ผลของกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ต่อสมบัติทางเคมี กายภาพและอายุการเก็บชาข้าวไรซ์เบอรี

นางสาวศิรินันท์ วงศ์วิศิษฎ์ชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PROCESSING AND PACKAGING ON CHEMICAL, PHYSICAL PROPERTIES AND SHELF LIFE OF RICEBERRY TEA

Miss Sirinan Wongwisitchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและอายุการเก็บชาข้าวไรซ์เบอรี
โดย	นางสาวศิรินันท์ วงศ์วิศิษฎ์ชัย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ตุลยธัญ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศิรินันท์ วงศ์วิศิษฎ์ชัย : ผลของกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ต่อสมบัติทางเคมี กายภาพและอายุการเก็บชาข้าวไรซ์เบอรี (EFFECTS OF PROCESSING AND PACKAGING ON CHEMICAL, PHYSICAL PROPERTIES AND SHELF LIFE OF RICEBERRY TEA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล, 90 หน้า.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ อีกทั้งผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการสีเอาเปลือกออก โดยงานวิจัยแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ 1. การศึกษาผลของอุณหภูมิเตาที่ใช้คั่วข้าวไรซ์เบอรี (70, 120, 140 $^{\circ}$C) ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี 2. การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรี (การคั่วข้าว, การนึ่งข้าวร่วมกับการคั่วข้าว, การแช่ข้าวร่วมกับการนึ่งข้าวและการคั่วข้าว) ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี 3. การศึกษาผลของอุณหภูมิ (70, 75, 80, 85, 90 $^{\circ}$C) และเวลา (0, 2, 4, 6, 8, 10 นาที) ในการชงชาต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี และ 4. การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุต่างๆ (non-vacuum และ polypropylene (PP), non-vacuum และ nylon (PA), vacuum และ nylon (V-PA), non-vacuum และ laminated aluminium (Al), vacuum และ laminated aluminium (V-Al)) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี จากผลการทดลองพบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 120 $^{\circ}$C มีปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH free-radical scavenging activity (DPPH) และ ferric-reducing antioxidant power (FRAP) สูงที่สุด (188.56 ± 10.08 mg/100 g, 88.71 ± 0.97 %inhibition และ 237.52 ± 10.31 mM trolox/100 g ตามลำดับ) และพบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 140 $^{\circ}$C มีปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (163.88 ± 2.22 µg/g, 190.89 ± 8.55 mg GAE/100 g และ 140.27 ± 11.98 µg/g ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรี พบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วมีปริมาณสารพฤกษเคมี ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP สูงกว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการนึ่งร่วมกับการคั่วและข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการแช่ร่วมกับการนึ่งข้าวและการคั่วข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จึงเลือกการคั่วเป็นขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีที่จะใช้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี ในขณะที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารพฤกษเคมีและคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีคือ อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C เวลาชง 6 นาที นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุยังส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บชาข้าวไรซ์เบอรี โดยชาข้าวไรซ์เบอรีและน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีจะมีค่า a_w และค่า delta E* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณสารพฤกษเคมี ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP ของชาข้าวไรซ์เบอรีและน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ PP เกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อเก็บรักษาในสภาวะ PA, V-PA, Al, V-Al ตามลำดับ และการเก็บรักษาภายใต้ภาวะสุญญากาศช่วยยืดอายุของชาข้าวไรซ์เบอรีได้นานกว่าและรักษาปริมาณสารพฤกษเคมีต่างๆ ได้มากกว่าการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ และเมื่อพิจารณาคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บชาข้าวไรซ์เบอรี พบว่าชาข้าวไรซ์เบอรีมีอายุการเก็บรักษาเรียงจากมากไปน้อยในสภาวะการบรรจุดังนี้ V-Al>Al>V-PA>PA>PP

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5772166423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEYWORDS: RICEBERRY TEA, PROCESSING, PACKAGING, CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES, SHELF LIFE

SIRINAN WONGWISITCHAI: EFFECTS OF PROCESSING AND PACKAGING ON CHEMICAL, PHYSICAL PROPERTIES AND SHELF LIFE OF RICEBERRY TEA. ADVISOR: KITIPONG ASSATARAKUL, Ph.D., 90 pp.

This study aimed to investigate the effects of processing and packaging on chemical and physical properties and shelf life of riceberry tea. This experiment was composed of 4 parts including 1) Effect of roasting temperatures (70, 120, 140 $^{\circ}$C) on chemical and physical properties of riceberry tea 2) Effect of tea processing on chemical and physical properties of riceberry tea 3) Effect of soaking temperatures (70, 75, 80, 85, 90 $^{\circ}$C) and time (0, 2, 4, 6, 8, 10) on chemical and physical properties of riceberry tea and 4) Effect of packaging (non-vacuum and polypropylene (PP), non-vacuum and nylon (PA), vacuum and nylon (V-PA), non-vacuum and laminated aluminium (Al), vacuum and laminated aluminium (V-Al)) on quality and shelf life of riceberry tea. The results showed that 120 $^{\circ}$C-roasted riceberry had a highest content of anthocyanin (188.56 ± 10.08 mg/100 g), DPPH free-radical scavenging activity (88.71 ± 0.97 %Inhibition) and ferric-reducing antioxidant power or FRAP (237.52 ± 10.31 mM trolox/100 g) and highest content of gamma-oryzanol (163.88 ± 2.22 µg/g), total phenolic content (190.89 ± 8.55 mg GAE/100 g) and flavonoid content (140.27 ± 11.98 µg/g) were found in 140 $^{\circ}$C-roasted riceberry ($p \leq 0.05$). When comparing the process of riceberry tea production, it was found that roasted riceberry contained the highest phytochemicals content, antioxidant activity followed by steamed-roasted riceberry and soaked-steamed-roasted riceberry. In addition, tea making condition had a significant effect on chemical properties, antioxidant activity and consumer acceptance of riceberry tea. According to phytochemical contents and sensory scores, it showed that tea making at 80 °C and 6 min was the optimum condition in this study. Moreover, packaging material also affected the quality and shelf life of riceberry tea. During the storage time at ambient temperature, water activity and total color difference (delta E*) of all samples (roasted riceberry and riceberry tea) increased, while phytochemicals, DPPH and FRAP of all samples decreased. The quality changes of riceberry tea packed in PP was faster than riceberry tea packed in PA, V-PA, Al and V-Al, respectively. Once considering quality parameter together with sensory scores, it indicated that riceberry tea packed in V-Al had a longer shelf life than Al, V-PA, PA and PP, respectively.

Department: Food Technology Student's Signature .....
Field of Study: Food Technology Advisor's Signature .....
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) เลขที่สัญญา MSD57I0067 และบริษัท วุฒิชัยโปรดิวส์ จำกัด ที่ได้สนับสนุนเงินทุนวิจัย และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล ซึ่งให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่เสนอแนวความคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ รวมทั้งได้คอยให้ความรู้และคำแนะนำ กระตุ้นให้คิด วิเคราะห์ เพื่อแก้ปัญหาที่กำลังเผชิญ โดยอบรมสั่งสอนให้มีความอดทนและมีความพยายามในการปฏิบัติงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตาจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล ศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ตุลยธัญ ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ กลั่นกรองและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่าน สำหรับความรู้ทางวิชาการและคำแนะนำดีๆ ที่ได้มอบให้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่คอยให้กำลังใจ ปลอบโยนในวันที่ท้อแท้ และคอยช่วยเหลือซึ่งกันและกันตลอดมา

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณปะป๊า แม่จ๋า พี่ชาย รวมถึงญาติพี่น้องทุกๆ คนในครอบครัว สำหรับความรักและความห่วงใยที่มอบให้เสมอมา รวมทั้งการสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอดจนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ 2
2.1 ข้าว 2
2.1.1 ชนิดของข้าว 2
2.1.2 ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย 3
2.1.3 การปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอม 5
2.1.4 ข้าวไรซ์เบอรี 6
2.2 ชา 10
2.2.1 ประเภทของเครื่องดื่มชา 10
2.2.2 ประโยชน์ของสารสำคัญในเครื่องดื่มชา 13
2.3 ผลของกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงของสารพฤกษเคมี 15
2.4 บรรจุภัณฑ์ 17
2.4.1 บทนิยามคำศัพท์ทางการบรรจุ 17
2.4.2 หน้าที่ของภาชนะบรรจุอาหาร 18
2.4.3 ภาชนะบรรจุพลาสติก 19
2.4.4 ภาชนะบรรจุอะลูมิเนียม 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 22
3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นของข้าวไรซ์เบอรี 24
3.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิการคั่วต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี 25
3.3 การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี 25
3.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการชงชาต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี 26
3.5 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี 27
3.6 การประเมินผลทางสถิติ 28
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 29
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นของข้าวไรซ์เบอรี 29
4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิการคั่วต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี 30
4.3 การศึกษาผลขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ 32
4.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการชงชาต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี 36
4.5 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี 42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 62
รายการอ้างอิง 64
ภาคผนวก 72
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ 73
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ทางเคมี 74
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ทางชีวภาพ 82
ภาคผนวก ง การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาคผนวก จ ตัวอย่าง โครมาโตแกรมของการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล
ด้วยเครื่อง HPLC 85
ภาคผนวก ฉ ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์และสภาวะต่างๆ 88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ปริมาณและคุณประโยชน์ของสารอาหารต่างๆ ในข้าวไรซ์เบอรี 8

ตารางที่ 2 สมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง 24

ตารางที่ 3 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้น..... 29

ตารางที่ 4 ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ 30

ตารางที่ 5 อุณหภูมิและระยะเวลาในการคั่วข้าวไรซ์เบอรี 31

ตารางที่ 6 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วอุณหภูมิต่างๆ 32

ตารางที่ 7 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านสิ่งทดลอง 35

ตารางที่ 8 ค่าสีของข้าวไรซ์เบอรี 36

ตารางที่ 9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ 41

ตารางที่ 10 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ของชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา 42

ตารางที่ 11 ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมดของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 45

ตารางที่ 12 ปริมาณของยีสต์และราของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 45

ตารางที่ 13 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 52

ตารางที่ 14 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นก่อนเก็บรักษา 53

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของรวงข้าว 4

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของดอกข้าว 5

รูปที่ 3 ข้าวไรซ์เบอรี 7

รูปที่ 4 โครงสร้างแอนโทไซยานิน 15

รูปที่ 5 โครงสร้างแกมมา-โอไรซานอล (R คือ phytosterol หรือ triterpene alcohol) 16

รูปที่ 6 ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ 30

รูปที่ 7 กลไกการสลายตัวของ cyanidin-3-glucoside ในข้าวสีดำเมื่อได้รับความร้อน 34

รูปที่ 8 กลไกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินด้วยความร้อน 34

รูปที่ 9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ 37

รูปที่ 10 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ 38

รูปที่ 11 ปริมาณสารแอนโทไซยานินของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ 39

รูปที่ 12 ปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ 39

รูปที่ 13 ปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ 40

รูปที่ 14 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ 41

รูปที่ 15 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 43

รูปที่ 16 ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 46

รูปที่ 17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 18 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 48

รูปที่ 19 ปริมาณสารแอนโทไซยานินของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 49

รูปที่ 20 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน..... 51

รูปที่ 21 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน..... 51

รูปที่ 22 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 54

รูปที่ 23 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 54

รูปที่ 24 ปริมาณสารแอนโทไซยานินของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน..... 56

รูปที่ 25 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน..... 57

รูปที่ 26 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน..... 57

รูปที่ 27 คะแนนความชอบด้านสีน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 59

รูปที่ 28 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน..... 60

รูปที่ 29 คะแนนความชอบด้านรสชาติของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 60

รูปที่ 30 คะแนนความชอบโดยรวมของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน 61

รูปที่ 31 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์สารแกมมา-โอไรซานอล โดยใช้วิธี HPLC 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 32 กราฟมาตรฐานสำหรับการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu 76

รูปที่ 33 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP 81

รูปที่ 34 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 50 ppm..... 85

รูปที่ 35 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm 85

รูปที่ 36 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 400 ppm 86

รูปที่ 37 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 700 ppm 86

รูปที่ 38 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm 87

รูปที่ 39 โครมาโตแกรมของสารสกัดข้าวไรซ์เบอรี 87

รูปที่ 40 ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ non-vacuum และถุง polypropylene (PP)..... 88

รูปที่ 41 ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ vacuum และถุง laminated aluminium (V-Al) (a) และ non-vacuum และถุง laminated aluminium (Al) (b)..... 88

รูปที่ 42 ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ vacuum และถุง nylon (V-PA) (a) และ non-vacuum และถุง nylon (PA) (b) 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ชา เป็นเครื่องดื่มที่มีผู้บริโภคนิยมดื่มมากเป็นอันดับสองของโลกรองจากน้ำเปล่า เนื่องจากกระแสความตื่นตัวในการบริโภคเครื่องดื่มสมุนไพร เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ตลอดจนผลิตภัณฑ์จากชาที่มีความหลากหลายในด้านรสชาติและกลิ่น ส่วนใหญ่เครื่องดื่มประเภทชานั้นผลิตมาจากใบของต้นชา (*Camellia sinensis)* ซึ่งต่อมามีการนำพืชชนิดอื่นมาทำเป็นเครื่องดื่มเช่นเดียวกับใบชา จึงใช้คำว่า “ชา” นำหน้าชื่อพืชนั้นๆ เช่น ชาใบเตย ชาใบหม่อน และชาดอกคำฝอย สำหรับเมล็ดธัญพืชมีการนำมาทำเป็นชาเช่นกัน ได้แก่ ชาข้าวฟ่าง ชาข้าวก่ำ และชาข้าวหอม เป็นต้น เครื่องดื่มประเภทชานั้นมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ประเภทสารฟลาโวนอยด์ต่างๆ ที่จัดเป็นสารในกลุ่มสารพฤกษเคมี ซึ่งข้าวไรซ์เบอรี (riceberry) เป็นข้าวพันธุ์ผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลและข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีผลจากงานวิจัยพบว่าข้าวไรซ์เบอรีอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระทั้งที่ละลายได้ในน้ำและน้ำมัน เช่น แอนโทไซยานิน แกมมา-โอไรซานอล โพลีฟีนอล และโฟเลต เป็นต้น นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ โดยข้าวไรซ์เบอรีมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย มีสรรพคุณทางยา สามารถช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือด โรคสมองเสื่อม และโรคหัวใจ นอกจากนี้ข้าวไรซ์เบอร์รียังมีเส้นใยอาหารปริมาณมาก ซึ่งสามารถช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ป้องกันโรคหัวใจ ช่วยควบคุมน้ำหนัก และช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น ดังนั้นการแปรรูปข้าวไรซ์เบอรีเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทชาจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีอาจส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ที่สำคัญของข้าวไรซ์เบอรี รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้สารพฤกษเคมีที่สำคัญอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาอาจมีความสัมพันธ์กับสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีที่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ อีกทั้งผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

2.1.1 ชนิดของข้าว

ข้าว หมายถึง เมล็ดของพืชจำพวกหญ้าในวงศ์ Gramineae ใช้เป็นอาหารหลักที่สำคัญ นิยมปลูกกันมากในแถบประเทศเขตร้อน โดยข้าวสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน, 2525) ซึ่งข้าวเป็นธัญพืชที่เป็นพืชล้มลุกและลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อนมีอายุเพียงหนึ่งปี มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว มีรากเป็นระบบรากฝอย สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างในเขตอบอุ่นและเขตร้อน ทำให้เกิดความหลากหลายของชนิดข้าวต่างๆ ที่แพร่กระจายไปทั่วโลกอย่างน้อย 23 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามมีเพียง 2 ชนิดที่มนุษย์ปลูกเพื่อบริโภค คือ สายพันธุ์ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn) และสายพันธุ์ข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) โดยในที่นี้จะกล่าวถึงข้าวเอเชีย ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เรียกว่า จาปอนิกา (Japonica) จาปอนิกามีจุดกำเนิดมาจากการนำข้าวเอเชียจากบริเวณเนปาล อัสสัม ยูนาน และพม่า เข้าไปปลูกบริเวณลุ่มแม่น้ำเหลืองของจีน และจากอินโดจีนไปปลูกตามชายฝั่งและเข้าสู่บริเวณตอนล่างของลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียง จนได้สายพันธุ์เฉพาะที่เหมาะสมในการปลูกในเขตอบอุ่น ในเวลาต่อมาจึงแพร่กระจายไปยังประเทศเกาหลีและญี่ปุ่น เมื่อประมาณ 300 ปีก่อน คริสตศักราช ซึ่งข้าวสายพันธุ์นี้มีลักษณะเมล็ดสั้นป้อม กลมรี สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น และมีปริมาณอะมิโลสต่ำ (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

กลุ่มที่ 2 เรียกว่า อินดิกา (Indica) ข้าวสายพันธุ์นี้มีการแพร่กระจายลงมาจากตอนใต้ของอินเดียสู่ศรีลังกา และหมู่เกาะมลายู จากนั้นกระจายไปทางเหนือของภาคกลางและภาคใต้ของจีน ซึ่งข้าวสายพันธุ์นี้มีลักษณะเมล็ดเรียวยาวรีและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน

กลุ่มที่ 3 เรียกว่า จาวานิกา (Javanica) ข้าวสายพันธุ์นี้เป็นผลการคัดเลือกจากข้าวสายพันธุ์อินดิกา เริ่มมีการปลูกในประเทศอินโดนีเซีย เมื่อประมาณ 1,800 ปี ก่อนคริสตกาล และภายหลังได้มีการแพร่กระจายไปยังประเทศฟิลิปปินส์ ไต้หวัน ญี่ปุ่น และหมู่เกาะริวกิว โดยเมล็ดข้าวสายพันธุ์นี้มีลักษณะใหญ่และป้อม (บุญหงษ์ จงคิด, 2547)

2.1.2 ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย

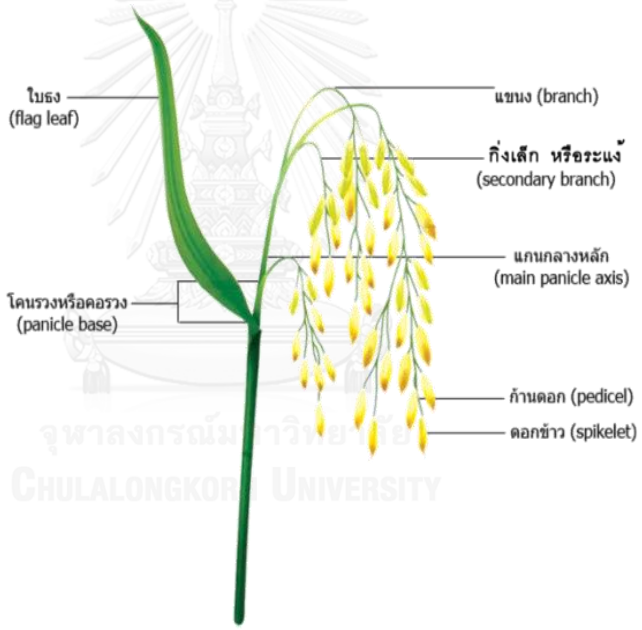
สำหรับข้าวที่ปลูกในประเทศไทยจะเป็นข้าวกลุ่มอินดิกา ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยข้าวทั้ง 2 ประเภทนี้มีลักษณะภายนอกเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่ปริมาณแป้งอะมิโลสในเมล็ด โดยเมล็ดข้าวเจ้ามีปริมาณแป้งอะมิโลส (amylose) ประมาณร้อยละ 15-30 ในขณะที่เมล็ดข้าวเหนียวมีปริมาณแป้งอะมิโลส (amylose) ประมาณร้อยละ 5-7 (พินิจ จันทร, 2555)

