011
	12	1	0.7333	0.30551		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.13 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีความสว่าง (L*) ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	4.0933	0.30892	-5.887	0.028
	0	1	6.8200	1.11014		
Total	2	0	4.1700	0.77253	-2.725	0.112
	2	1	7.0833	1.16972		
Total	4	0	3.3700	1.90549	-2.092	0.172
	4	1	6.3233	1.19584		
Total	6	0	2.6033	1.86039	-5.036	0.037
	6	1	6.8567	0.40624		
Total	8	0	3.7100	1.91502	-2.896	0.101
	8	1	6.4367	0.29143		
Total	10	0	4.5200	1.19929	-2.855	0.104
	10	1	6.0200	0.33719		
Total	12	0	4.3567	0.44377	-4.950	0.038
	12	1	6.6467	0.49217		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.14 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีแดง (a*) ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	11.3833	6.17897	-1.298	0.324
	0	1	16.2767	1.46237		
Total	2	0	2.2933	1.93394	-0.903	0.462
	2	1	6.9300	8.48730		
Total	4	0	5.8300	3.81496	0.145	0.898
	4	1	5.2567	9.90213		
Total	6	0	2.5833	5.41808	-0.862	0.480
	6	1	6.9700	3.73097		
Total	8	0	-3.0567	6.16703	-3.332	0.079
	8	1	6.4900	1.70138		
Total	10	0	3.6933	3.08106	-1.520	0.268
	10	1	6.3900	0.19079		
Total	12	0	7.2733	2.53153	0.504	0.664
	12	1	6.4400	2.59000		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.15 ผลทางสถิติเปรียบเทียบค่าสีน้ำเงิน (b*) ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	1.0567	2.26385	-2.594	0.122
	0	1	6.5767	5.62627		
Total	2	0	-2.5367	1.69193	0.374	0.744
	2	1	-3.4233	3.14793		
Total	4	0	-1.5900	6.82879	0.289	0.799
	4	1	-2.8467	2.12147		
Total	6	0	-1.3767	5.16788	-0.298	0.794
	6	1	-0.0767	2.93367		
Total	8	0	-1.8233	9.05323	0.188	0.868
	8	1	-2.7767	1.79790		
Total	10	0	-1.8100	0.53703	0.730	0.541
	10	1	-2.6067	1.85915		
Total	12	0	-2.1500	5.86438	0.757	0.528
	12	1	-4.5933	0.91593		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.16 ผลทางสถิติเปรียบเทียบความเป็นกรดด่างของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	4.4267	0.07095	-2.643	0.118
	0	1	7.0000	1.74078		
Total	2	0	4.9900	0.11533	-0.016	0.989
	2	1	5.0000	0.98046		
Total	4	0	5.1167	0.01528	-35.351	0.001
	4	1	5.6567	0.01155		
Total	6	0	5.2567	0.03055	-3.775	0.064
	6	1	5.4467	0.11547		
Total	8	0	5.3133	0.01528	-23.056	0.002
	8	1	5.5167	0.00577		
Total	10	0	5.3467	0.00577	-1.880	0.201
	10	1	5.6853	0.31703		
Total	12	0	5.4867	0.02082	-10.058	0.010
	12	1	5.6733	0.01155		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.17 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
	ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซาวข้าว (ครั้งที่)				
Total	0	0	0.1000	0.01000	4.000	0.057
	0	1	0.0733	0.00577		
Total	2	0	0.1000	0.01000	4.000	0.057
	2	1	0.0733	0.00577		
Total	4	0	1.0000	0.00000	159.349	0.000
	4	1	0.0800	0.01000		
Total	6	0	0.5000	0.00000	50.269	0.000
	6	1	0.0567	0.01528		
Total	8	0	0.4000	0.00000	22.913	0.002
	8	1	0.0500	0.02646		
Total	10	0	0.6000	0.00000	36.661	0.001
	10	1	0.0400	0.02646		
Total	12	0	0.7000	0.00000	41.898	0.001
	12	1	0.0600	0.02646		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.18 ผลทางสถิติของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ฟินอลิกทั้งหมด	Between Groups	14.259	13	1.097	11.741	.000
	Within Groups	2.616	28	.093		
	Total	16.875	41			
สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH	Between Groups	26.300	13	2.023	5.841	.000
	Within Groups	9.698	28	.346		
	Total	35.999	41			
สารต้านอนุมูลอิสระ ABTS	Between Groups	188.845	13	14.527	430.204	.000
	Within Groups	.945	28	.034		
	Total	189.790	41			
สารแอนโทไซยานิน	Between Groups	116.637	13	8.972	40.345	.000
	Within Groups	6.227	28	.222		
	Total	122.863	41			
ค่าสีความสว่าง (L*)	Between Groups	90.720	13	6.978	5.512	0.000
	Within Groups	35.447	28	1.266		
	Total	126.167	41			
ค่าสีแดง (a*)	Between Groups	755.703	13	58.131	2.425	0.024
	Within Groups	671.095	28	23.968		
	Total	1426.798	41			
ค่าสีน้ำเงิน (b*)	Between Groups	280.132	13	21.549	1.160	0.356
	Within Groups	520.333	28	18.583		
	Total	800.465	41			
ความเป็นกรดด่าง	Between Groups	12.555	13	0.966	3.277	0.004
	Within Groups	8.252	28	0.295		
	Total	20.806	41			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.18 ผลทางสถิติของน้ำแช่และซาวข้าวไรซ์เบอรี่ต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่กับจำนวนครั้งในการซาวข้าวไรซ์เบอรี่ (ต่อ)