ข้าวเจ้าหอมมะลิ (Thai jasmine rice) เป็นข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย ซึ่งข้าวเจ้าหอมมะลิเป็นพันธุ์ข้าวที่ทำให้ข้าวไทยเป็นสินค้าส่งออกที่รู้จักไปทั่วโลก โดยในปี พ.ศ. 2502 คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ข้าวได้อนุมัติให้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 4-2-105 เป็นพันธุ์ข้าวที่ส่งเสริมให้แก่เกษตรกรปลูก โดยเกษตรกรทั่วไปเรียกข้าวพันธุ์นี้ว่า ขาวดอกมะลิ 105 ต่อมาได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จนได้พันธุ์ กข 15 ซึ่งกระทรวงพาณิชย์ประกาศให้ ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ จัดเป็นข้าวหอมมะลิไทย โดยข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย โดยลักษณะจำเพาะของกลิ่นหอมได้จากสารระเหย คือ 2-acetyl-1-pyroline ซึ่งเป็นสารที่สามารถระเหยง่าย ดังนั้นการรักษาความหอมของข้าวหอมมะลิให้คงนานนั้นจึงควรเก็บไว้ในที่เย็น (บุญหงษ์ จงคิด, 2547)

ข้าวเหนียว (glutinous rice) เป็นข้าวที่มีลักษณะเด่นคือเมล็ดข้าวที่สุกแล้วจะมีลักษณะเหนียวติดกันเหมือนกาว ซึ่งนิยมปลูกมากในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยและประเทศลาว ข้าวเหนียวเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางในประเทศ และเป็นอาหารหลักของประชากรในแถบภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ข้าวเหนียวสามารถบริโภคได้โดยตรงในลักษณะเดียวกันกับข้าวเจ้า นอกจากนี้ยังมีการนำข้าวเหนียวมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตสุราพื้นเมือง การผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและขนมขบเคี้ยว เป็นต้น (บุญหงษ์ จงคิด, 2547) โดยทั่วไปข้าวเหนียวมี 2 สี คือ ข้าวเหนียวดำหรือข้าวก่ำและข้าวเหนียวขาว

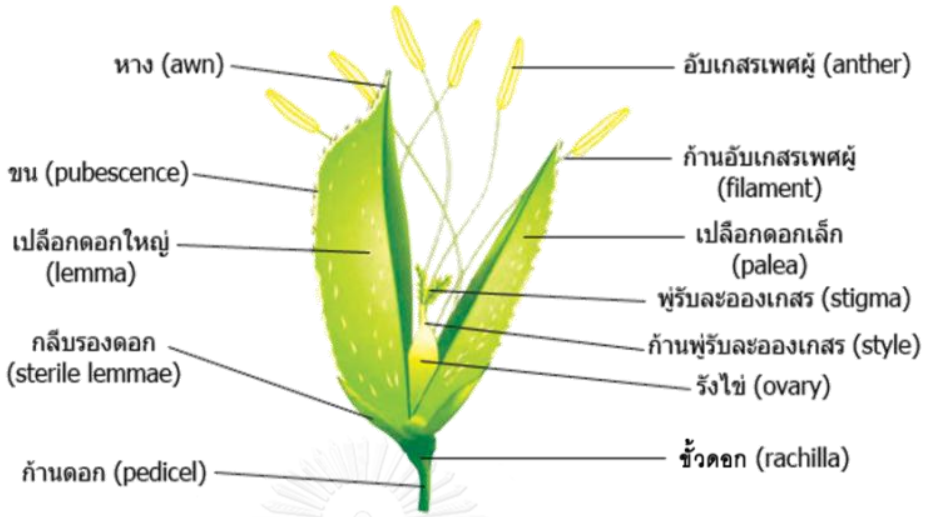
ลักษณะที่สำคัญของข้าวที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตและลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ มีดังนี้ ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต ซึ่งลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ ต้นข้าวไม่มีรากแก้ว แต่มีรากฝอยแตกแขนงกระจายแตกแขนงอยู่ใต้ผิวดิน โดยที่รากเป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้ม แต่ในบางครั้งอาจมีรากพิเศษเกิดขึ้นที่บริเวณข้ออยู่เหนือพื้นดิน ส่วนลำต้นมีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้องๆ มีข้อกั้นระหว่างปล้อง ซึ่งความยาวของปล้องนั้นจะแตกต่างกัน โดยที่จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ปกติมีประมาณ 20-25 ปล้อง และในส่วนใบของต้นข้าว ใบมีหน้าที่สังเคราะห์แสง โดยเปลี่ยนน้ำ แร่ธาตุอาหาร และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้ง เพื่อสร้างเมล็ดและใช้ในการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยทั่วไปข้าวสามารถขยายพันธุ์ได้ด้วยเมล็ดซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวเมียกับ

เกสรตัวผู้ ลักษณะที่สำคัญเกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ได้แก่ รวง ดอกข้าว และเมล็ดข้าว ซึ่งรวงข้าวหมายถึงช่อดอกของข้าว รวงข้าวเกิดขึ้นที่บริเวณข้อของปล้องอันสุดท้ายของต้นข้าว และระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายกับข้อต่อของใบเรียกว่าคอรวง ส่วนดอกข้าวหมายถึงส่วนที่เกสรตัวเมียและเกสรตัวผู้ผสมพันธุ์ ดอกข้าวประกอบด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกันทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ ส่วนเปลือกนอกแผ่นใหญ่เรียกว่าเลมมา และเปลือกนอกใหญ่แผ่นในจะเรียกว่าพาเลีย โดยทั้งสองเปลือกนี้ ภายนอกอาจมีลักษณะมีขนหรือไม่มีขนก็ได้ (รูปที่ 1) ในขณะที่เมล็ดข้าวหมายถึงส่วนที่เป็นแป้งที่เรียกว่า เอนโดสเปิร์ม และส่วนที่เป็นคัพภะ ซึ่งถูกห่อหุ้มไว้ด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น ซึ่งเอนโดสเปิร์มเป็นแป้งที่เราบริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิตและงอกออกเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ประสูติ สิทธิสรวง, 2524; วรวิทย์ พาณิชพัฒน์, 2530; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของรวงข้าว

ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล (2556)



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของดอกข้าว

ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล (2556)

2.1.3 การปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอม

ข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวสายพันธุ์ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน เนื่องจากลักษณะเมล็ดข้าวสุกมีสีขาว เรียว นุ่ม กลิ่นหอม และรสชาติอร่อย จึงทำให้ขายได้ราคาดีกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ส่งผลให้ปริมาณการผลิตยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ทั้งนี้เพราะข้าวพันธุ์นี้มีลักษณะประจำพันธุ์หลายอย่างที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเพิ่มผลผลิต เช่น มีความไวต่อแสง ต้องการช่วงแสงสั้นในการชักนำให้ออกดอก จึงมักหักล้มง่าย ทำให้ไม่สามารถขยายพื้นที่ปลูกได้ นอกจากนี้ยังมีทรงต้นค่อนข้างสูงจึงมักล้มง่าย ทำให้ผลผลิตเสียหายได้ ไม่ต้านทานต่อโรคและแมลงต่างๆ เช่น โรคไหม้ โรคใบสีส้ม และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เป็นต้น (วรวิทย์ พาณิชพัฒน์, 2530)

ประภา ศรีพิจิตต์ และคณะ (2537) จึงได้นำเทคนิคการชักนำให้คัพภะของข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สร้างยอดจำนวนมาก ร่วมกับการใช้รังสีแกมมา เพื่อสร้างความผันแปรทางพันธุกรรมของลักษณะทางการเกษตรต่างๆ สำหรับใช้ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้มีลักษณะไม่ไวต่อแสง ต้นเตี้ย และผลผลิตสูง

ประภา ศรีพิจิตต์ และอรอนงค์ นัยวิกุล (2545) ได้ทดลองปรับปรุงข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้มีลักษณะไม่ไวต่อแสง ด้วยการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ด้วยสารเคมีก่อการกลายพันธุ์ ethyl methanesulfonate (EMS) โดยแช่เมล็ดข้าวในสารละลาย EMS ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดมาปลูก ผลการวิจัยพบว่าวิธีนี้สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อแสง แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีนี้ไม่สามารถรักษาคุณภาพเมล็ดที่ดีของพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการคัดเลือกต่อไปอีก เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดให้ใกล้เคียงกับพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มากที่สุด เนื่องจากคุณภาพเมล็ดของข้าวพันธุ์นี้เป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด

Lanceras และคณะ (2000) ได้ทำการทดลองด้วยวิธีการเทคโนโลยีดีเอ็นเอ โดยค้นหาการวางตำแหน่งของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านการหุงต้มและการกินของข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งได้แก่ ปริมาณอะมิโลส ความคงตัวของเจล และอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน โดยผลการทดลองพบว่าเทคโนโลยีดีเอ็นเอสามารถปรับปรุงพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้ได้ข้าวที่นุ่นและมีความหอมตามความต้องการของผู้บริโภค

นอกจากการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตแล้ว ยังมีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโดยการผสมข้ามสายพันธุ์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้มีคุณค่าทางสารอาหารและมีสารที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกาย เช่น ข้าวไรซ์เบอรี เป็นข้าวที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเจ้าหอมนิล เป็นต้น

2.1.4 ข้าวไรซ์เบอรี

ข้าวไรซ์เบอรี (riceberry) เป็นข้าวพันธุ์ผสมระหว่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเจ้าหอม-นิล (รูปที่ 3) ซึ่งได้รับการพัฒนาพันธุ์โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว ภายใต้ความร่วมมือระหว่างคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ข้าวไรซ์เบอรีเริ่มนิยมปลูกเพิ่มมากขึ้นในภาคต่างๆ ของประเทศไทย โดยมีลักษณะที่โดดเด่นคือเป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้ม เมล็ดข้าวเรียวยาว ผิวมันวาว ซึ่งจากการวิจัยพบว่าข้าวไรซ์เบอรีอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระทั้งชนิดที่ละลายในน้ำและละลายในน้ำมัน ได้แก่ แกมมา-โอไรซานอล โพลีฟีนอล แทนนิน เบต้าแคโรทีน และโอเมกา-3 นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ เช่น สังกะสี เหล็ก และโฟเลต (ตารางที่ 1) ข้าวไรซ์-เบอรียังมีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูงจึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดทั่วไป (ณัฐภูมิ สุดแก้ว, 2550)

ข้าวไรซ์เบอรีจัดเป็นข้าวสีม่วงที่สร้างความตื่นตัวในตลาดข้าวเพื่อสุขภาพ เพราะข้าวพันธุ์นี้มีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย มีสรรพคุณทางยา สามารถช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือด โรคหัวใจ โรคสมองเสื่อม และช่วยชะลอความแก่ เป็นต้น (Hiemori *et al*., 2009) ซึ่งมีงานวิจัยของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยมหิดลที่ร่วมกันศึกษาผลของการรับประทานข้าวไรซ์-เบอร์รีในผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยพบว่าการรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รีสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รีมีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ต่ำกว่าข้าวขัดสีพันธุ์อื่นๆ โดยการรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำสามารถช่วยให้เซลล์ที่อยู่ในร่างกายใช้อินซูลินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เซลล์ให้ร่างกายรับน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นจึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง ข้าวไรซ์เบอร์รีจึงจัดเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพที่ดีสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานและผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก (ณัฐภูมิ สุดแก้ว, 2550)

รูปที่ 3 ข้าวไรซ์เบอรี

ที่มา: http://mail.guideubon.com

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 1 ปริมาณและคุณประโยชน์ของสารอาหารต่างๆ ในข้าวไรซ์เบอรี

สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย	คุณประโยชน์
วิตามินอี	678	µg/100g	ช่วยขยายเส้นเลือดและต้านการแข็งตัวของเลือด
โอเมก้า 3	25.61	mg/100g	สำคัญต่อการทำงานของสมอง
โฟเลต	48.1	µg/100g	เกี่ยวข้องกับการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆ
สารประกอบฟีนอลิก	113.5	mg/100g	ต้านอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง
แทนนิน	89.33	mg/100g	แก้ท้องร่วงและสมานแผล
เบต้าแคโรทีน	63	µg/100g	ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง
แกมมา-โอไรซานอล	462	µg/100g	ลดระดับคอเลสเตอรอลในหลอดเลือด
ธาตุเหล็ก	13-18	mg/100g	ส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง
ธาตุสังกะสี	31.90	mg/kg	เกี่ยวข้องกับการช่วยสังเคราะห์โปรตีน
สารต้านอนุมูลอิสระ			
- ชนิดละลายในน้ำ (ascorbic acid)	47.50	mg/100g	ต้านอนุมูลอิสระ
- ชนิดละลายในน้ำมัน (trolox)	33.40	mg/100g	ต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2556)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้รำข้าวและน้ำมันรำของข้าวไรซ์เบอร์รียังมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี เหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารเชิงโภชนบำบัด เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารยี่ห้อไฮเบอร์รี ซึ่งเป็นสารสกัดจากรำข้าวไรซ์เบอร์รีที่วิจัยและพัฒนาโดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับสถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยใช้รำข้าวไรซ์เบอร์รีที่ผ่านการหีบน้ำมันด้วยกระบวนการสกัดเย็นผสมกับส่วนประกอบอื่น แล้วผลิตออกมาให้อยู่ในรูปรำข้าวอัดเม็ด ซึ่งผลิตภัณฑ์ไฮเบอร์รีนี้มีคุณสมบัติในการช่วยชะลอการเพิ่มของระดับน้ำตาลในเลือด ลดปริมาณคอเลสเตอรอล และช่วยรักษาสภาวะของหลอดเลือดแข็งที่มีสาเหตุจากการพอกพูนของกรดไขมันอิ่มตัว (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2557)

เนื่องจากข้าวไรซ์เบอรีเป็นข้าวที่มีสารอาหารสูงและมีประโยชน์สูง ดังนั้นข้าวไรซ์เบอรีจึงเหมาะสำหรับผู้บริโภคทุกวัย เช่น กลุ่มผู้สูงวัย โดยข้าวไรซ์เบอรีมีสารอาหารหลากหลายที่ช่วยบำรุงร่ายกาย เสริมสร้างประสิทธิภาพในการไหลเวียนของโลหิต ชะลอความแก่ บำรุงสายตาและระบบประสาท หรือกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคอ้วน โดยข้าวไรซ์เบอรีสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลและน้ำหนักได้ดีกว่าข้าวขาวทั่วไป เนื่องจากข้าวไรซ์เบอรีมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขาวทั่วไป หรือกลุ่มสตรีมีครรภ์ โดยข้าวไรซ์เบอรีสามารถช่วยให้บุตรในครรภ์มีสุขภาพแข็งแรง และสามารถป้องกันโรคปากแหว่งเพดานโหว่ได้ เพราะข้าวไรซ์เบอรีมีสารโฟเลตอีกทั้งยังมีปริมาณน้ำตาลต่ำ ซึ่งช่วยให้มารดาควบคุมน้ำหนักเพื่อไม่เกิดครรภ์เป็นพิษ และยังมีธาตุเหล็กสูงซึ่งหญิงมีครรภ์ต้องการมากกว่าคนปกติ รวมถึงกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก หากรับประทานข้าวไรซ์เบอรีเป็นประจำแล้วก็จะได้รับสารอาหารต่างๆ โดยเฉพาะธาตุเหล็กธรรมชาติ ซึ่งช่วยในการบำรุงโลหิตและบำรุงร่างกายให้แข็งแรง (ณัฐภูมิ สุดแก้ว, 2550) นอกจากนี้ข้าวไรซ์เบอรียังมีประโยชน์อีกมากมายหากรับประทานข้าวไรซ์เบอรีเป็นประจำ ด้วยเหตุนี้เองข้าวไรซ์เบอรีจึงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.2 ชา

ชามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* และชื่อสามัญว่า Tea จัดอยู่ในวงศ์ Theaceae มีสายพันธุ์มากกว่า 1,200 สายพันธุ์ ชาเป็นพืชกึ่งร้อนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น ปลูกได้ดีที่ระดับความสูงจากน้ำทะเลตั้งแต่ 200-2,000 เมตร มีลักษณะทรงพุ่ม โดยชาที่ผลิตทางการค้าส่วนใหญ่นั้นมีอยู่ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ กลุ่มชาพันธุ์จีน (Chinese tea) และกลุ่มชาพันธุ์อัสสัม (Assam tea) โดยในปัจจุบันแหล่งปลูกชาที่สำคัญคือ ประเทศจีน อินเดีย และศรีลังกา ในขณะที่แหล่งปลูกชาที่สำคัญของประเทศไทย คือ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แพร่ น่าน และแม่ฮ่องสอน (ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550) ซึ่งโดยทั่วไปการเพาะปลูกต้นชามักตัดแต่งกิ่งให้มีลักษณะทรงพุ่มสูงประมาณ 0.6-1.0 เมตร เพื่อความสะดวกในการเก็บใบชาและเพื่อให้ชาแตกยอดมากๆ โดยช่วงอายุของการเก็บเกี่ยวใบชาจะอยู่ในช่วง 2-60 ปี แต่จะให้ผลผลิตดีเมื่อมีอายุประมาณ 8-10 ปี ซึ่งการเก็บใบชามักจะเก็บแต่ใบอ่อน เพื่อให้ได้ใบชาที่มีคุณภาพดี (Islam *et al*., 2005) นอกจากนี้ชายังหมายถึงผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืชตากแห้ง อบแห้ง หรือผ่านกระบวนการให้ความร้อนชนิดต่างๆ แล้วนำมาชงหรือต้มกับน้ำร้อน เช่น ชาดอกไม้ ชาสมุนไพร และชาธัญพืช เป็นต้น

2.2.1 ประเภทของเครื่องดื่มชา

ชา ชาขาว ชาเขียว ชาอูหลง และชาดำ มาจากต้นชาตระกูลเดียวกัน ยกเว้นชาประเภทชาผลไม้ ชาดอกไม้ ชาสมุนไพร และชาธัญพืชที่ไม่ได้เตรียมจากต้นชา โดยต้นชาในประเทศไทยหรืออินเดียส่วนมากเป็นชาพันธุ์อัสสัม (มัณฑนา เกียรติพงษ์, 2546) ซึ่งการแบ่งประเภทของชาสามารถแบ่งตามลักษณะของกระบวนการผลิตชาและวัตถุดิบที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท ได้แก่

ชาขาว (white tea) ชาขาวเป็นชาที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีทางธรรมชาติ โดยการตากแดดให้แห้งสนิท ซึ่งชาขาวเป็นชาที่ได้จากใบยอดอ่อน มีขนเล็กๆ สีขาวปกคลุมยอดชาอยู่ ใบชาจะคงสภาพเหมือนใบชาสด มีสีขาว และต้องเก็บยอดอ่อนด้วยมือ หลังจากนั้นนำมาตากแดดให้แห้งสนิท เมื่อนำชาขาวมาชงกับน้ำร้อน จะได้น้ำชาลักษณะขาวมีสีใสๆ ถึงสีเหลืองอ่อน ขั้นตอนการผลิตชาขาวด้วยกรรมวิธีแบบธรรมชาตินี้ ทำให้ชาขาวมีความบริสุทธิ์และคงคุณสมบัติที่ดีของชาไว้ได้มากกว่าชาที่ผลิตด้วยกรรมวิธีแบบอื่น จึงทำให้ชาขาวจึงเป็นชาที่หายากและมีราคาแพง ตัวอย่างของชาขาว เช่น ชาไป๋มู่อิ๋งเจิ้น และชาผู่เอ๋อ เป็นต้น (ธนิษฐา แดนศิลป์, 2545)

ชาเขียว (green tea) เป็นชาที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งกระบวนการผลิตเริ่มจากการเก็บใบชาแล้วนำไปผึ่งไว้บนตะแกรงและเป่าด้วยลมที่ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 40-50 °C เพื่อไล่ความชื้นออกจากใบให้เหลือความชื้นประมาณ 30% ซึ่งเป็นการทำลายเอนไซม์ในใบชาไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการหมักขึ้น โดยการไล่ความชื้นออกจากใบชามักใช้เวลาประมาณ 10-18 ชั่วโมง ในระหว่างการผึ่งชานั้นต้องคอยกลับใบชาบนตะแกรงเพื่อให้ใบชาคลายความชื้นออกเท่าๆ กัน แต่บางโรงงานใช้วิธีกำจัดความชื้นออกด้วยการอบแทนการเป่าด้วยลมร้อน หลังจากนั้นเมื่อความชื้นของใบชาลดลงตามที่ต้องการก็จะนำใบชามาคัดและม้วน แล้วนำไปคั่วในกระทะที่ระดับความร้อนที่กำหนดไว้ (อุณหภูมิไม่เกิน 50 °C) (มัณฑนา เกียรติพงษ์, 2546) โดยลักษณะของน้ำชาที่ได้จะมีสีเขียวและมีกลิ่นหอมมากกว่าชาจีนและชาดำ ตัวอย่างชาเขียวที่สำคัญ ได้แก่ ชาเขียวญี่ปุ่น และชาเขียวจีน ซึ่งการเรียกชื่อชาเขียวจะแตกต่างกันตามสถานที่ปลูกชา ลักษณะกระบวนการผลิต หรือวิธีการที่นำไปบริโภคที่ทำให้ชาเขียวมีกลิ่น สี และรสชาติต่างกัน เช่น กันพาวเดอร์ เซนชา และหลงจิ่ง เป็นต้น (คมสันต์ หุตะแพทย์ และกำพล ก้าหลง, 2548)

ชาอูหลง (oolong tea) เป็นชาที่ผ่านกระบวนการแบบกึ่งหมัก โดยขั้นตอนทั่วไปเริ่มจากเมื่อเก็บใบชามาแล้วก็จะทำการคัดและผึ่งด้วยไอร้อนเพื่อไล่ความชื้นออกจากใบชา ซึ่งในระหว่างที่กำจัดความชื้นออก ก็จะใช้มือโกยใบชาโยนขึ้นไปในอากาศและทำการนวดใบชาไปด้วย ซึ่งการนวดใบชาเป็นการทำให้ใบชาช้ำและเร่งปฏิกิริยาการหมักให้เกิดเร็วขึ้น การหมักช่วยทำให้ใบชาเปลี่ยนคุณสมบัติในด้านสี กลิ่น และรสชาติ หลังจากนั้นเมื่อขอบของใบชาเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเป็นการแสดงว่าใบชาหมักได้ที่แล้ว จึงนำไปคั่วหรือผ่านความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ที่เป็นปัจจัยสำคัญของปฏิกิริยาการหมัก โดยนิยมคั่วจนความชื้นเหลือเพียงประมาณ 2-3% (มัณฑนา เกียรติพงษ์, 2546) ซึ่งน้ำชาอูหลงมีสีเข้มกว่าชาเขียวเล็กน้อย ตัวอย่างของชาอูหลง เช่น ชาฟอร์โมซาอูลอง และชาอิชาง เป็นต้น

ชาดำ (black tea) เป็นใบชาที่ผ่านกระบวนการหมักแบบสมบูรณ์ โดยการบวนการผลิตตั้งแตการเก็บใบชาจนถึงการคั่วก็ไม่ต่างกันมากจากการผลิตชาเขียว หรือชาอูหลง แต่ขั้นตอนที่แตกต่างกันก็คือเวลาที่ใช้ในการหมักใบชา ซึ่งการทำชาดำนั้นใบชาจะถูกปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาการหมักเต็มที่ ลักษณะของใบชาจะมีสีคล้ำ ส่งผลให้สีของน้ำชาเป็นสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม กลิ่นของชาดำจะหอมน้อยกว่าและมีรสฝาดน้อยกว่าชาอูหลงและชาเขียว ตัวอย่างของชาดำ เช่น ชาดาร์จีลิ่ง เป็นต้น (มัณฑนา เกียรติพงษ์, 2546)

ชาดอกไม้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภคชา โดยการศึกษาพบว่าดอกไม้ที่มีสีสันสวยงามและส่งกลิ่นหอมนั้นอุดมไปด้วยสารในกลุ่มพฤกษเคมี เช่น สารเบต้าแคโรทีน วิตามิน และแร่-ธาตุ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการและช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่นเดียวกับเครื่องดื่มที่ผลิตจากใบชา โดยขั้นตอนการผลิตชาดอกไม้มีวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก เริ่มต้นจากการเก็บดอกไม้แล้วมาล้างทำความสะอาด จากนั้นเด็ดเป็นกลีบและผึ่งในตะแกรงโปร่งให้แห้ง ตากไว้ประมาณ 8-10 ชั่วโมง สำหรับการ

ชงชาดอกไม้นิยมใส่กลีบดอกไม้ลงในถ้วยก่อนแล้วจึงเทน้ำร้อนลงผสม ไม่ควรใช้น้ำเดือดๆ เพราะอาจทำให้ยางดอกไม้ละลายออกมาจนมีกลิ่นเหม็นเขียวที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งระยะในการแช่กลีบดอกไม้ไว้ไม่ควรเกิน 5 นาที หลังจากนั้นแยกกลีบดอกไม้ออกแล้วดื่ม ตัวอย่างดอกไม้ของไทยที่สามารถนำมาผลิตเป็นชาดอกไม้ เช่น ชาดอกคำฝอย ชาดอกอัญชัน ชาดอกกระเจี๊ยบ และชาดอกกุหลาบ เป็นต้น (พูกานดา พิศชมพู, 2553)

ชาผลไม้เป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ชาที่มีการผสมผสานระหว่างชากับผลไม้ได้อย่างลงตัว เพื่อเพิ่มสีสันที่แปลกใหม่และรสชาติรวมทั้งมีสารที่ให้ประโยชน์แก่ร่างกาย (พูกานดา พิศชมพู, 2553) โดยทั่วไปตามท้องตลาดชาผลไม้มี 2 ชนิด คือชนิดที่มีส่วนผสมของใบชากับผลไม้อบแห้ง และชนิดที่ได้จากผลไม้เพียงอย่างเดียว ทำให้ชาผลไม้มีความหลากหลายของรสชาติและมีลักษณะเฉพาะตัวตามชนิดของผลไม้ที่นำมาเป็นวัตถุดิบ (ธนิษฐา แดนศิลป์, 2545) ตัวอย่างชาผลไม้ที่มีขายทั่วไปในตลาดปัจจุบัน เช่น ชาแอปเปิ้ล ชาพีช ชาลูกพรุน และชามะม่วง เป็นต้น

ชาสมุนไพรเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากส่วนของราก ใบ ดอก เหง้า เปลือก เกสร รวมทั้งส่วนต่างๆ ของพืชที่นำไปตากแดดหรืออบแห้ง แล้วตัด สับ หรือบด จากนั้นนำมาต้มหรือชงกับน้ำร้อน (พูกานดา พิศชมพู, 2553) ซึ่งประเทศไทยมีพืชสมุนไพรหลากหลายชนิด โดยที่สมุนไพรแต่ละชนิดมีกลิ่นและรสชาติที่เฉพาะตัว นอกจากนี้สมุนไพรยังมีสรรพคุณในการบำรุงร่างกายและรักษาโรคอีกด้วย รวมทั้งกระบวนการผลิตชาสมุนไพรไม่ซับซ้อน ตัวอย่างชาสมุนไพร เช่น ชารางจืด ชาขิง ชาหญ้าหนวดแมว และชาตะไคร้ เป็นต้น (ธนิษฐา แดนศิลป์, 2545)

สำหรับธัญพืชก็มีการนำมาทำชาและจัดเป็นชาสมุนไพรเช่นกัน ได้แก่ ชาข้าวฟ่าง ชาข้าวก่ำ ชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอม ชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวสาลี และชาเขียวจากใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น เนื่องจากในใบข้าวและธัญพืชเหล่านี้มีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ยกตัวอย่างเช่น ชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอม ลักษณะของน้ำชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอมไม่มีรสฝาดเหมือนชาจีน แต่จะมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ของข้าวหอม โดยประกอบด้วยวิตามินและสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด จากการรายงานพบว่าชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอมมีวิตามินซี 4.42-6.60 มิลลิกรัม/100 กรัม วิตามินอี 4.18-5.34 มิลลิกรัม/100 กรัม คลอโรฟิลล์ 7.68-8.69 มิลลิกรัม/100 กรัม และเบต้ากลูแคน 4.01-4.16 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งวิตามินซีมีคุณสมบัติช่วยสร้างภูมิต้านทานแก่ร่างกาย ช่วยเสริมสร้างผิวหนัง ฟัน และหลอดเลือด วิตามินเอมีคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาของเซลล์ประสาท ป้องกันการแตกสลายของเยื่อหุ้มเซลล์ ทั้งวิตามินซีและวิตามินอียังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ซึ่งช่วยลดและป้องกันการเกิดมะเร็งอีกด้วย ในขณะที่คลอโรฟิลล์มีคุณสมบัติช่วยปลดปล่อยธาตุที่มีประโยชน์ต่อขบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย ช่วยกระตุ้นการเจริญและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ และช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง และเบต้ากลูแคนมีคุณสมบัติช่วยลดคอเลสเตอรอล ช่วยปรับระดับน้ำตาลในเลือดและลดความดันโลหิต นอกจากนี้ชาจากต้นอ่อนของข้าวสาลี ซึ่งอุดม

ด้วยวิตามินเอ วิตามินบีรวม วิตามินซี วิตามินอี และวิตามินเค สามารถป้องกันการเกิดโรคภูมิแพ้ และยังมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย โดยน้ำต้นข้าวสาลีมีโปรตีนอยู่ร้อยละ 25 ซึ่งสูงมาก เมื่อเทียบกับเนื้อปลา ไข่ นม หรือถั่วต่างๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์ชาข้าวสาลีได้รับความนิยมอย่างมาก ในขณะที่ชาข้าวก่ำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพอีกประเภทหนึ่งที่ได้จากการนำข้าวก่ำซึ่งมี คุณค่าทางโภชนาการ เช่น สารแกมมา-โอไรซานอล วิตามินอี ธาตุเหล็ก แคลเซียม สังกะสี และธาตุ แมงกานีส ที่มีสมบัติในการกระตุ้นการทำงานของฮอร์โมนต่างๆ ในร่างกาย มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูล อิสระ ช่วยลดคอเลสเตอรอล และป้องกันการเกิดโรคหัวใจ เป็นต้น โดยนำข้าวก่ำมาผ่านกระบวนการ ให้ความร้อนด้วยการคั่วที่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยนิยมบรรจุชาข้าวก่ำในซองที่สามารถนำชาข้าวไป ชงในน้ำร้อน ลักษณะของน้ำชาจะให้สีม่วงแดง มีกลิ่นรสและความหอมจากข้าวที่มี ซึ่งประเทศไทยยัง มีข้าวอีกหลายพันธุ์ที่อุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์เหมาะแก่การนำมาทำผลิตภัณฑ์ชา

2.2.2 ประโยชน์ของสารสำคัญในเครื่องดื่มชา

ชาจัดเป็นพืชสมุนไพรที่นับได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ผู้บริโภคนิยมดื่มมากในปัจจุบัน ซึ่ง เครื่องดื่มชาแต่ละประเภทจะให้ประโยชน์แก่ร่างกายคล้ายๆ กัน เนื่องจากชาอุดมไปด้วยสารอาหาร และสารพฤกษเคมีต่างๆ ที่สำคัญ ทำให้ชาจัดเป็นหนึ่งในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ โดยการดื่มชาเขียว ชา-จีน ชาดำ ชาสมุนไพร หรือชาธัญพืช ส่งผลให้ร่างกายได้รับสารที่เป็นประโยชน์และทำให้ร่างกาย แข็งแรง นอกจากนี้ประโยชน์ของเครื่องดื่มชายังมีความสำคัญในทางการแพทย์เพื่อการป้องกัน การ บรรเทา หรือการรักษาอาการเจ็บป่วยที่เกิดขึ้น (ศุภนาถ เกตุเจริญ และสุนิสา อธิวงศ์ธนวัฒน์, 2543) รวมทั้งช่วยแก้กระหาย ทำให้ชุ่มคอ แก้ร้อนใน ลดอาการอักเสบหรือช่วยสมานบาดแผล ช่วยชะล้าง สารพิษออกจากร่างกาย เป็นต้น

โดยทั่วไป ผักและผลไม้ที่ใช้เป็นอาหาร หรือพืชสมุนไพรที่ใช้ทำเป็นชาจะมีองค์ประกอบทาง เคมีที่สำคัญ ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ กลุ่มที่เป็นสารอาหาร (nutrient) และ กลุ่มที่ไม่ใช่สารอาหาร ที่เรียกว่า ไฟโตนิวเทรียนท์ (phytonutrient) หรือไฟโตเคมีคอล (phytochemical) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มที่ 1 สารอาหาร (nutrients)

สารอาหาร จัดเป็นสารเคมีที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสารอาหารเหล่านี้มีความ จำเป็นในการเจริญเติบโต ถ้าแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมี จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ สารอาหารประเภทสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) โปรตีน (protein) ไขมัน (fat) และวิตามิน (vitamin) ส่วนสารอาหารอีกประเภท คือ สารอาหารประเภทสารอนินทรีย์ นอกจากนี้ ถ้าแบ่งตามความต้องการของร่างกาย สามารถแบ่งสารอาหารได้เป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการใน ปริมาณมากในแต่ละวันหรือเรียกว่า สารอาหารหลัก (macronutrient) ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน

และไขมัน เพื่อใช้เป็นพลังงานและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย และสารอาหารที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อยในแต่ละวันหรือเรียกว่า สารอาหารรอง (micronutrient) ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมาก ถึงแม้ร่างกายจะต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย ได้แก่ วิตามินและเกลือแร่ สารอาหารรองเหล่านี้ช่วยให้ระบบการทำงานต่างๆ ของร่างกายเป็นไปอย่างปกติและสมดุล (ชาญชัย สาดแสงจันทร์, 2554)

กลุ่มที่ 2 ไฟโตนิวเทรียนท์ (phytonutrient) หรือไฟโตเคมีคอล (phytochemical)

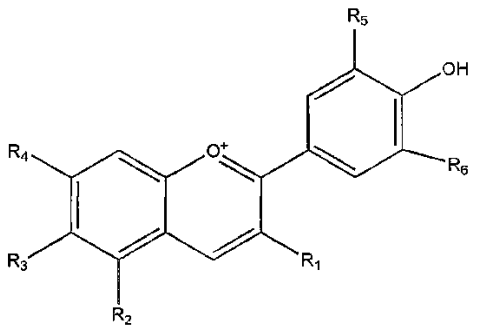
phytonutrient หมายถึง พฤกษสารอาหาร ส่วน phytochemicals หมายถึง สารพฤกษ-เคมี ซึ่งทางการแพทย์และทางด้านวิทยาศาสตร์ได้ให้ความหมายของคำทั้ง 2 คำนี้ว่าเป็นสารเคมีที่ได้จากพืชและอนินทรีย์สาร ได้แก่ เกลือแร่ (dietary mineral) และน้ำ (water) ซึ่งออกซิเจนก็จัดอยู่ในสารอาหารกลุ่มนี้ด้วย โดยทั่วไปสารอาหารเหล่านี้บางชนิดร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้หรือสังเคราะห์ขึ้นไม่ทันต่อความต้องการของร่างกาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบริโภคเข้าไปเพื่อให้พียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (ชาญชัย สาดแสงจันทร์, 2554)

โดยทั่วไปสารพฤกษเคมีจะพบมากในพืชผักและผลไม้ สารเหล่านี้อาจเป็นสารที่ให้สีสันแก่พืช เช่น สารกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ที่พบในกลีบเลี้ยงของดอกกระเจี๊ยบซึ่งให้สีแดง หรืออาจเป็นสารที่ให้กลิ่นเฉพาะตัวแก่พืชนั้นๆ เช่น สารอัลลิซิน (allicin) ที่เป็นกลิ่นเฉพาะตัวที่พบในหัวกระเทียม หรืออาจเป็นสารที่ให้รสชาติเฉพาะตัวแก่พืช เช่น สารกลุ่มไอโซไทโอไซยาเนท (isothiocyanates) ที่พบในเมล็ดผักกาดดำ ซึ่งทำให้มัสตาร์ดมีรสเผ็ดฉุน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยพบว่าสารพฤกษเคมีหลายชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านหรือป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง และโรคมะเร็ง เป็นต้น สารพฤกษเคมีมีกลไกการออกฤทธิ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น ต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ โดยสารพฤกษเคมีมีกลไกการทำงานคือ เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วอาจไปช่วยส่งเสริมหรือกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางกลุ่มให้ทำงานได้ดีขึ้น เป็นต้น (Lin and Chou, 2009)

ปัจจุบันนี้สารพฤกษเคมีเป็นสารที่กำลังได้รับความสนใจจากวงการแพทย์และวงการวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ทำให้มีการศึกษาค้นคว้าและค้นพบสารพฤกษเคมีแล้วมากกว่า 15,000 ชนิด โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มสารเคมีต่างๆ ได้ดังนี้ กลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) กลุ่มกลูโคไซโน-เลท (glucosinolate) และไอโซโธโอไซยาเนท (isothiocyanate) กลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) โปรแอนโทไซยานิดินส์ (proanthocyanidins) กลุ่มไฟโตเอสโตเจน (phytoestrogens) กลุ่มไฟโตสเตอรอล (phytosterols) กลุ่มซัลไฟด์ (sulfide) และไธออล (thiols) (ชาญชัย สาดแสงจันทร์, 2554)

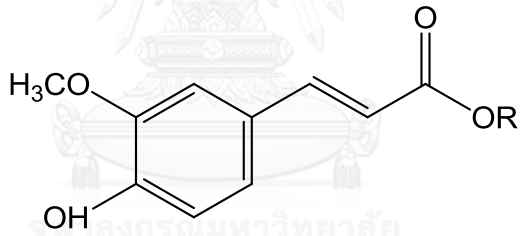
2.3 ผลของกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงของสารพฤกษเคมี