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งที่ละลายได้	Between Groups	3.307	13	0.254	3.684E3	0.000
	Within Groups	0.002	28	0.000		
	Total	3.309	41			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.19 ผลทางสถิติของข้าวไรซ์เบอรี่หุงต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ฟินอลิกทั้งหมด	Between Groups	16.322	6	2.720	46.301	0.000
	Within Groups	0.823	14	0.059		
	Total	17.144	20			
สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH	Between Groups	0.325	6	0.054	0.448	0.835
	Within Groups	1.692	14	0.121		
	Total	2.016	20			
สารต้านอนุมูลอิสระ ABTS	Between Groups	5.969	6	0.995	14.225	0.000
	Within Groups	0.979	14	0.070		
	Total	6.948	20			
สารแอนโทไซยานิน	Between Groups	2.758	6	0.460	1.627	0.212
	Within Groups	3.956	14	0.283		
	Total	6.714	20			
ค่าสีความสว่าง (L*)	Between Groups	23.895	6	3.982	6.295	0.002
	Within Groups	8.857	14	0.633		
	Total	32.752	20			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.19 ผลทางสถิติของข้าวไรซ์เบอรี่หุงต่อระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอรี่ (ต่อ)

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ค่าสีแดง (a*)	Between Groups	155.718	6	25.953	5.057	0.006
	Within Groups	71.844	14	5.132		
	Total	227.562	20			
ค่าสีน้ำเงิน (b*)	Between Groups	131.367	6	21.894	4.147	0.013
	Within Groups	73.920	14	5.280		
	Total	205.287	20			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.20 ผลทางสถิติของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ค่าสีความสว่าง (L*)	Between Groups	1.119	5	0.224	0.125	0.984
	Within Groups	21.417	12	1.785		
	Total	22.536	17			
ค่าสีแดง (a*)	Between Groups	155.229	5	31.046	4.365	0.017
	Within Groups	85.341	12	7.112		
	Total	240.570	17			
ค่าสีน้ำเงิน (b*)	Between Groups	95.576	5	19.115	27.829	0.000
	Within Groups	8.243	12	0.687		
	Total	103.819	17			
ความเป็นกรดด่าง	Between Groups	0.066	5	0.013	98.475	0.000
	Within Groups	0.002	12	0.000		
	Total	0.067	17			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.20 ผลทางสถิติของน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน (ต่อ)

	TYPE	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งที่ละลายได้	Between Groups	0.206	5	0.041	.	.
	Within Groups	0.000	12	0.000		
	Total	0.206	17			
สารแอนโทไซยานิน	Between Groups	2802.245	5	560.449	3.018E3	0.000
	Within Groups	2.228	12	0.186		
	Total	2804.474	17			
ฟินอลิกทั้งหมด	Between Groups	25.766	5	5.153	11.482	0.000
	Within Groups	5.386	12	0.449		
	Total	31.151	17			
สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH	Between Groups	80.093	5	16.019	3.037	0.053
	Within Groups	63.285	12	5.274		
	Total	143.378	17			
สารต้านอนุมูลอิสระ ABTS	Between Groups	9.318	5	1.864	21.798	0.000
	Within Groups	1.026	12	0.085		
	Total	10.344	17			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.21 ผลทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัสน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน

	TYPE	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
สี	Between Groups	5.267	5	1.053	1.214	0.304
	Within Groups	150.933	174	0.867		
	Total	156.200	179			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.21 ผลทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัสน้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมสารให้ความหวาน (ต่อ)