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีแดงถึงสีน้ำเงิน สามารถพบได้ในผักผลไม้และดอกไม้หลายชนิด เช่น กระเจี๊ยบแดง องุ่นแดง สตรอเบอรี และดอกอัญชัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพบสารแอนโทไซยานินได้ในข้าวที่มีสี เช่น ข้าวหอมนิล ข้าวไรซ์เบอรี และข้าวเหนียวดำ แอนโทไซยานินเป็นสารที่มีสมบัติเป็นโภชนเภสัช (nutraceutical) ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แอนโทไซยานินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยมีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ ดังนี้ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารลดอาการอักเสบ สามารถลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็ง และสามารถลดคอเลสเตอรอลในหลอดเลือด เป็นต้น (Kruger *et al*., 2014) แอนโทไซยานินมีโครงสร้างชนิด C6-C3-C6 (รูปที่ 4) ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation โดยในปัจจุบันมีการค้นพบแอนโทไซยานินมากกว่า 300 ชนิดจากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบกว่า 7,000 ชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีสีสันและคุณสมบัติแตกต่างกันไป แอนโทไซยานินที่พบมากในพืชมี 6 ชนิด ได้แก่ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin (Andersen and Markham, 2005) ซึ่งปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ โครงสร้าง ความเป็นกรด-ด่าง กรดแอสคอร์บิก และชนิดน้ำตาล ส่งผลต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน โดย Hiemori และคณะ (2009) ได้ศึกษาองค์ประกอบและเสถียรภาพทางความร้อนของแอนโทไซยานินในข้าวดำ (black rice) และจากการวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่า cyanidin-3-glucoside มีปริมาณมากที่สุด และยังพบว่าการหุงข้าวที่ใช้ความร้อนส่งผลต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน การหุงข้าวด้วยความดันและการหุงข้าวด้วยหม้อหุงข้าวสามารถส่งผลให้ cyanidin-3-glucoside ลดลง ในขณะที่การศึกษาของ Fischer และคณะ (2013) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 60-90 °C เวลา 15-300 นาที ต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำทับทิม พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้แอนโทไซยานินลดลงโดยมีการลดลงเป็นไปตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดจลนพลศาสตร์อันดับที่ 1 (first-order kinetic model)



รูปที่ 4 โครงสร้างแอนโทไซยานิน

แกมมา-โอไรซานอล เป็นสารธรรมชาติที่พบในจมูกข้าวและรำข้าว ซึ่งประกอบด้วย ferulic acid esters ของ phytosterol และ triterpene alcohol (รูปที่ 5) แกมมา-โอไรซานอลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น ทางด้านการแพทย์ และด้านอาหาร เป็นต้น ซึ่งแกมมา-โอไรซานอลสามารถบรรเทาอาการของหญิงที่หมดประจำเดือน เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ และบรรเทาอาการความบกพร่องของระบบประสาทอัตโนมัติ (dysautomonia) ที่เกิดจากบาดเจ็บของสมองโดยไม่มีอาการข้างเคียง (Parrado *et al*., 2003) นอกจากนี้ แกมมา-โอไรซานอล มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยในอดีตมีความเชื่อว่าวิตามินอีเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีที่สุด แต่ปัจจุบันมีรายงานว่าแกมมา-โอไรซานอลมีความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีกว่าวิตามินอีถึง 4 เท่า (Hiramitsu and Armstrong, 1991) แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อเสถียรภาพของแกมมา-โอไรซานอล จากการศึกษาของ Khuwijitjaru และคณะ (2009) ที่ศึกษาผลอุณหภูมิต่อแกมมา-โอไรซานอลในน้ำมันรำข้าว ด้วยวิธี UV-spectrophotometry โดยทดสอบที่อุณหภูมิตั้งแต่ 120-200 °C พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้การสลายตัวของแกมมา-โอไรซานอลเพิ่มมากขึ้น โดยการลดลงของแกมมา-โอไรซานอลเป็นไปตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดจลนพลศาสตร์อันดับที่ 1



รูปที่ 5 โครงสร้างแกมมา-โอไรซานอล (R คือ phytosterol หรือ triterpene alcohol)

มีงานวิจัยรายงานว่า ข้าวที่มีสี เช่น ข้าวหอมนิล ข้าวไรซ์เบอรี ข้าวเหนียวดำ เมื่อทำการแช่น้ำจนเกิดกระบวนการงอก สามารถเพิ่มปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอลมากขึ้นด้วย นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาผลของการนึ่งข้าว การเก็บรักษา และการปรุงอาหารต่อปริมาณโทโคฟีรอล โทโค-ไตรอีนอล และแกมมา-โอไรซานอลในข้าวกล้อง (brown rice) 3 สายพันธุ์ จากการวิจัยพบว่าการนึ่งส่งผลต่อปริมาณวิตามินอีมากที่สุด โดยมีการสูญเสียถึง 60% เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการนึ่ง ในขณะที่การนึ่งส่งผลให้แกมมา-โอไรซานอลลดลง 20% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแกมมา-โอไรซานอลมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าวิตามินอี (Pascual *et al*., 2013)

พนิตตรา ชำนาญศิลป์ (2554) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานิน แกมมา-โอไรซานอล และความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันใน

ข้าวที่ไม่ขัดสี 4 สายพันธุ์ ผลการศึกษาพบว่าข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการขัดสีและแช่น้ำมีปริมาณแอนโท-ไซยานิน และแกมมา-โอไรซานอลมากกว่าข้าวเจ้า นอกจากนี้ยังมีการรายงานผลของการแช่ข้าวที่มีอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ที่อุณหภูมิในช่วง 65-95 °C และเวลาในช่วง 30-120 นาที โดยพบว่าการแช่ข้าวที่ช่วงอุณหภูมิและช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และสภาวะการแช่ข้าวที่ 95 °C เวลา 45 นาที ส่งผลให้ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวหอมนิล และข้าวเหนียวพันธุ์ KKU-GL-BL 05-003 มีระดับการสุก 100% ในขณะที่ข้าวเหนียวพันธุ์ KKU-GL-BL 06-043 ต้องแช่น้ำที่สภาวะ 95 °C เวลา 60 นาทีถึงจะทำให้ข้าวสุก 100%

ขั้นตอนการผลิตชาทั่วๆ ไปคือ ขั้นตอนการทำแห้ง (firing หรือ drying) ซึ่งใบชาที่ผ่านการหมักแล้วจะถูกนำมาทำแห้ง โดยในช่วงแรกของขั้นตอนการทำแห้ง ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะยังคงดำเนินการต่อไปทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อลักษณะของชา แต่ในช่วงหลังของขั้นตอนการทำแห้งเอนไซม์จะถูกยับยั้งเนื่องจากความร้อนและค่า a_w ที่ลดลง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตชาจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นของใบชา คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยทำให้ใบชาเปลี่ยนเป็นสีดำและมีกลิ่นของชา โดย volatile compounds ของกลิ่นชา ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเกิดจากสารพวกกรดอะมิโน แคโรทีน กรดไขมันไม่อิ่มตัว และไกลโคไซด์ เกิดการออกซิไดซ์แล้วส่งผลทำให้เกิดกลิ่นต่างๆ ขึ้น ซึ่งสารประกอบที่สำคัญที่ให้กลิ่น (aroma) ในชา ได้แก่ acids, alcohols, aldehydes, esters, lactones, phenols สารประกอบที่มีไนโตรเจน และสารประกอบที่มีซัลเฟอร์ (Willson and Clifford, 1991)

2.4 บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์อาหารมีบทบาทที่สำคัญในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บของอาหาร โดยอาหารสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 2 ปัจจัยคือ ปัจจัยภายในหรือปัจจัยที่มาจากตัวอาหารเอง และปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยที่มาจากสิ่งแวดล้อม หน้าที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์อาหารคือ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารให้นานมากขึ้น และช่วยรักษาคุณภาพของอาหารรวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการให้คงอยู่หรือเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุด พร้อมทั้งสามารถดึงดูดความสนใจจากผู้บริโภคได้ ซึ่งการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับอาหารนั้น อันดับแรกที่ต้องพิจารณาคือ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น อันดับต่อมาคือรูปแบบของบรรจุภัณฑ์พร้อมคำนึงถึงต้นทุนที่เหมาะสม และต้องสามารถรักษาคุณภาพของอาหารได้ตามอายุการเก็บที่ต้องการ

2.4.1 บทนิยามคำศัพท์ทางการบรรจุ

การบรรจุ หมายความว่า เทคนิคทางอุตสาหกรรมและการตลาดเพื่อบรรจุ คุ้มครอง และสร้างเอกลักษณ์ให้ผลิตภัณฑ์ ส่งเสริมการจำหน่ายและการกระจายผลิตผลทางเกษตร

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค-บริโภค ซึ่ง The Packaging Institute International ได้ให้บทนิยามไว้ว่า การบรรจุ หมายความว่า การห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ สินค้า หรือการบรรจุในซอง ถุง กล่อง ถ้วย ถาด กระป๋อง หลอด ขวด และอื่นๆ เพื่อทำหน้าที่ใดหน้าที่หนึ่งหรือหลายหน้าที่ ดังต่อไปนี้ คือ บรรจุ คุ้มครอง และหรือถนอมรักษา สื่อสาร และอำนวยประโยชน์ในการใช้งานหรือมีประสิทธิภาพในการใช้งาน หากอุปกรณ์หรือสิ่งที่ใช้เป็นการบรรจุนั้นทำหน้าที่ดังกล่าวตั้งแต่หนึ่งข้อขึ้นไป จะเรียกสิ่งนั้นว่าภาชนะบรรจุ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

2.4.2 หน้าที่ของภาชนะบรรจุอาหาร

ภาชนะบรรจุมีหน้าที่หลากหลายเปลี่ยนไปตามสมัยต่างๆ ซึ่งจากประวัติการพัฒนาภาชนะบรรจุจะแสดงให้เห็นว่า หน้าที่แรกเริ่มของภาชนะบรรจุสินค้าคือการรวมหน่วยสินค้าย่อย และช่วยในการลำเลียงสินค้า แต่ภายหลังภาชนะบรรจุได้รับการพัฒนาและเพิ่มหน้าที่ในการช่วยรักษาคุณภาพของสินค้า อีกทั้งภาชนะบรรจุสินค้าต้องมีหน้าที่อำนวยความสะดวกในการบริโภคอีก ซึ่งหน้าที่หลักของภาชนะบรรจุอาหาร ได้แก่

บรรจุผลิตภัณฑ์ (containment) ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของภาชนะบรรจุที่มนุษย์ต้องการจากภาชนะบรรจุ คือการที่ภาชนะบรรจุสามารถบรรจุ ห่อหุ้ม และรวบรวมผลิตภัณฑ์ไว้ด้วยกันเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการเก็บรักษา การขนย้าย และการจัดการ

ถนอมรักษาและคุ้มครองผลิตภัณฑ์ (preservation and protection) ซึ่งภาชนะบรรจุจะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ ตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงการบริโภค โดยที่คุณภาพจะหมายถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส รวมทั้งคุณภาพทางโภชนาการและคุณภาพด้านความสะอาดและปลอดภัย ภาชนะบรรจุต้องสามารถปกป้องผลิตภัณฑ์จากปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจัยภายนอกจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แสง แก๊สออกซิเจน ไอน้ำ จุลินทรีย์ ความร้อน และแรงกระทำจากภายนอก เป็นต้น

การใช้งานและอำนวยความสะดวก (utility and convenience) โดยการใช้งานหมายถึงภาชนะบรรจุมีความเอื้ออำนวยต่อการนำผลิตภัณฑ์มาใช้และเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะตามต้องการ เช่น กระบอกไม้ไผ่ที่ใช้บรรจุข้าวเหนียว ซึ่งเรียกว่าข้าวหลามทำหน้าที่เป็นภาชนะเพื่อการปรุงสุก และทำให้ข้าวหลามมีลักษณะเฉพาะตัวที่สำคัญคือ ผิวไผ่หุ้มข้าวเหนียวไว้ทำให้ไม่เหนียวติดมือ และให้กลิ่นรสเฉพาะตัว ในขณะที่การอำนวยความสะดวก หมายถึงภาชนะบรรจุต้องให้ความสะดวกต่อผู้บริโภคในการนำผลิตภัณฑ์นั้นมาใช้ ปัจจุบันหน้าที่นี้ครอบคลุมไปถึงความสะดวกของผู้ผลิต ผู้ขนส่งและผู้จัดจำหน่ายด้วย เช่น กระป๋องน้ำอัดลมใช้ฝาแบบดึงห่วง

เปิด เป็นการอำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภค หรือกล่องนม UHT ที่น้ำหนักเบากว่าขวดแก้วหรือกระป๋อง ทำให้การขนส่งสะดวกขึ้น และทำให้ต้นทุนการขนส่งลดลง

สื่อสารและให้ข้อมูล (communication and information) ภาชนะบรรจุต้องทำหน้าที่เป็นสื่อสำหรับให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์แก่ผู้บริโภค โดยการพิมพ์ข้อความโดยตรงลงบนภาชนะบรรจุหรือใช้ฉลาก ซึ่งข้อมูลที่ควรให้แก่ผู้บริโภค ได้แก่ ชื่อทางการค้า ชนิดของผลิตภัณฑ์และวิธีการผลิต ส่วนประกอบ วันที่ผลิต/วันหมดอายุ ปริมาณหรือน้ำหนักสุทธิ การใช้และสรรพคุณ ข้อควรระวังในการใช้ วิธีเก็บรักษา ชื่อและที่อยู่ของผู้ผลิต เป็นต้น (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550; ดวงฤทัย ธำรงโชติ, 2550)

2.4.3 ภาชนะบรรจุพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุเพื่อการบรรจุและการหีบห่อสินค้า ซึ่งพลาสติกเป็นสารสังเคราะห์ที่มนุษย์คิดค้นขึ้น โดยพลาสติกเป็นสารที่ได้มาจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการเชื่อมโยงโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เรียกว่า พอลิเมอร์ (polymer) และปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยงนี้ เรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ซึ่งพลาสติกมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และคลอรีน เป็นต้น โดยทั่วไปภาชนะบรรจุพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุและการหีบห่อสินค้ามีมากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้ทำภาชะบรรจุ พลาสติกที่นิยมใช้ในการทำภาชนะบรรจุเพื่อการบรรจุหรือการหีบห่อสินค้า มีดังนี้

โพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP) เป็นพลาสติกในตระกูลโพลีโอเลฟินส์ (polyolefins) ที่มีการนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมการบรรจุ โดยเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์โพรพิลีนทั้งประเภทโฮโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ ปกติแล้วโพลีโพรพิลีนมักรู้จักกันในชื่อที่เรียกว่าถุงร้อน เพราะสามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิสูงและแก๊สสามารถซึมผ่านได้ดี ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้คือ ถุงร้อน ฟิล์มและแผ่นพลาสติกกันแก๊สซึมผ่าน ขวด ภาชนะขึ้นรูป กล่องบรรจุอาหาร กระสอบน้ำตาลทราย เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น คือ น้ำหนักเบา เป็นเงา ใสหรือโปร่งใส ความแข็งแรงสูง ต้มฆ่าเชื้อเชื้อจุลินทรีย์ได้ ทนต่อกรดและด่าง ทนต่อแรงดึงได้ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุได้ง่าย อีกทั้งยังมีราคาถูก (ดวงฤทัย ธำรงโชติ, 2550)

โพลีเอไมด์หรือไนลอน (polyamide; PA หรือ nylon) เป็นพลาสติกที่มี amide group อยู่ในโมเลกุล ซึ่งได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นระหว่างมอนอเมอร์ที่เป็น di-amine กับมอนอเมอร์ที่เป็น di-carboxylic acid หรือได้จากปฏิกิริยาควบแน่นของ amino acid ที่มีทั้ง acid และ amine groups ในโมเลกุลเดียวกัน (บรรเลง ศรนิล, 2546) โพลีเอไมด์หรือไนลอนเป็นพลาสติกอีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากสมบัติด้านความแข็งแรง ทนทานต่อความ

ร้อนสูง ยืดหยุ่นได้ ทนต่อการพับงอ ป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส ไขมัน และกลิ่นได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงและการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สจะลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้งานของพลาสติกไนลอนต้องมีการลามิเนต (laminate) กับชั้นของโพลีเอทิลีนก่อน เพื่อให้ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ โดยทั่วไปพลาสติกชนิดนี้จะนิยมนำมาใช้ทำถุงบรรจุอาหารภายใต้ภาวะสุญญากาศ เช่น ถุงสำหรับบรรจุกุนเชียง ผักดอง เนยแข็ง ไส้กรอก แฮม เบคอน กาแฟ เครื่องดื่มชนิดผง และอาหารแช่-แข็ง เป็นต้น (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

2.4.4 ภาชนะบรรจุอะลูมิเนียม

โลหะที่ใช้มากสำหรับผลิตภาชนะบรรจุอาหารคือ เหล็กกล้าและอะลูมิเนียม รูปแบบภาชนะบรรจุโลหะที่ใช้ เช่น กระป๋องเหล็กชุบดีบุก กระป๋องอะลูมิเนียม ถ้วย ฝา และแผ่นเปลวอะลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งอะลูมิเนียม (aluminium) เป็นโลหะที่มีมากที่สุดในโลก โดยอยู่ในรูปอะลูมินาหรืออะลูมิเนียมออกไซด์ในแร่ชนิดต่างๆ ในปัจจุบันการผลิตอะลูมิเนียมจะใช้วิธีการแยกอะลูมิเนียมและออกซิเจนออกจากกันด้วยไฟฟ้า อะลูมิเนียมที่นำมาใช้ในการผลิตภาชนะบรรจุมักเติมสารใช้เจือ (alloying element) เพื่อให้มีคุณสมบัติด้านการขึ้นรูป มีความแข็งแรง ทนทานการกัดกร่อน น้ำหนักเบา และอื่นๆ ตามการใช้งาน ซึ่งสารที่ใช้เจือปน เช่น เหล็ก ซิลิคอน แมงกานีส และทองแดง เป็นต้น (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

ภาชนะบรรจุอะลูมิเนียมที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมการบรรจุมี 3 ประเภท ได้แก่

1. กระป๋องอะลูมิเนียม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกระป๋องแบบ 2 ชิ้น
2. หลอดยุบตัวได้ เช่น หลอดยาสีฟัน หลอดซอสมะเขือเทศ เป็นต้น ภาชนะกึ่งคงรูป ที่ได้จากการอัดขึ้นรูปแผ่นอะลูมิเนียมในแม่พิมพ์ เช่น ถาม ถ้วย ขนาดเล็กๆ สำหรับขนมอบ และถาดอาหารแช่แข็ง เป็นต้น
3. แผ่นเปลว (foil) ที่ได้จากการรีดจนกระทั่งมีความหนา 4 ถึง 150 ไมโครเมตร ซึ่งความหนาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประมาณ 6-50 ไมโครเมตร แต่ข้อเสียของการใช้แผ่นเปลวอะลูมิเนียมในการผลิตภาชนะบรรจุคือการเกิดรอยขูดขีดและรูเข็มได้ง่าย และปิดผนึกด้วยความร้อนไม่ได้ จึงต้องนำไปลามิเนตกับวัสดุอื่นๆ เช่น ฟิล์มพลาสติกและกระดาษ เป็นต้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามภาชนะอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่สำคัญในการช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น สามารถป้องกันแสง แก๊สออกซิเจน และไอน้ำ เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของสารที่มีประโยชน์และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ชา และมีรายงานการวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อ

คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการเก็บรักษา โดยอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และคณะ (2550) ได้ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของชาใบหม่อนโดยใช้ชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถุงพลาสติก polypropylene และบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ (PP), ถุง nylon และบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ (PA), ถุง nylon และบรรจุภายใต้สุญญากาศ (V-PA), ถุง laminated aluminum และบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ (Al), ถุง laminated aluminum และบรรจุภายใต้สุญญากาศ (V-Al) เก็บที่อุณหภูมิ 30 $^{\circ}$C เป็นเวลา 12 เดือน และพบว่า ค่า a_w ของชาใบหม่อนมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ รูทีน และคาเทชิน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งชาใบหม่อนที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ Al มีความแตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน PA และ PP ตามลำดับ และการบรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศช่วยรักษาคุณภาพของชาได้ดีกว่าการบรรจุภายใต้ภาวะปกติ และผลจากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน สามารถสรุปได้ว่าสภาวะการบรรจุที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนเรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ V-Al>Al>V-PA>PA>PP นอกจากนี้ วิศนี สุประดิฐอาภรณ์ และประมวล ศรีกาหลง (2550) ได้ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ โดยศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว และศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น สี และกลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วที่เก็บรักษาในบรรจุ-ภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ ถุง polyethylene (PE) ถุง polypropylene (PP) ถุง laminated aluminium (Al) และถุงสุญญากาศ ที่เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 เดือน ผลการวิจัยพบว่าถุง Al และถุงสุญญากาศ สามารถรักษาคุณภาพด้านการควบคุมปริมาณความชื้นได้ดี ดังนั้นถุง Al และถุงสุญญากาศจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว เช่นเดียวกับการศึกษาของ Abong และคณะ (2011) ที่ได้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิในการเก็บต่ออายุการเก็บของของมันฝรั่งทอดกรอบ ซึ่งพบว่าถุง Al มีความสามารถในการควบคุมการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นของมันฝรั่งทอดกรอบได้ โดยมันฝรั่งทอดกรอบที่เก็บในถุง Al จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นน้อยกว่ามันฝรั่งทอดกรอบที่เก็บในถุง PE ดังนั้น ถุง Al จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เก็บรักษามันฝรั่งทอดกรอบ

จากที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่ามีหลายปัจจัยทั้งกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนและบรรจุภัณฑ์ขณะเก็บรักษาที่อาจส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญของข้าวไรซ์เบอรี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลของกระบวนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีที่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพและผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี เพื่อที่จะรักษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญต่างๆ ที่มีประโยชน์ของข้าวไรซ์เบอรีไว้จนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

สารเคมี

2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma Aldrich, USA)
6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma Aldrich, USA)
acetonitrile (CH_3CN) (Sigma Aldrich, USA)
aluminium chloride ($AlCl_3$) (Ajax Finechem, New Zealand)
ethanol (CH_3CH_2OH)
ethyl acetate ($C_4H_8O_2$) (Sigma Aldrich, USA)
ferric chloride ($FeCl_3$) (Fisher Scientific, UK)
Folin-Ciocalteu reagent (Merck, Germany)
gallic acid (Ajax Finechem, Australia)
gamma oryzanal standard (Sigma Aldrich, USA)
glacial acetic acid (CH_3COOH) (Qrec, New Zealand)
hydrochloric acid (HCl) (Qrec, New Zealand)
methanol (CH_3OH) (Fisher Scientific, UK)
potassium chloride (KCl) (Ajax Finechem, New Zealand)
sodium acetate (CH_3COONa) (Ajax Finechem, New Zealand)
sodium carbonate (Na_2CO_3) (Daejung, Korea)
sodium hydroxide pellets (NaOH) (Qrec, New Zealand)
sodium nitrite ($NaNO_2$) (Ajax Finechem, New Zealand)
tartaric acid (Qrec, New Zealand)
tripyridyltriazine (TPTZ) (Merck, Germany)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

plate count agar (Sigma Aldrich, USA)
potato dextrose agar (Sigma Aldrich, USA)

เครื่องมือ

เครื่อง blender (Philips, 600W, Netherland)
เครื่อง chroma meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan)
เครื่อง digital thermometer with thermocouple probe (Fluke $51^{K/J}$ Thermometer, USA)
เครื่อง high-performance liquid chromatography (HLPC) (Alltech, Model 626, USA)
เครื่อง hot air oven (Memmert, DO 6062, Germany)
เครื่อง shaker (Innova, Innova 2050, USA)
เครื่อง stomacher lab blender (Seward Stomacher 400 Circulator, USA)
เครื่อง pH meter (Inobab, TetraCon 325, Germany)
เครื่อง UV-visible spectrophotometer (Thermo Spectronic, Genesys 10uv, USA)
เครื่อง vacuum sealer (Multivac, A300/16, Germany)
เครื่อง vortex mixer (CTL, CTL-107, Japan)
เครื่อง water activity (Aqualab, series3TE, USA)
เครื่อง water bath (Memmert, WNB 22, Germany)
เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler, NewClassic MF, Switzerland)
เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (MS304S, Mettler Toledo, Switzerland)
เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Ohaus, PA214C, USA)
ตู้บ่ม (Heraeus, B5042, Germany)
เตาไฟฟ้า (Imarflex, IF-404, China)

การเตรียมตัวอย่างข้าวไรซ์เบอรี

ตัวอย่างข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการเก็บเกี่ยวมาเป็นระยะเวลา 1 เดือน ที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทวุฒิชัยโปรดิวส์ จำกัด ผ่านการสีเอาเปลือกออกและขนส่งมายังภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากนั้นแบ่งข้าวไรซ์เบอรีเต็มเมล็ดบรรจุแบบสุญญากาศ ใส่ถุง laminated aluminium แล้วปิดผนึกด้วยเครื่อง vacuum sealer (Multivac, A300/16, Germany) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ ถุง polypropylene (PP), ถุง laminated aluminium (Al), ถุง polyamide (nylon, PA) โดยมีขนาด ความหนา ความหนาแน่น และราคาต่อหน่วย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ขนาด (นิ้ว × นิ้ว)	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
polypropylene (PP)	4 × 6	0.0700	0.91	0.06
laminated aluminium (Al)	4 × 6	0.0965	1.16	1.80
polyamide (nylon, PA)	4 × 6	0.0810	2.17	1.50

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นของข้าวไรซ์เบอรี

3.1.1 ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีด้วยเครื่องวัด water activity (Aqualab, series3TE, USA)

3.1.2 แกมมา-โอไรซานอลด้วยเครื่อง HPLC ดัดแปลงตามวิธีการสกัดของ Aguilar-Garcia และคณะ (2007) (ภาคผนวก ข.1)

3.1.3 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry ดัดแปลงตามวิธีของ Iqbal และคณะ (2005) (ภาคผนวก ข.2)

3.1.4 สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี aluminium chloride colorimetry ดัดแปลงตามวิธีของ Zhishen และคณะ (1999) (ภาคผนวก ข.3)

3.1.5 แอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method ดัดแปลงตามวิธีการของ Wrolstad และคณะ (2005) (ภาคผนวก ข.4)

3.1.6 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995) (ภาคผนวก ข.5)

3.1.7 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996) (ภาคผนวก ข.6)

3.1.8 วัดสีด้วยเครื่อง chroma meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan) ระบบ CIE LAB และบันทึกค่า *L*, a** และ *b** ก่อนการวัดทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (ภาคผนวก ก.1)

โดยที่ ค่า *L** แสดงถึง ค่าความสว่าง (lightness)

ค่า *a** แสดงถึง ค่าสีแดงและเขียว (redness/greenness)

ค่า *b** แสดงถึง ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness)

3.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิการคั่วต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิเตาที่เหมาะสมในการใช้คั่วข้าวไรซ์เบอรีอยู่ในช่วง 70-150 °C ดังนั้นจึงแปรอุณหภูมิการคั่วข้าวไรซ์เบอรี 3 อุณหภูมิ โดยคั่วข้าวไรซ์เบอรี 150 กรัม ที่อุณหภูมิเตาที่กำหนด คือ 70, 120 และ 140 °C ระหว่างการคั่วให้วัดค่า a_w ทุกๆ 2 นาที จนกระทั่งข้าวไรซ์เบอรีมีค่า a_w ประมาณ 0.3 (0.300-0.349) และความชื้นประมาณ 2% ทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวที่ผ่านการคั่วต่างๆ ตามข้อ 3.1.2–3.1.8

3.3 การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี

โดยมีสิ่งทดลองต่างๆ ดังนี้ 1. การคั่วข้าว 2. การนึ่งข้าวร่วมกับการคั่วข้าว 3. การแช่ข้าวร่วมกับการนึ่งข้าวและการคั่วข้าว

- การแช่ข้าว (soaking): แช่ข้าวไรซ์เบอรีในน้ำกรอง โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นแยกน้ำออกแล้วอบแห้งที่ 50 °C จนกว่าน้ำหนักคงที่ ก่อนนำไปนึ่งหรือคั่ว
- การนึ่งข้าว (steaming): ล้างข้าวไรซ์เบอรีด้วยน้ำกรอง 1 ครั้ง โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นแยกน้ำออกแล้วนึ่งข้าวไรซ์เบอรีที่ 100 °C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นอบแห้งที่ 50 °C จนกว่าน้ำหนักคงที่ ก่อนนำไปคั่ว
- การคั่วข้าว (roasting): คั่วข้าวไรซ์เบอรีที่อุณหภูมิและเวลาที่ให้สารประกอบฟีนอลิกสูงสุดจากข้อที่ 3.2

ทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านสิ่งทดลองต่างๆ ตามข้อ 3.1.2–3.1.8

3.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการชงชาต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี

จากการทดลองเบื้องต้นการชงชาข้าวไรซ์เบอรีกับน้ำร้อนอุณหภูมิต่างๆ พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการชงชาข้าวไรซ์เบอรี คืออุณหภูมิในช่วง 70-90 °C ดังนั้นจึงแปรอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำร้อนที่ใช้สำหรับการชงชาข้าวไรซ์เบอรี 5 อุณหภูมิ คือ 70, 75, 80, 85 และ 90 °C เวลาในการชง (ระยะเวลาแช่ชาข้าวไรซ์เบอรีในน้ำร้อน) คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนของชาข้าวไรซ์เบอรีต่อน้ำร้อน เท่ากับ 1:15 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้ข้าวไรซ์เบอรี 10 กรัม น้ำร้อนอุณหภูมิต่างๆ 150 มิลลิลิตร ทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีต่างๆ ตาม ข้อ 3.1.3–3.1.7

จากการทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีต่างๆ เลือกอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำร้อนที่ใช้ชงชาที่ให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ชงชาข้าวไรซ์เบอรีโดยใช้เวลาในการชง คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ตามลำดับ ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป 50 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการชงที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ซึ่งมีอุณหภูมิของน้ำชาขณะชิมประมาณ 65-70 °C (Resurreccion, 1998) ทดสอบการยอมรับทางด้านรสชาติ กลิ่น สี และความชอบโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบชนิด 9 point-hedonic scale และใช้สเกลแบบ scoring (แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในภาคผนวก ง) ซึ่งกำหนดระดับคะแนนดังนี้

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี

3.5.1 เตรียมตัวอย่างชาข้าวไรซ์เบอรีเต็มเมล็ด ตามขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีที่ให้สารประกอบฟีนอลิกสูงสุดจากข้อที่ 3.3

3.5.2 ชั่งชาข้าวไรซ์เบอรีเต็มเมล็ด 30 กรัม และบรรจุในบรรจุภัณฑ์และสภาวะต่างๆ ดังนี้ (ภาคผนวก ฉ)

- non-vacuum และ polypropylene (PP)
- non-vacuum และ nylon (PA)
- vacuum และ nylon (V-PA)
- non-vacuum และ laminated aluminium (Al)
- vacuum และ laminated aluminium (V-Al)

จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในที่มืด

3.5.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทุก 1 เดือน ด้วยการทดสอบสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของข้าวไรซ์เบอรีและน้ำชาของข้าวไรซ์เบอรี โดยชงชาข้าวไรซ์เบอรี 10 กรัม ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C 150 มิลลิลิตร ดังนี้

- ทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านสิ่งทดลองต่างๆ ตามข้อ 3.1.1–3.1.7
- ค่าสีของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีด้วยเครื่อง Chroma Meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan) (ภาคผนวก ก) ระบบ CIE LAB แล้วคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE*) (Total color difference) จากสูตร

$$\Delta E^* = [(L^*_1-L^*_2)^2 + (a^*_1-a_2^*)^2 + (b^*_1-b^*_2)^2]^{1/2}$$

กำหนดให้ subscript 1 คือ ค่าสีที่วัดตอนเริ่มต้น
subscript 2 คือ ค่าสีที่วัดได้ในแต่ละเดือน

- ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมด โดยใช้เทคนิค pour plate ตามวิธีของ Cunniff (1996) (ภาคผนวก ค)
- ปริมาณของยีสต์และรา โดยใช้เทคนิค spread plate ตามวิธีของ Cunniff (1996) (ภาคผนวก ค)

3.5.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เตรียมโดยชงชาข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการเก็บรักษาทุกๆ 1 เดือน เช่นเดียวกับข้อ 3.4

3.6 การประเมินผลทางสถิติ

การประเมินผลทางสถิติออกแบบการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) สำหรับการประเมินผลด้านสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และออกแบบการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) สำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป statistical package for social sciences (SPSS Version 22, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Tukey's (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นของข้าวไรซ์เบอรี

ข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นมีค่า water activity (a_w) ปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP เท่ากับ 0.548 ± 0.09, 270.78 ± 11.18 µg/g, 127.67 ± 6.29 mg GAE/100 g, 104.79 ± 11.18 µg QE/g, 212.27 ± 10.47 mg/100 g, 65.86 ± 1.32 %inhibition และ 222.89 ± 1.89 mM trolox/100 g ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งมีการรายงานของ Sompong และคณะ (2011) ที่พบว่าข้าวสีดำพันธุ์ Niaw Dam Pleuak Dam มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เท่ากับ 336.69±0.72 mg/100 g, 109.52±0.32 mg/100 g, 30.25±1.95 %inhibition และ 3.65±0.03 mmol/100 g ตามลำดับ ส่วนข้าวสีดำพันธุ์ China Black Rice มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เท่ากับ 475.87±19.22 mg/100 g, 244.83±2.13 mg/100 g, 16.04 ± 0.41 % inhibition และ 5.50±0.21 mmol/100 g ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาของ Zhang และคณะ (2010) พบว่าข้าวสีดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานิน เท่ากับ 302.2±57.0 mg GAE/100 g, 244.50±82.0 mg/100 g และ 6.22±1.16 mg/100 g ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวสีดำในแต่ละงานวิจัย อาจมีปริมาณใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณที่แตกต่างกันอาจมีสาเหตุเนื่องจากความแตกต่างของสายพันธุ์ สภาวะการเพาะปลูก อีกทั้งวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน เป็นต้น

ตารางที่ 3 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้น

สารพฤกษเคมี	ปริมาณ	หน่วย
สารแกมมา-โอไรซานอล	270.78 ± 11.18	(µg/g)
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	127.67 ± 6.29	(mg GAE/100 g)
สารฟลาโวนอยด์	104.79 ± 11.18	(µg QE/g)
สารแอนโทไซยานิน	212.27 ± 10.47	(mg/100 g)
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH	65.86 ± 1.32	%inhibition
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP	222.89 ± 1.89	(mM trolox/100 g)

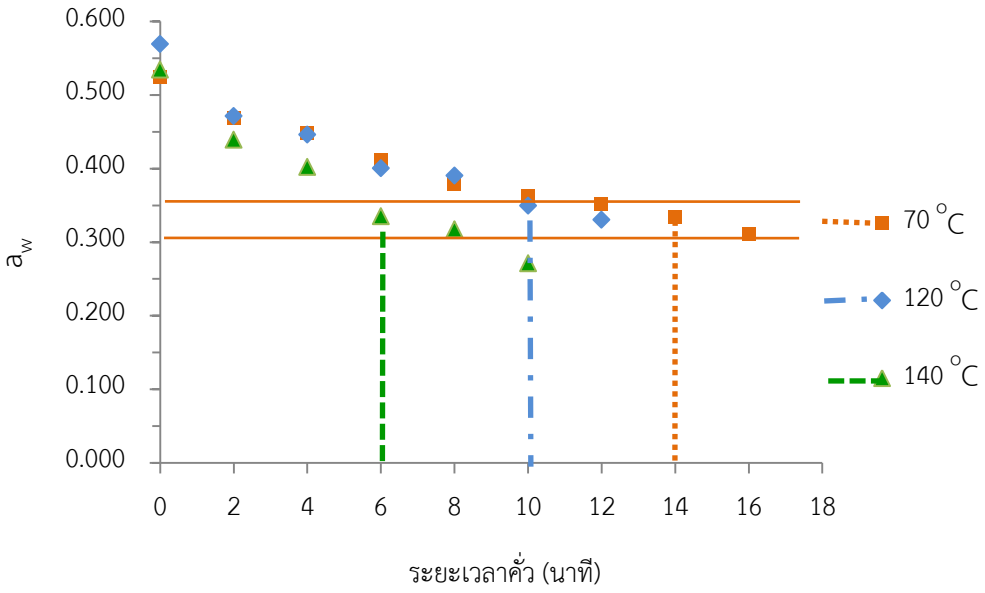
4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิการคั่วต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี

การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรี เมื่อกำหนดอุณหภูมิการคั่วข้าวไรซ์เบอรี 3 อุณหภูมิ ซึ่งในระหว่างการคั่ว วัดค่า a_w ทุกๆ 2 นาที จนกว่าข้าวไรซ์เบอรีมีค่า a_w ประมาณ 0.3 (0.300–0.349) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ	เวลาคั่ว (นาที)*								
เตา (°C)	0	2	4	6	8	10	12	14	16
70	0.524 ±0.04	0.468 ±0.01	0.448 ±0.02	0.411 ±0.03	0.378 ±0.02	0.362 ±0.03	0.351 ±0.03	0.333 ±0.03	0.311 ±0.05
120	0.569 ±0.03	0.471 ±0.04	0.446 ±0.01	0.400 ±0.03	0.390 ±0.05	0.349 ±0.03	0.330 ±0.02		
140	0.534 ±0.03	0.439 ±0.03	0.402 ±0.09	0.335 ±0.02	0.317 ±0.06	0.271 ±0.04			

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 6 ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 70 °C เวลาคั่ว 14 นาที หรืออุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 120 °C เวลาคั่ว 10 นาที หรืออุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 140 °C เวลาคั่ว 6 นาที จะมีค่า a_w อยู่ในช่วงที่ต้องการ (0.300–0.349) (รูปที่ 6) ซึ่งอุณหภูมิของข้าวไรซ์เบอรี มีค่าเท่ากับ 68.3 ± 1.4, 116.8 ± 1.4 และ 135.7 ± 1.4 °C ในการคั่วข้าวที่อุณหภูมิเตาเท่ากับ 70, 120 และ 140 °C ตามลำดับ (ตารางที่ 5) โดยที่อุณหภูมิเตาและเวลาต่างๆ ดังกล่าวเป็นจุดที่ค่า a_w อยู่ในช่วงที่กำหนดและลักษณะของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรียังคงรูปเดิม ไม่เกิดการพองแตกหรือไหม้เกรียม ดังนั้นจึงตัดสินใจเลือกอุณหภูมิเตาและเวลาดังแสดงในตารางที่ 5 เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิการคั่วต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี

ตารางที่ 5 อุณหภูมิและระยะเวลาในการคั่วข้าวไรซ์เบอรี

อุณหภูมิเตา (°C)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิของข้าวไรซ์เบอรี (°C)
70	14	68.3 ± 1.4
120	10	116.8 ± 1.4
140	6	135.7 ± 1.4

ปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่ 6 โดยพบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 120 °C มีปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP สูงที่สุด (88.71 ± 0.97 %inhibition และ 237.52 ± 10.31 mM trolox/100 g ตามลำดับ) ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP ที่สูงขึ้นของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 120 °C เมื่อเทียบกับข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้น (222.89 ± 1.89 mM trolox/100 g) สอดคล้องกับงานวิจัยของพนิตตรา ชำนาญศิลป์ (2554) ที่ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแกมมา-โอไรซานอล แอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวมีสีหลังจากการให้ความร้อน และพบว่ากิจกรรมการต้านออกซิเดชัน (antioxidation activity mg trolox/100 g) ของข้าวหอมนิลและข้าวหอมมะลิแดงเพิ่มสูงขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่ 75 และ 95 °C เมื่อเทียบกับข้าวเริ่มต้น แต่อย่างไรก็ตามข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 140 °C มีปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (163.88 ± 2.22 µg/g, 190.89 ± 8.55 mg GAE/100 g และ 140.27 ± 11.98 µg QE/g) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 120 °C และ 70 °C ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารฟลาโวนอยด์ที่สูงขึ้นของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 140