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
กลิ่นข้าว	Between Groups	62.578	5	12.516	6.099	0.000
	Within Groups	357.067	174	2.052		
	Total	419.644	179			
รสชาติ	Between Groups	42.511	5	8.502	3.761	0.003
	Within Groups	393.400	174	2.261		
	Total	435.911	179			
ความหวาน	Between Groups	43.694	5	8.739	3.907	0.002
	Within Groups	389.167	174	2.237		
	Total	432.861	179			
ความชอบโดยรวม	Between Groups	38.628	5	7.726	3.403	0.006
	Within Groups	395.033	174	2.270		
	Total	433.661	179			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.22 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบพ่นฝอยในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งที่ละลายได้	Between Groups	105.627	3	35.209	880.222	0.000
	Within Groups	0.320	8	0.040		
	Total	105.947	11			
อัตราการละลาย	Between Groups	1.221	3	0.407	4.602	0.037
	Within Groups	0.707	8	0.088		
	Total	1.929	11			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.22 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบพ่นฝอยในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 (ต่อ)

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ร้อยละผลผลิต	Between Groups	46.942	3	15.647	2.682E3	0.000
	Within Groups	0.047	8	0.006		
	Total	46.989	11			
ความเป็นกรด-ด่าง	Between Groups	0.450	3	0.150	1.800E3	0.000
	Within Groups	0.001	8	0.000		
	Total	0.451	11			
ปริมาณความชื้น	Between Groups	2.235	3	0.745	74.613	0.000
	Within Groups	0.080	8	0.010		
	Total	2.315	11			
ปริมาณน้ำอิสระ	Between Groups	0.006	3	0.002	1.337E3	0.000
	Within Groups	0.000	8	0.000		
	Total	0.006	11			
ค่าสีความสว่าง (L*) ผง	Between Groups	3.701	3	1.234	132.164	0.000
	Within Groups	0.075	8	0.009		
	Total	3.775	11			
ค่าสีแดง (a*) ผง	Between Groups	6.012	3	2.004	1.799	0.225
	Within Groups	8.914	8	1.114		
	Total	14.926	11			
ค่าสีน้ำเงิน (b*) ผง	Between Groups	6.689	3	2.230	1.923	0.204
	Within Groups	9.278	8	1.160		
	Total	15.967	11			
ค่าสีความสว่าง (L*) น้ำ	Between Groups	5.591	3	1.864	1.861	0.215
	Within Groups	8.012	8	1.001		
	Total	13.603	11			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.22 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบพ่นฝอยในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 (ต่อ)

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ค่าสีแดง (a*) น้ำ	Between Groups	20.541	3	6.847	1.154	0.385
	Within Groups	47.471	8	5.934		
	Total	68.012	11			
ค่าสีน้ำเงิน (b*) น้ำ	Between Groups	1.634	3	0.545	0.223	0.878
	Within Groups	19.523	8	2.440		
	Total	21.158	11			
สารแอนโทไซยานิน	Between Groups	1.141	3	0.380	2.135	0.174
	Within Groups	1.426	8	0.178		
	Total	2.567	11			
ฟินอลิกทั้งหมด	Between Groups	0.028	3	0.009	1.977	0.196
	Within Groups	0.038	8	0.005		
	Total	0.066	11			
สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH	Between Groups	4.585	3	1.528	2.083	0.181
	Within Groups	5.870	8	0.734		
	Total	10.455	11			
สารต้านอนุมูลอิสระ ABTS	Between Groups	0.285	3	0.095	6.376	0.016
	Within Groups	0.119	8	0.015		
	Total	0.404	11			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.23 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบโฟมแมทในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
การขึ้นฟู	Between Groups	311316.667	8	38914.583	315.405	0.000
	Within Groups	2220.833	18	123.380		
	Total	313537.500	26			
ความหนาแน่น	Between Groups	4295.093	8	536.887	479.680	0.000
	Within Groups	20.147	18	1.119		
	Total	4315.240	26			
ความคงตัว	Between Groups	93.254	8	11.657	60.409	0.000
	Within Groups	3.473	18	0.193		
	Total	96.727	26			
การละลาย	Between Groups	6826.451	8	853.306	4.017E3	0.000
	Within Groups	3.824	18	0.212		
	Total	6830.275	26			
ร้อยละการผลิต	Between Groups	48.749	8	6.094	80.623	0.000
	Within Groups	1.360	18	0.076		
	Total	50.109	26			
ความเป็นกรด-ด่าง	Between Groups	1.155	8	0.144	11.305	0.000
	Within Groups	0.230	18	0.013		
	Total	1.385	26			
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	Between Groups	1.131	8	0.141	11.827	0.000
	Within Groups	0.215	18	0.012		
	Total	1.346	26			
ปริมาณความชื้น	Between Groups	85.134	8	10.642	822.577	0.000
	Within Groups	0.233	18	0.013		
	Total	85.367	26			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.23 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบโฟมแมทในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 (ต่อ)