°C นั้นเมื่อเทียบกับข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้น (127.67 ± 6.29 mg GAE/100 g และ 104.79 ± 11.18 µg/g) อาจมีเหตุผลเนื่องจากการสลายพันธะของสารประกอบฟีนอลิกที่เกาะติดอยู่กับผนังเซลล์ (Randhir *et al*., 2008) หรืออาจเกิดจากการที่สารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลใหญ่สลายแตกตัวเป็นสารโมเลกุลเล็กๆ ที่มีปริมาณมากเมื่อผ่านกระบวนการคั่วที่ใช้อุณหภูมิสูง ทำให้วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกได้เพิ่มมากขึ้น (Patras *et al*., 2009)

ตารางที่ 6 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วอุณหภูมิต่างๆ

สารพฤกษเคมี	อุณหภูมิเตา (°C)			หน่วย
	70	120	140	
สารแกมมา-โอไรซานอล	156.19^{a} ± 5.89	96.59^{b} ± 9.64	163.88^{a} ± 2.22	(µg/g)
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	159.67^{b} ± 7.25	172.06^{b} ± 3.17	190.89^{a} ± 8.55	(mg GAE/100 g)
สารฟลาโวนอยด์	113.31^{b} ± 4.86	113.07^{b} ± 10.35	140.27^{a} ± 11.98	(µg QE/g)
สารแอนโทไซยานิน ^{NS}	185.16 ± 3.82	188.56 ± 10.08	177.41 ± 5.00	(mg/100 g)
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH	70.89^{b} ± 1.96	88.71^{a} ± 0.97	85.74^{a} ± 0.54	%inhibition
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP	204.73^{b} ± 10.97	237.52^{a} ± 10.31	213.67^{b} ± 11.40	(mM trolox/100 g)

NS: ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

a, b,...: ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

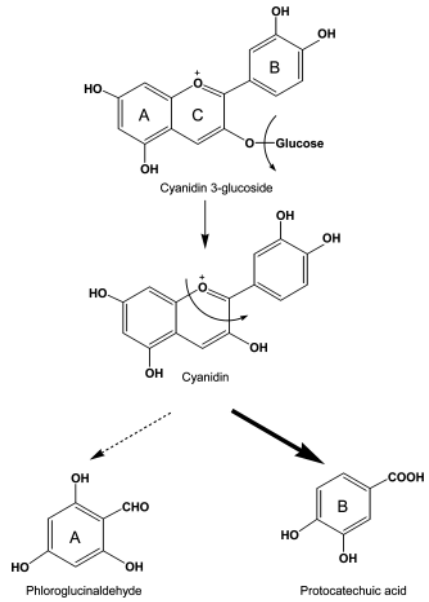
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การศึกษาผลขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ

ข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านสิ่งทดลองต่างๆ (1.การคั่วข้าว 2.การนึ่งข้าวร่วมกับการคั่วข้าว 3. การแช่ข้าวร่วมกับการนึ่งข้าวและการคั่วข้าว) มีปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 7 โดยพบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วมีปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP (157.96 ± 7.92 µg/g, 172.06 ± 8.19 mg GAE/100 g, 127.42 ± 7.53 µg QE/g, 177.41 ± 5.00 mg/100 g, 83.42 ± 2.73 %inhibition และ 204.73 ± 10.97 mM trolox/100 g ตามลำดับ) สูงกว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการนึ่งข้าวร่วมกับการคั่วข้าวและข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการแช่ข้าวร่วมกับการนึ่งข้าวและการคั่วข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu และคณะ (2013a) ที่ทำการศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตต่อสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของชาข้าวฟ่าง และพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และโปรไซยานิดินส์ของข้าวฟ่างที่ผ่านกระบวนการแช่และข้าวฟ่างที่ผ่าน

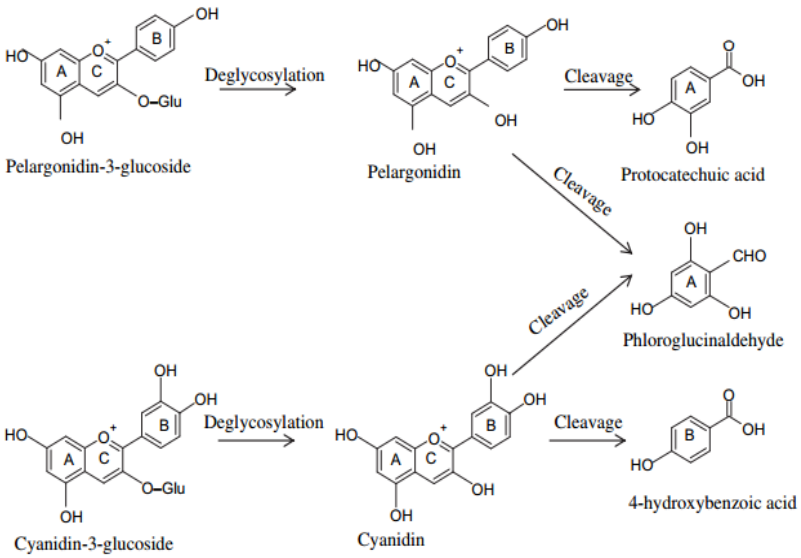
กระบวนการแช่และการนึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ข้าวฟ่างที่ผ่านกระบวนการคั่วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และโปรไซยานิดินส์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวฟ่างที่ผ่านกระบวนการแช่และข้าวฟ่างที่ผ่านกระบวนการแช่และการนึ่ง นอกจากนี้มีรายงานวิจัยของ Wu และคณะ (2013b) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหาร แอนโทไซยานิน และสารระเหยในระหว่างกระบวนการผลิตชาข้าวสีดำ ซึ่งตรวจพบแอนโทไซยานินที่สำคัญที่สามารถพบได้ในข้าวสีดำ (วิเคราะห์ด้วย HPLC ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร) ได้แก่ cyaniding-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside โดยพบว่า cyaniding-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside ของข้าวสีดำที่ผ่านกระบวนการแช่ข้าวสีดำที่ผ่านกระบวนการแช่และการนึ่ง และข้าวสีดำที่ผ่านกระบวนการแช่กับการนึ่งและการคั่วลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับข้าวสีดำเริ่มต้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของแอนโทไซยานินทั้ง 2 ชนิดของข้าวสีดำที่ผ่านกระบวนการแช่ลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้าวสีดำที่ผ่านกระบวนการอื่นๆ และในปีถัดมา มีรายงานวิจัยของ Surh และ Koh (2014) ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ cyaniding-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside ของข้าวสีดำที่ผ่านกระบวนการต้ม กระบวนการนึ่ง และกระบวนการคั่ว โดยผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณ cyaniding-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside เทียบกับปริมาณเริ่มต้น มีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Hiemori และคณะ (2009) ที่ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการปรุงสุกต่อปริมาณ cyaniding-3-glucoside ในข้าวสีดำ ซึ่งพบว่าปริมาณ cyaniding-3-glucoside ของตัวอย่างข้าวสีดำเกิดการสลายและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อผ่านขั้นตอนการต้มโดยใช้ความร้อน จึงส่งผลให้ปริมาณ cyaniding-3-glucoside ลดลง (รูปที่ 7) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Patras และคณะ (2010) ที่ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนกับเสถียรภาพ กลไกการสลายตัวและจลนศาสตร์ของการสลายตัวของแอนโทไซยานินในอาหาร โดยพบว่ากลไกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินด้วยความร้อนเป็นผลมาจากปฏิกิริยา deglycosylation โดยความร้อนสามารถทำให้ pelargonidin-3-glucoside เปลี่ยนโครงสร้างเป็น pelargonidin หรือ cyaniding-3-glucoside เปลี่ยนโครงสร้างเป็น cyaniding แล้วเกิดปฏิกิริยาต่อและเปลี่ยนโครงสร้างเป็น protocatechuic acid หรือ phloroglucinaldehyde หรือ 4-hydroxybenzoic acid ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารพฤกษเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยรวมของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านกระบวนการต่างๆ นั้น อาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หลายประเภทในระหว่างกระบวนการต่างๆ เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเกิดจากการชะล้างของสารพฤกษเคมีที่ละลายน้ำได้ เช่น จำพวกสารกรดฟีนอลิกต่างๆ และสารฟลาโวนอยด์ในกระบวนการแช่ นอกจากนี้อาจเกิดจากการสร้างสารใหม่หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือสารเกิดการสลายตัว เช่น การเกิดปฏิกิริยา deglycosylation

ของสารแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการนึ่งและการคั่วที่เกิดจากความร้อน (Xu and Chang, 2009; Gazzani *et al*., 1998; Patras *et al*., 2010)



รูปที่ 7 กลไกการสลายตัวของ cyanidin-3-glucoside ในข้าวสีดำเมื่อได้รับความร้อน

ที่มา: Hiemori และคณะ (2009)



รูปที่ 8 กลไกของการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินด้วยความร้อน

ที่มา: Patras และคณะ (2010)

ตารางที่ 7 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านสิ่งทดลอง

สารพฤกษเคมี	สิ่งทดลอง			หน่วย
	คั่วข้าว	นึ่งข้าวร่วมกับคั่วข้าว	แช่ข้าวร่วมกับนึ่งข้าวและคั่วข้าว	
สารแกมมา-โอไรซานอล	157.96^{a} ± 7.92	139.29^{ab} ± 8.13	126.35^{b} ± 4.20	(µg/g)
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	172.06^{a} ± 8.19	122.50^{b} ± 2.92	101.11^{c} ± 9.33	(mg GAE/100 g)
สารฟลาโวนอยด์	127.42^{a} ± 7.53	81.47^{b} ± 7.37	70.89^{b} ± 9.62	(µg QE/g)
สารแอนโทไซยานิน	177.41^{a} ± 5.00	168.53^{ab} ± 4.93	156.98^{b} ± 7.21	(mg/100 g)
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH	83.42^{a} ± 2.73	34.21^{b} ± 0.71	38.57^{b} ± 6.70	%inhibition
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP	204.73^{a} ± 10.97	182.54^{a} ± 5.97	152.74^{b} ± 9.25	(mM trolox/100 g)

NS: ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

a, b,... : ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 8 แสดงค่าสีของข้าวไรซ์เบอรี ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของข้าวไรซ์เบอรีที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE *L* a* b** โดยค่า *L** เป็นค่าที่แสดงถึงค่าความสว่าง ในขณะที่ค่า *+a** แสดงถึงค่าสีแดง และค่า *+b** แสดงถึงค่าสีเหลือง ค่า *L*,a** และ *b** ของข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 20.76 ± 1.06, 1.90 ± 0.48 และ 2.09 ± 0.45 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้าวไรซ์เบอรีที่ได้ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 70 °C มีค่า *L*, a** และ *b** สูงที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านขั้นตอนการผลิตต่างๆ พบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการแช่ร่วมกับการนึ่งและการคั่วมีค่า *L** และ *b** สูงที่สุด ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการนึ่งร่วมกับการคั่วมีค่า *a** สูงที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวไรซ์เบอรีนั้นอาจเนื่องจากผลของปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) หรือคาราเมลไลเซชัน (caramelization) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคั่วที่ใช้อุณหภูมิสูง แต่อย่างไรก็ตามค่า *L*, a** และ *b** ของข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นและข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าสีของข้าวไรซ์เบอรี

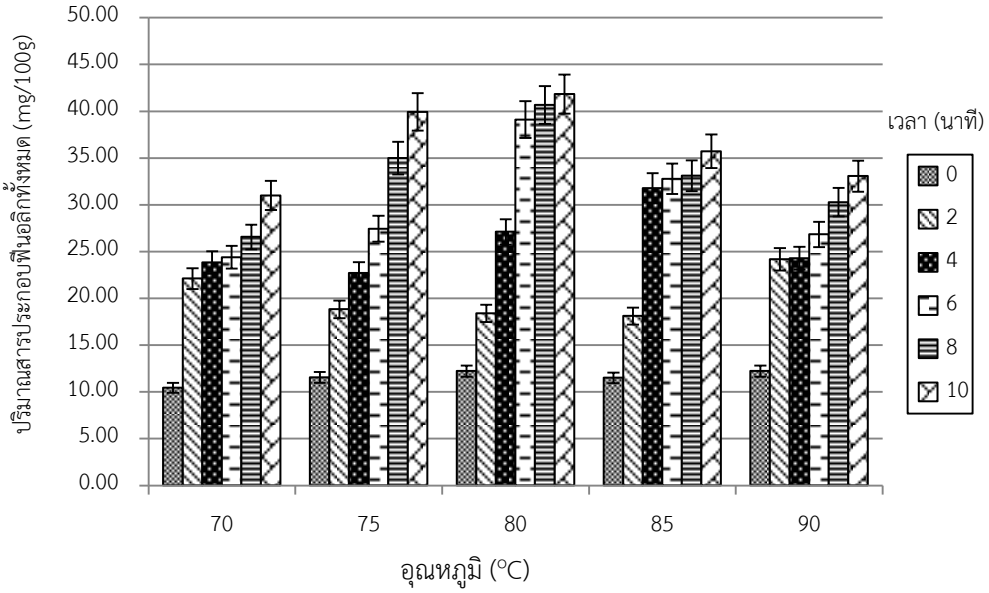
ข้าวไรซ์เบอรี	$L^{*\,NS}$	$a^{*\,NS}$	$b^{*\,NS}$
เริ่มต้น	20.76 ± 1.06	1.90 ± 0.48	2.09 ± 0.45
การคั่วที่ 70°C	20.39 ± 0.72	2.12 ± 0.09	2.44 ± 0.44
การคั่วที่ 120°C	20.09 ± 1.54	1.84 ± 0.50	2.16 ± 0.18
การคั่วที่ 140°C	20.32 ± 0.88	2.03 ± 0.34	2.09 ± 0.32
การนึ่งร่วมกับการคั่ว	22.56 ± 0.52	2.95 ± 0.32	2.71 ± 0.38
การแช่ร่วมกับการนึ่งและการคั่ว	22.67 ± 0.50	2.83 ± 0.38	2.72 ± 0.32

NS: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

4.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการชงชาต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี

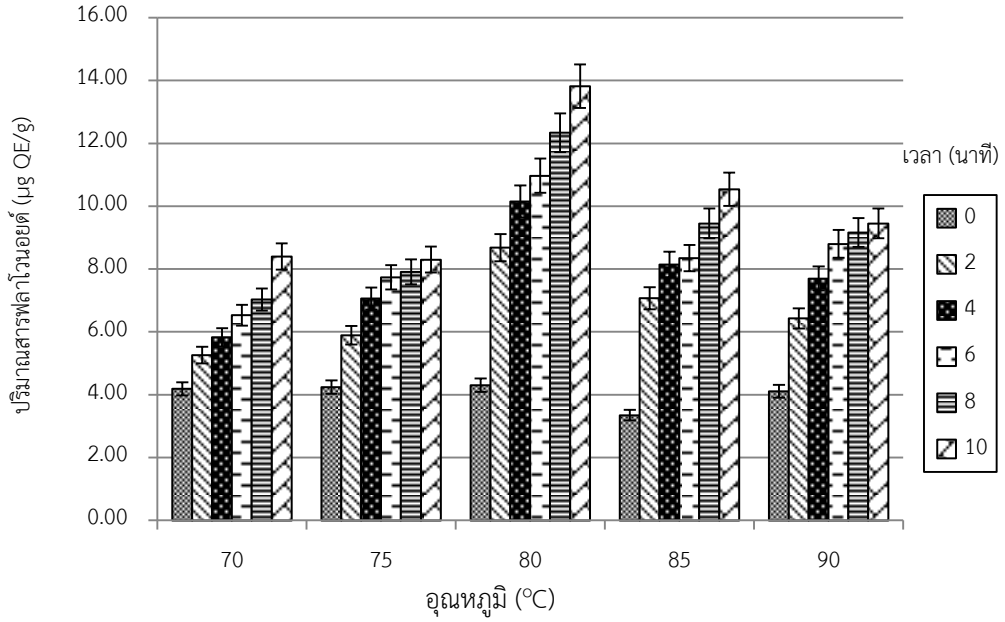
การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีกับน้ำร้อนอุณหภูมิเริ่มต้นต่างๆ พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นและเวลาที่ใช้ในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนเริ่มต้นเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารต่างๆ เพิ่มขึ้น (รูปที่ 8-12) สอดคล้องกับงานวิจัยของสิริการ หนูสิงห์ และคณะ (2557) ที่ได้ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำชาข้าวก่ำเพาะงอกต่างๆ ซึ่งพบว่าทั้งอุณหภูมิและเวลามีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแช่ข้าวก่ำงอกสูงขึ้น ทำให้น้ำชาที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของดวงกมล ลืมจันทร์ และคณะ (2551) ที่พบว่าการใช้อุณหภูมิในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้เมล็ดข้าวมีความอ่อนนุ่ม ส่งผลให้สารละลายออกมาให้มากขึ้น นอกจากนี้ อรพรรณ บุญวิธวาเจริญ (2549) รายงานการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำชาพาสเจอไรซ์ โดยศึกษาในชาทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ชาเขียว ชาอูหลง ชาดำ และชาใบหม่อน และพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แทนนิน และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของชาเขียว ชาอูหลง และชาดำ สูงกว่าชาใบหม่อน และการศึกษาผลของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการชง (80 และ 100 °C) และเวลาที่ใช้ในการชงชา (1 2 3 4 และ 5 นาที) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แทนนิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนเริ่มต้นและเวลาที่ใช้ในการชงชาเขียว ชาอูหลง และชาดำนานขึ้น ทำให้น้ำชาที่มี

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แทนนิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารต่างๆ มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้สูงกว่า 80 °C อาจเนื่องจากความร้อนของน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีหรือทำลายโครงสร้างและพันธะต่างๆ ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน จึงส่งผลให้ปริมาณลดลง ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lin และ Chou (2009) ที่ศึกษาผลของความร้อนที่อุณหภูมิ 40-100 °C เวลา 30 นาที ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินของถั่วเหลืองหมัก และพบว่าเมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่อุณหภูมิเดียวกันที่เวลาในการชงต่างๆ (รูปที่ 9) พบว่าการใช้เวลาในการชงน้อยที่สุด (2 นาที) ส่งผลให้น้ำชาข้าวไรซ์เบอรีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุด ในขณะที่การใช้เวลาในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีเพิ่มขึ้นเป็น 10 นาที ส่งผลให้น้ำชาข้าวไรซ์เบอรีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



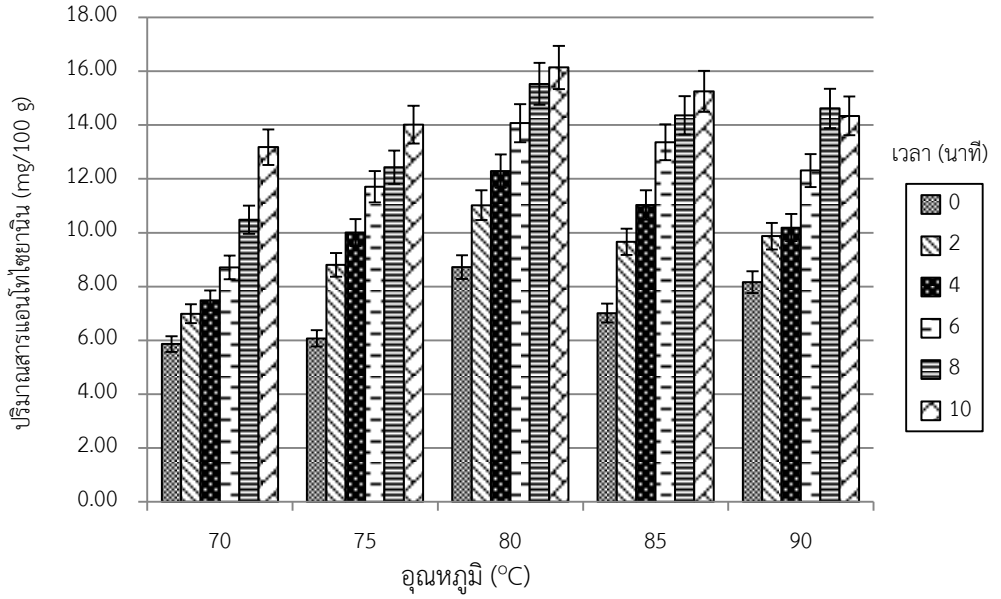
รูปที่ 9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ

เมื่อพิจารณาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และรูป FRAP (รูปที่ 10-13) พบว่าทุกค่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารต่อการใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดดังที่กล่าวในข้างต้น ดังนั้นในเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนเริ่มต้นที่เหมาะสมในการใช้ชงชาข้าวไรซ์เบอรีคือ 80 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำที่ชงชาข้าวไรซ์เบอรีที่ให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินสูงที่สุด

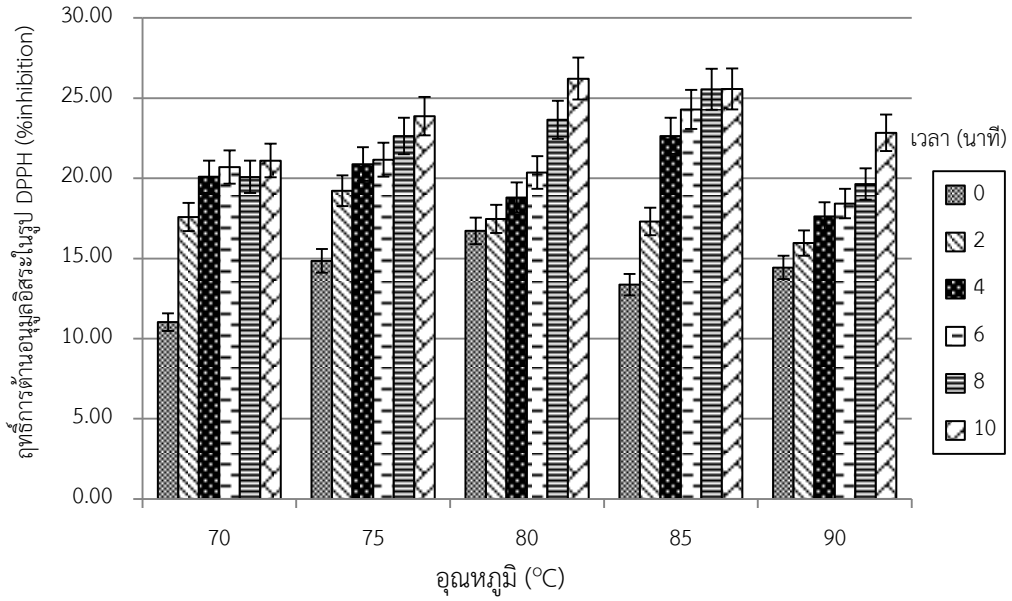


Chulalongkorn University

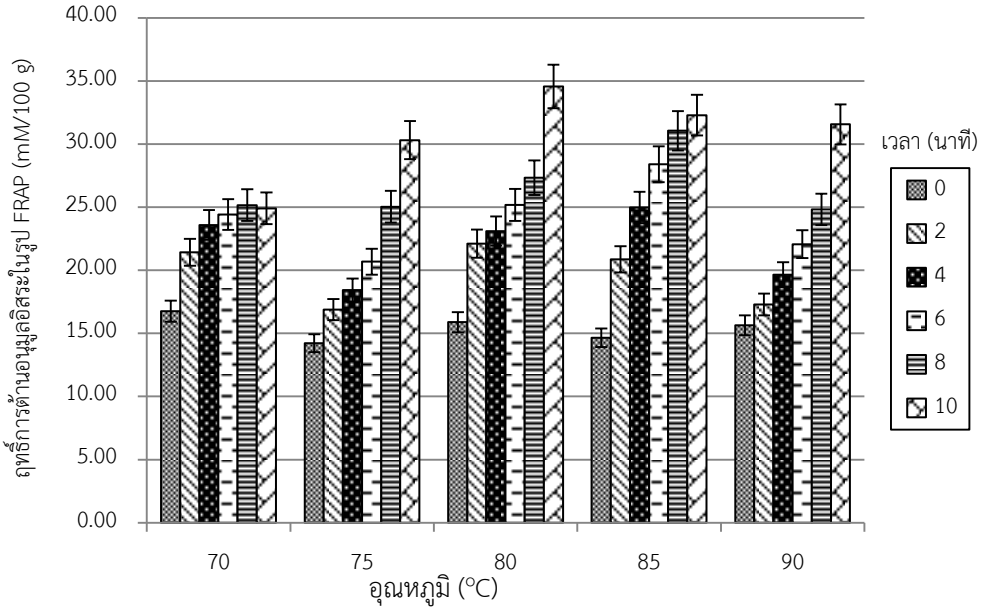
รูปที่ 10 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ



รูปที่ 11 ปริมาณสารแอนโทไซยานินของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ



รูปที่ 12 ปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ



รูปที่ 13 ปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ

จากผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของชาข้าวไรซ์เบอรีต่างๆ จึงตัดสินใจเลือกอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ชงชาที่ให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดซึ่งก็คือ อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการชงชาข้าวไรซ์เบอรีโดยชงชาข้าวไรซ์เบอรี (อุณหภูมิ 80 °C) ที่เวลาต่างๆ คือ 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 นาที และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาข้าวไรซ์เบอรี ซึ่งมีอุณหภูมิของน้ำชาขณะชิมประมาณ 65-70 °C (Resurreccion, 1998) ทดสอบการยอมรับหรือความชอบทางด้านสี ด้านกลิ่น ด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม ใช้แบบทดสอบชนิด 9 point-hedonic scale จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนความชอบด้านสี ด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้เวลาในการชงต่างกันมีความแตกต่างกัน ในขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 9)

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คนต่อน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ชงที่อุณหภูมิ 80 °C ที่เวลาต่างๆ พบว่าเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชอบด้านสี ด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม มีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 14) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธนพล กิจพจน์ และคณะ (2557) ที่ทำการศึกษาผลการชงชาต่อคุณภาพของสีและการยอมรับของผู้บริโภคของชาเขียวและชาสมุนไพรเจียวกู้หลาน โดยพบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบด้านสีของชา-

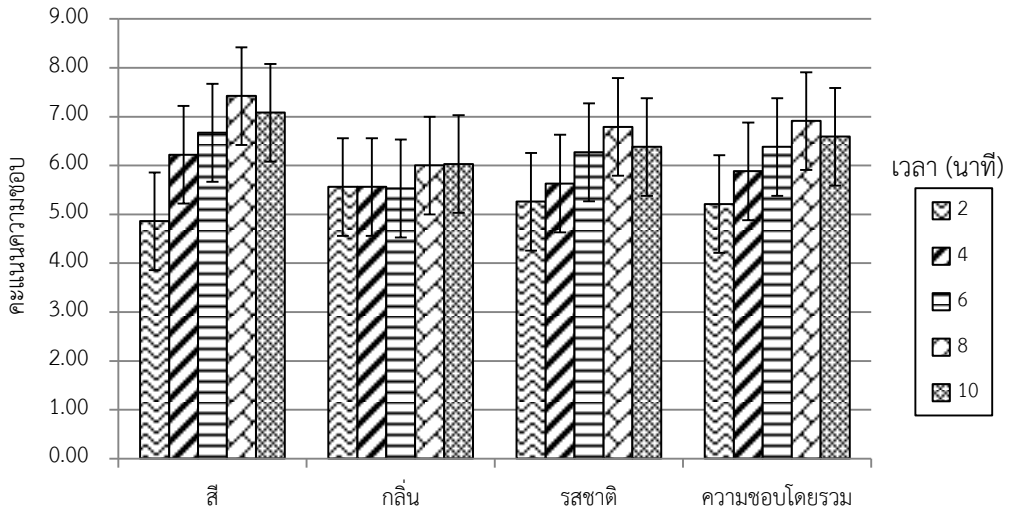
เขียวและชาสมุนไพรเจียวกู้หลานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เวลาการชง 8 นาที มีคะแนนด้านสี ด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมมากที่สุด คือ 7.42 ± 1.27, 6.79 ± 0.99 และ 6.91 ± 1.07 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เวลาการชง 6 นาที และ 10 นาที ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีในการศึกษานี้ คือ 6 นาที เพราะใช้เวลาในการชงน้อยที่สุด

ตารางที่ 9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ

เวลา (นาที)	สี	กลิ่น^{NS}	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
2	4.86^{c} ±1.72	5.56±1.53	5.26^{c} ±1.53	5.21^{c} ±1.41
4	6.22^{b} ±1.44	5.56±1.24	5.63^{b} ±1.07	5.88^{b} ±1.12
6	6.67^{ab} ±1.45	5.53±1.27	6.27^{ab} ±1.07	6.38^{ab} ±1.12
8	7.42^{a} ±1.27	6.00±1.77	6.79^{a} ±0.99	6.91^{a} ±1.07
10	7.08^{ab} ±1.24	6.03±1.83	6.38^{ab} ±1.31	6.59^{ab} ±0.94

NS: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

a, b,... : ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)



รูปที่ 14 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการชงต่างๆ

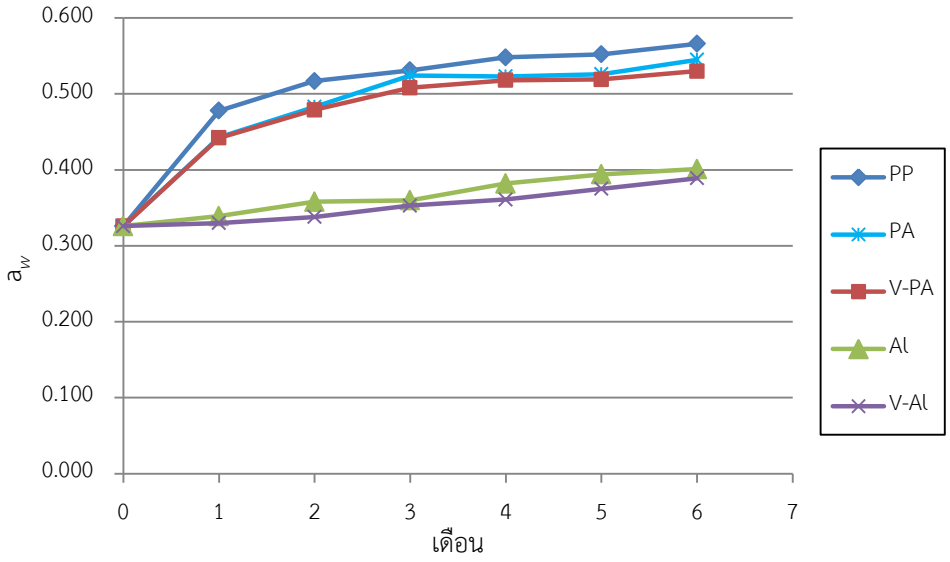
4.5 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี

ปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ของชาข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านกระบวนการคั่วเริ่มต้นก่อนการเก็บที่อุณหภูมิห้องในที่มืด แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ของชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา

สารพฤกษเคมี	**ปริมาณ**	**หน่วย**
สารแกมมา-โอไรซานอล	312.09 ± 4.97	(µg/g)
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	172.44 ± 3.91	(mg GAE/100 g)
สารฟลาโวนอยด์	118.04 ± 4.11	(µg QE/g)
สารแอนโทไซยานิน	172.43 ± 3.65	(mg/100 g)
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH	77.96 ± 2.91	%inhibition
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP	206.99 ± 5.26	(mM trolox/100 g)

จากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรีที่สภาวะและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ พบว่าสภาวะการบรรจุและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w โดยพบว่าค่า a_w ของชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บทุกสภาวะมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ชาข้าวไรซ์เบอรีมีค่า a_w เริ่มต้น เท่ากับ 0.326 ± 0.018 และชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีค่า a_w สูงที่สุด รองลงมาคือ PA, V-PA, Al และ V-Al เท่ากับ 0.566, 0.545, 0.530, 0.401 และ 0.389 ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า a_w เป็นผลเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศได้



รูปที่ 15 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

เมื่อเปรียบเทียบชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกัน พบว่าชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด PP มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า a_w สูงกว่าชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด PA และ Al โดยมีการศึกษาของอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และคณะ (2550) พบว่าบรรจุภัณฑ์ PP (ความหนา 0.0774 ± 0.0015 mm), PA (ความหนา 0.0838 ± 0.0084 mm) และ Al (ความหนา 0.0924 ± 0.0055 mm) มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) เท่ากับ 15.19 ± 0.49, 57.25 ± 2.63 และ ~0 $g.m^{-2}day^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งการที่ค่า a_w ของชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด PP มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บในบรรจุภัณฑ์อื่นๆ อาจมีเหตุผลเนื่องจากบรรจุภัณฑ์ชนิด PP มีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำซึมผ่านเข้าออกได้ดี ส่วนบรรจุภัณฑ์ชนิด PA มีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำซึมผ่านเข้าออกได้น้อยกว่า PP แต่สูงกว่า Al เพราะบรรจุภัณฑ์ชนิด PA เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีขั้วตรงหมู่เอมีน (amine) ของมอนอเมอร์ที่เป็นโครงสร้างหลัก จึงทำให้คุณสมบัติต้านการซึมผ่านของไอน้ำได้สูงกว่า ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ชนิด Al ที่เป็นชนิด laminated aluminium มีคุณสมบัติในการต้านการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้ ทำให้มีการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์อื่น (Stanley, 1980) ส่งผลให้ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บในด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด Al เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดหรือกล่าวอีกอย่างว่า a_w ของข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิด Al แตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวิศนี สุประดิษฐอาภรณ์ และประมวล ศรีกาหลง (2550) ที่ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยี สู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งผล

จากการศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว โดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ข้าวคั่วในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ ถุง polyethylene (PE) ถุง polypropylene (PP) ถุง laminated aluminium (Al) และถุงสุญญากาศที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าถุง Al และถุงสุญญากาศ สามารถรักษาคุณภาพด้านการควบคุมปริมาณความชื้นได้ดี จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวคั่ว เช่นเดียวกับการศึกษาของ Abong และคณะ (2011) ที่ได้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิในการเก็บต่ออายุการเก็บของของมันฝรั่งทอดกรอบ ซึ่งพบว่าถุง Al มีความสามารถในการควบคุมการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นของมันฝรั่งทอดกรอบได้ โดยมันฝรั่งทอดกรอบที่เก็บในถุง Al จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นน้อยกว่ามันฝรั่งทอดกรอบที่เก็บในถุง PE

ค่า a_w เป็นตัวแปรสำคัญในการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร รวมทั้งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารจากเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งจากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่าค่า a_w ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ 5 สภาวะ อยู่ในช่วง 0.398-0.566 ซึ่งจัดเป็นอาหารแห้ง (a_w<0.65) เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ โดยค่า a_w เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญ การอยู่รอด และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มีโอกาสในการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้น้อย แม้ว่าค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บ แต่ยังมีค่า a_w<0.65 จึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์และรา (Rahman and Labuza, 2007) ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 11 และตารางที่ 12 ที่มีการตรวจปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมดและปริมาณของยีสต์และราของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ 5 สภาวะเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน โดยพบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมดน้อยกว่า 25 CFU/g ในขณะที่ทุกตัวอย่างมีปริมาณของยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g ตลอดการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีมีค่า a_w อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ไม่สามารถจะเจริญได้ (Rattanapanone, 2006) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคในด้านจุลินทรีย์

ตารางที่ 11 ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมดของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

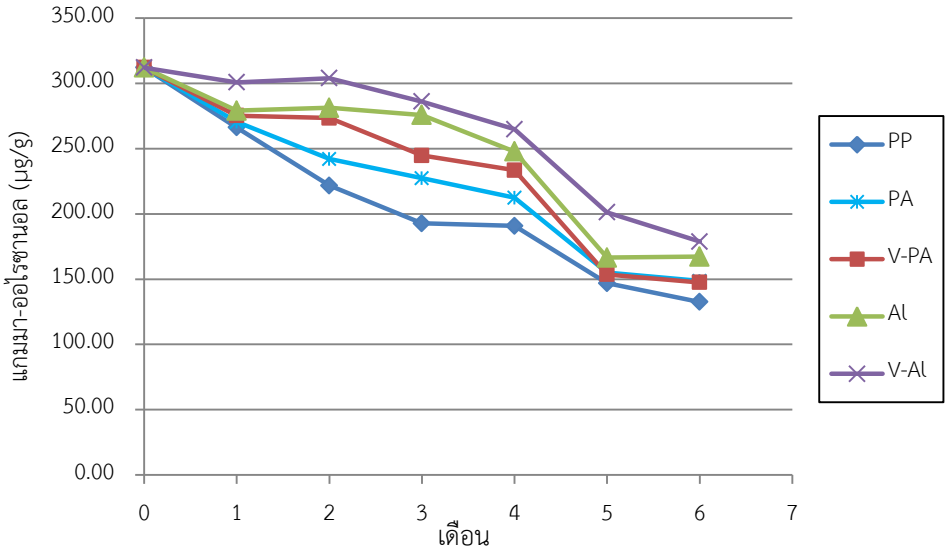
บรรจุภัณฑ์ 5 สภาวะ	ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมด (CFU/g)					
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6
PP	<25	<25	<25	<25	<25	<25
V-AL	<25	<25	<25	<25	<25	<25
AL	<25	<25	<25	<25	<25	<25
V-PA	<25	<25	<25	<25	<25	<25
PA	<25	<25	<25	<25	<25	<25

ตารางที่ 12 ปริมาณของยีสต์และราของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

บรรจุภัณฑ์ 5 สภาวะ	ปริมาณของยีสต์และรา (CFU/g)					
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6
PP	<10	<10	<10	<10	<10	<10
V-AL	<10	<10	<10	<10	<10	<10
AL	<10	<10	<10	<10	<10	<10
V-PA	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PA	<10	<10	<10	<10	<10	<10

ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลของชาข้าวไรซ์เบอรีก่อนเก็บรักษามีปริมาณเริ่มต้นเท่ากับ 312.09 ± 4.97 µg/g และเมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ 5 สภาวะมีแนวโน้มลดลงและแตกต่างกับชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณแกมมา-โอไรซานอลของข้าวไรซ์เบอรีในระหว่างการเก็บรักษาดังรูปที่ 16 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนปริมาณแกมมา-โอไรซานอล (µg/g) ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ 5 สภาวะ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน โดยชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณแกมมา-โอไรซานอลมากกว่าชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะอื่นๆ เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา 6 เดือน พบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al มีปริมาณแกมมา-โอไรซานอลมากที่สุด (178.81 ± 3.21 µg/g) รองมาเป็นชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ

Al, V-PA, และ PA ตามลำดับ (167.25 ± 3.45, 147.50 ± 1.17 และ 148.58 ± 3.01 μg/g ตามลำดับ) และชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีปริมาณแกมมา-โอไรซานอลน้อยที่สุด (132.49 ± 1.46 μg/g)