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณน้ำอิสระ	Between Groups	0.385	8	0.048	896.138	0.000
	Within Groups	0.001	18	0.000		
	Total	0.386	26			
ค่าสีความสว่าง (L*) ผง	Between Groups	899.940	8	112.492	2.058E3	0.000
	Within Groups	0.984	18	0.055		
	Total	900.924	26			
ค่าสีแดง (a*) ผง	Between Groups	9.201	8	1.150	3.951	0.007
	Within Groups	5.240	18	0.291		
	Total	14.441	26			
ค่าสีน้ำเงิน (b*) ผง	Between Groups	440.076	8	55.010	132.577	0.000
	Within Groups	7.469	18	0.415		
	Total	447.545	26			
ค่าสีความสว่าง (L*) น้ำ	Between Groups	9.217	8	1.152	1.310	0.300
	Within Groups	15.833	18	0.880		
	Total	25.050	26			
ค่าสีแดง (a*) น้ำ	Between Groups	45.993	8	5.749	0.756	0.644
	Within Groups	136.911	18	7.606		
	Total	182.904	26			
ค่าสีน้ำเงิน (b*) น้ำ	Between Groups	146.153	8	18.269	2.170	0.082
	Within Groups	151.542	18	8.419		
	Total	297.695	26			
สารแอนโทไซยานิน	Between Groups	38.562	8	4.820	1.105	0.404
	Within Groups	78.510	18	4.362		
	Total	117.072	26			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.23 ผลทางสถิติของการทำแห้งแบบโฟมแมทในผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 (ต่อ)

TYPE		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ฟินอลิกทั้งหมด	Between Groups	11.132	8	1.392	127.047	0.000
	Within Groups	0.197	18	.011		
	Total	11.329	26			
สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH	Between Groups	158.033	8	19.754	455.067	0.000
	Within Groups	0.781	18	0.043		
	Total	158.814	26			
สารต้านอนุมูลอิสระ ABTS	Between Groups	1.891	8	0.236	9.886	0.000
	Within Groups	0.430	18	0.024		
	Total	2.321	26			

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.24 ผลทางสถิติเปรียบเทียบการละลาย ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

TYPE			Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	1.8600	0.33000	-4.007	0.057
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	2.9400	0.30414		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.25 ผลทางสถิติเปรียบเทียบร้อยละการผลิต ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	22.7333	0.11547	169.589	0.000
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	7.0267	0.20429		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.26 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณความชื้น ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	2.9437	0.00643	-149.498	0.000
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	4.3567	0.01528		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.27 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณน้ำอิสระ ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	0.1057	0.00075	-26.388	0.001
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	0.3121	0.01430		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.28 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานิน ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์-เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	1.8035	0.36128	-7.767	0.016
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	5.9782	0.63636		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.29 ผลทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	0.1729	0.07103	-109.480	0.000
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	4.6626	0.02685		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.30 ผลทางสถิติเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $DPPH^+$ ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	5.5441	0.53334	-20.652	0.002
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	9.2433	0.31171		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางผนวกที่ ช.31 ผลทางสถิติเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ ของผลิตภัณฑ์น้ำซาวข้าวไรซ์เบอรี่เสริมซูคราโลส ร้อยละ 0.014 ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับโฟมแมท

	TYPE		Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
การทำแห้ง	สารพยุง/สารก่อโฟม	ปริมาณ				
พ่นฝอย	มอนโตเด็กซ์ตริน	50	0.8578	0.13382	-4.677	0.43
โฟมแมท	ไข่ขาวผง	2.5	1.2008	0.01270		

หมายเหตุ: วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายไชยภร เก็บเงิน

วัน เดือน ปีเกิด 2 มกราคม 2537

ที่อยู่ 39/579 หมู่ที่ 1 หมู่บ้านพรธิสาร4 ซอย 91 ตำบลคลองเจ็ด
อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

การศึกษา ปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิชาอุตสาหกรรมการเกษตร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เบอร์โทรศัพท์ 086-564-2308

อีเมล chaiyaporn_k@mail.rmutt.ac.th

Biography

Name – Surname	Mr. Chaiyaporn Kebngoen
Date of Birth	January 2, 1994
Address	39/579 moo.1 Khlong Chet, Klong Luang, Pathum Thani, Thailand 12120
Education	Master of Foodsci
Telephone Number	086-564-2308
Email Address	chaiyaporn_k@mail.rmutt.ac.th