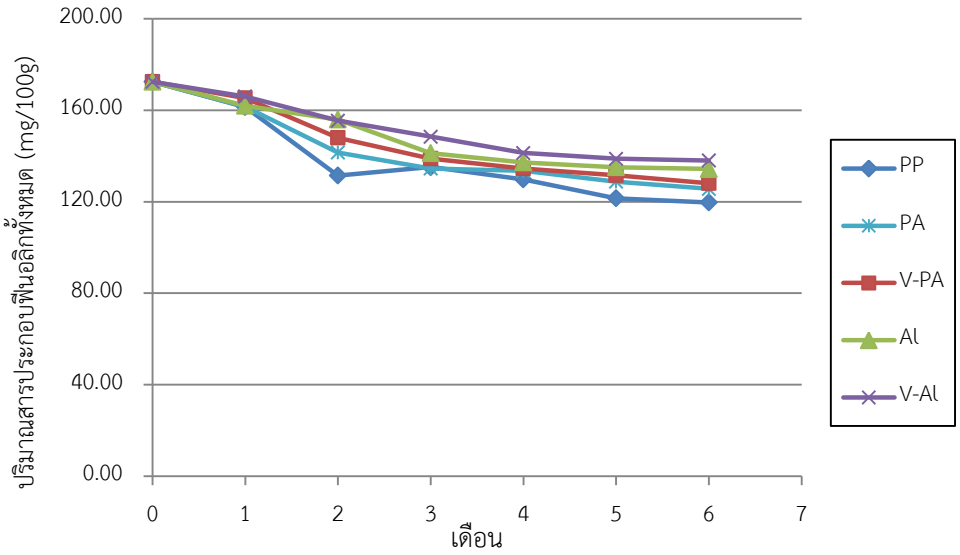


รูปที่ 16 ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g) ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน (รูปที่ 17) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บที่มากขึ้น ซึ่งชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 172.44 ± 3.91 mg GAE/100g เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการเก็บ พบว่าเดือนที่ 1 ชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาทุกสภาวะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่ตั้งแต่เดือนที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีปริมาณลดลงมากที่สุด และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al, Al, V-PA, PA และ PP มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 138.00 ± 3.00, 134.33 ± 4.70, 128.11 ± 4.83, 125.67 ± 5.33 และ 119.67 ± 4.29 mg GAE/100g ตามลำดับ ดังนั้นชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีปริมาณสารประกอบฟี-

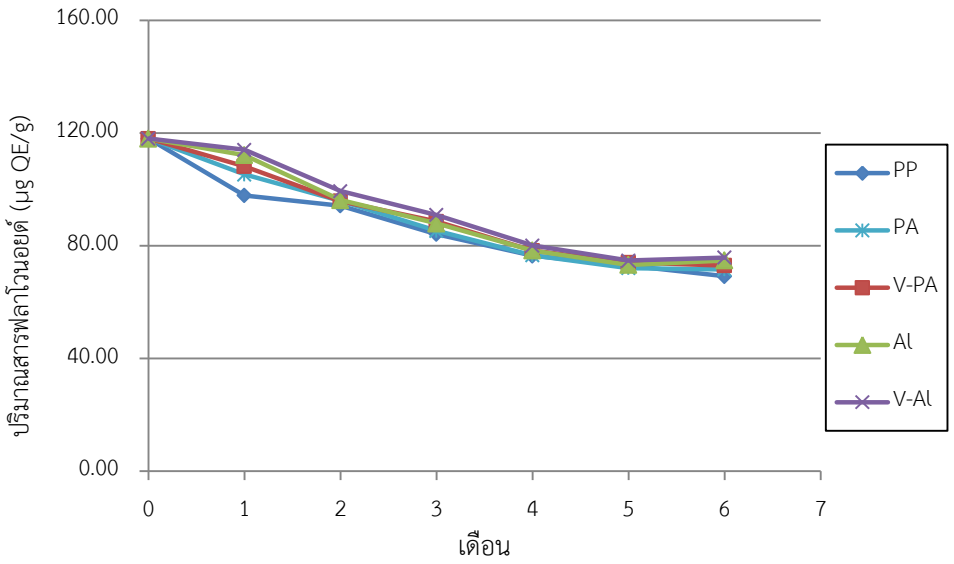
นอลิกทั้งหมดลดลงมากที่สุด เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ชนิด PP มีความสามารถในการต้านการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ไม่ดี อีกทั้งแสงสามารถส่องผ่านได้ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ชนิด PA มีความสามารถในการต้านการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด PP จึงมีแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามบรรจุ-ภัณฑ์ชนิด PA ไม่สามารถป้องกันแสงได้ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ชนิด Al มีความสามารถในการต้านการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ดีและสามารถป้องกันแสงได้ดี จึงส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด Al มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงน้อย นอกจากนี้ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านสี กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการของชาข้าวไรซ์เบอรี โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ได้แก่ แก๊สออกซิเจน อุณหภูมิ แสง และความชื้น (Wang and Lin, 2000) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความเหมาะของสภาวะการบรรจุผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีเพื่อรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ V-Al>Al>V-PA>PA>PP ตามลำดับ

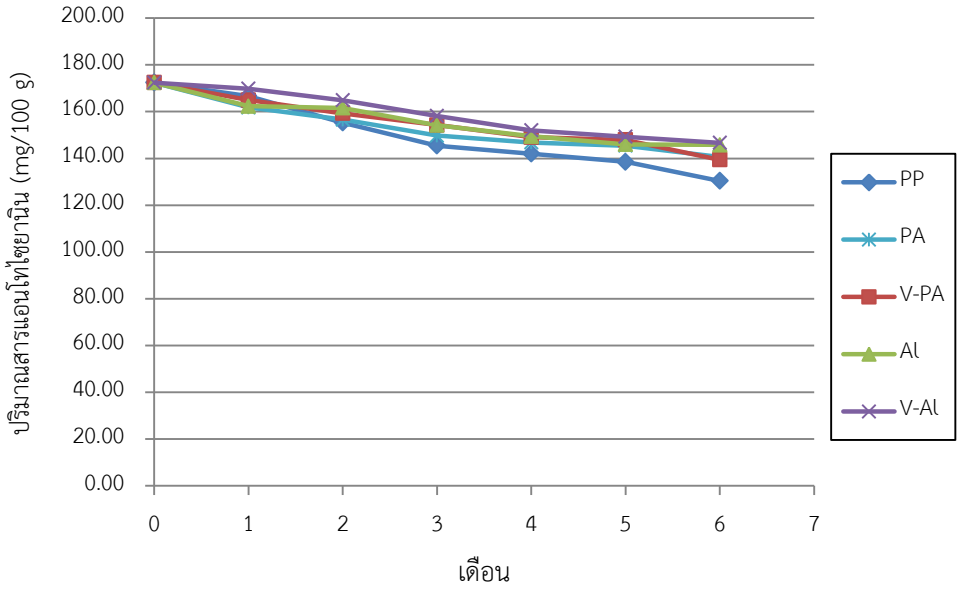


รูปที่ 17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

ชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์เริ่มต้นเท่ากับ 118.04 ± 4.11 µg QE/g และเมื่ออายุการเก็บมากขึ้น ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ มีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 18 ซึ่งการเปลี่ยนปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆต่างๆ พบว่าในเดือนที่ 1 และ 2 ข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากที่สุดเมื่อเทียบกับชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามตั้งแต่เดือนที่ 3 จนสิ้นสุดการเก็บรักษานาน 6 เดือน ชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาทุกสภาวะมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกัน และผลการศึกษาปริมาณสารแอนโทไซยานินของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน แสดงดังรูปที่ 19 โดยพบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ไม่แตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บของเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 4 และตั้งแต่เดือนที่ 5 ชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุดเมื่อเทียบกับชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะอื่นๆ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในเดือนที่ 6 ชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al, Al, V-PA, PA และ PP มีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 146.68 ± 1.02, 145.83 ± 5.61, 139.40 ± 4.91, 140.68 ± 5.14 และ 130.38 ± 4.17 mg/100g ตามลำดับ ซึ่งชาข้าวไรซ์เบอรีก่อนเก็บรักษามีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 172.43 ± 3.65 mg/100g และชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินน้อยกว่าการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ



รูปที่ 18 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

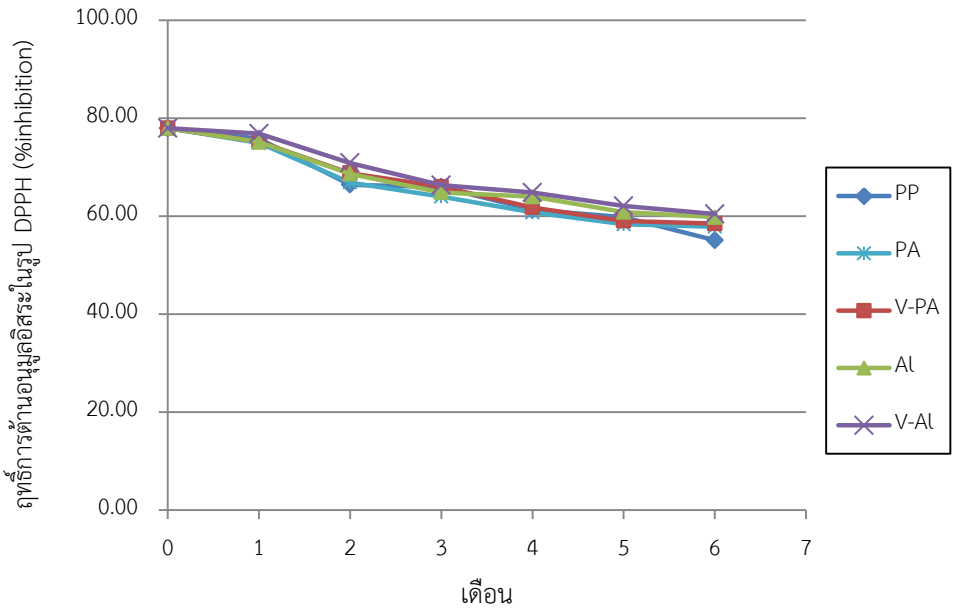


รูปที่ 19 ปริมาณสารแอนโทไซยานินของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

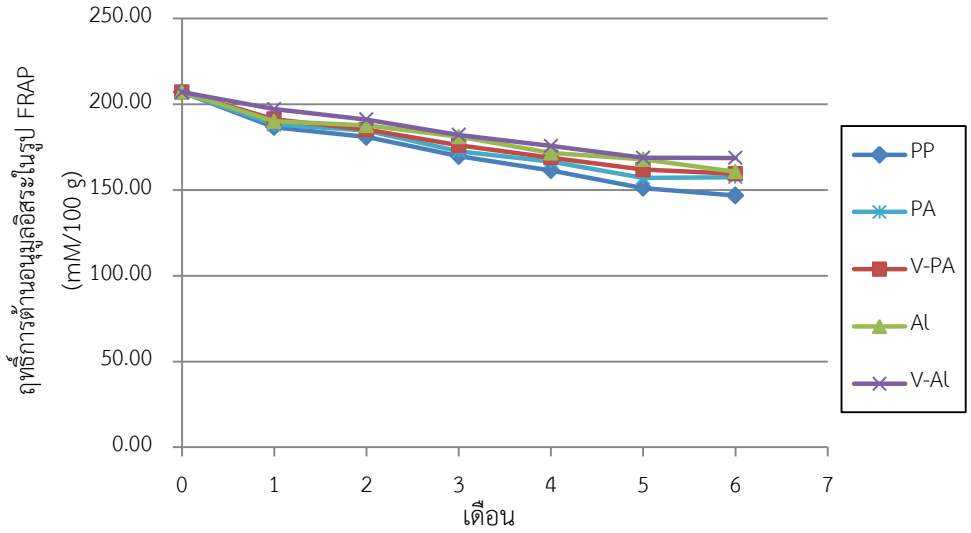
รูปที่ 20 แสดงการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH (%inhibition) ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองพบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH (%inhibition) ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ทุกสภาวะในแต่ละเดือนตลอดอายุการเก็บเป็นเวลา 6 เดือนไม่แตกต่างกัน โดยที่ชาข้าวไรซ์เบอรีก่อนเก็บรักษามีปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH เท่ากับ 77.96 ± 2.91 %inhibition และเมื่อเก็บเป็นเวลา 6 เดือน ชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al, Al, V-PA, PA และ PP มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH เท่ากับ 60.45 ± 2.55, 59.77 ± 2.92, 58.48 ± 2.15, 57.86 ± 2.56 และ 55.07 ± 1.60 %inhibition ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH นั้น เป็นการทดลองโดยใช้สารที่มีสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งในที่นี้คือ DPPH เพื่อดูปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระแบบดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) (Siddique *et al*., 2010)

ในขณะที่การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP (mM trolox/100 g) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระแบบการถ่ายเทอิเล็กตรอน (reducing antioxidant power) (Benzie and Strain, 1996) โดยพบว่าชาข้าวไรซ์เบอรีทุกสภาวะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มากขึ้น เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน (รูปที่ 21) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tosingharach และคณะ (2014) ที่ศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณโทโคฟีรอล และความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของรำข้าว โดยที่ระยะเวลาเก็บนานขึ้นฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของชาข้าวไรซ์เบอรีก่อนเก็บรักษาเท่ากับ 206.99 ± 5.26 mM trolox/100 g เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการเก็บ พบว่าเดือนที่ 1 ชาข้าวไรซ์-เบอรีที่เก็บรักษาทุกสภาวะไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ตั้งแต่เดือนที่ 2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีปริมาณลดลงมากที่สุด ส่วนชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al มีปริมาณลดลงน้อยที่สุด และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al, Al, V-PA, PA และ PP มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP เท่ากับ 168.68 ± 3.82, 160.63 ± 3.34, 159.39 ± 1.62, 157.44 ± 1.52 และ 146.73 ± 3.16 mM trolox/100 g ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระนิยมศึกษามากว่าหนึ่งวิธีการ เนื่องจากความซับซ้อนของสารพฤกษเคมีในพืชแตกต่างกันและแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกัน (Pakony *et al*., 2001) ซึ่งจากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณระหว่างฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ ที่เก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่พบอยู่ในผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีนั้น เป็นชนิดที่มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระแบบดักจับอนุมูลอิสระมากกว่าการทำงานต้านอนุมูลอิสระแบบการถ่ายเทอิเล็กตรอน



รูปที่ 20 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 21 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

สีเป็นสมบัติทางกายภาพที่มองเห็นได้ของอาหารและมีบทบาทสำคัญในอาหาร (Goncalves *et al*., 2007) ที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิห้องในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ แสดงในตารางที่ 13 โดยค่า ΔE^* เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างน้ำชาเริ่มต้นก่อนเก็บรักษากับตัวอย่างน้ำชาที่ผ่านการเก็บรักษาโดยใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะต่างๆ ในแต่ละเดือน ซึ่งการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์และสภาวะที่ต่างกันนั้นส่งผลต่อค่า ΔE^* ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี เมื่อเปรียบเทียบค่า ΔE^* ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ ตั้งเดือนที่ 1 จนถึงเดือนที่ 6 พบว่าน้ำชาที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al มีค่า ΔE^* น้อยที่สุดและน้ำชาที่เก็บรักษาแบบ PP มีค่า ΔE^* สูงที่สุด (8.03 ± 0.34 และ 18.93 ± 0.27 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีอาจเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในระหว่างการเก็บรักษา (Liang *et al*., 2005) โดยค่า ΔE^* ที่น้อยแสดงให้เห็นว่าน้ำชาที่ได้จากการเก็บรักษาที่สภาวะ V-Al มีความแตกต่างจากน้ำชาเริ่มต้นน้อยเมื่อเทียบกับน้ำชาที่เก็บในบรรจุภัณฑ์และสภาวะอื่นๆ เนื่องจากการเก็บรักษาที่สภาวะ V-Al เป็นการบรรจุแบบสุญญากาศด้วยถุง laminated aluminium (Al) ที่มีคุณสมบัติเด่นในการป้องกันแสง (Beehler, 1981) รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของแก๊สออกซิเจนและไอน้ำ ซึ่งสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารพฤกษเคมีต่างๆ ที่มีอยู่ในข้าวไรซ์เบอรี เช่น สารแอนโทไซยานิน จึงส่งผลให้การเกิดการเหม็นหืนและการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาลดลง (Kwok *et al*., 2004)

ตารางที่ 13 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

สภาวะการบรรจุ	ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*)					
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6
PP	5.62^{bA}±0.50	8.67^{bB}±0.42	13.68^{cC}±0.22	15.44^{cCD}±0.48	17.14^{cDE}±0.14	18.93^{cE}±0.27
PA	4.89^{bA}±0.01	8.59^{bA}±0.82	13.07^{cB}±0.77	13.72^{cB}±0.70	15.91^{cB}±0.81	16.29^{bB}±0.50
V-PA	4.00^{bA}±0.60	7.03^{abB}±0.73	9.97^{bC}±0.48	11.06^{bcC}±0.38	14.26^{cD}±0.42	15.92^{bD}±0.46
Al	3.73^{bA}±0.20	4.63^{aA}±0.06	9.54^{bB}±0.58	9.08^{bB}±0.56	9.83^{bB}±0.32	14.97^{bC}±0.53
V-Al	1.40^{aA}±0.17	3.67^{aAB}±0.97	3.19^{aA}±0.24	4.73^{aB}±0.34	5.21^{aB}±0.87	8.03^{aC} ±0.34

a, b,... : ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B,... : ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

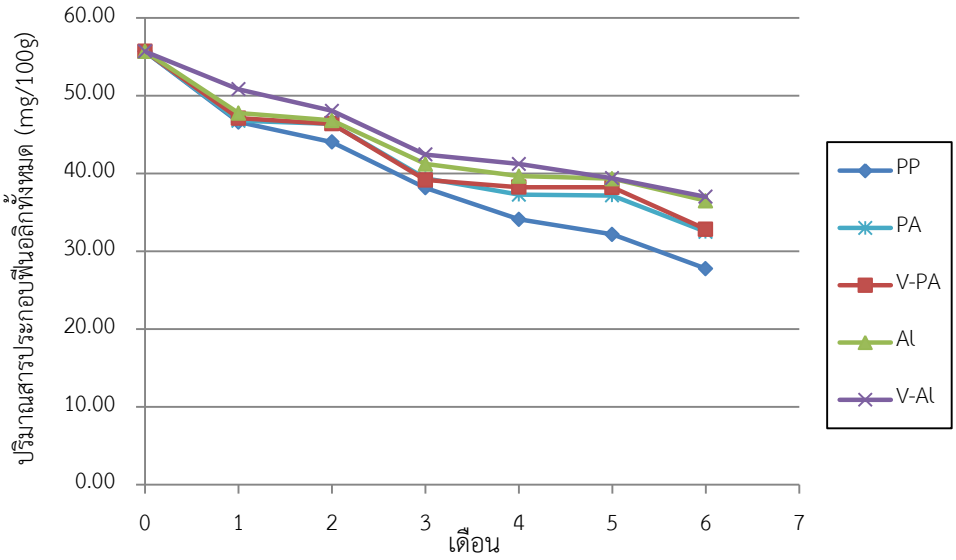
ปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นที่ผ่านกระบวนการคั่วก่อนเก็บรักษา มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP มีค่าเท่ากับ 55.69 ± 3.76 mg GAE/100 g, 88.98 ± 4.31 µg/g, 107.81 ± 2.83 mg/100 g, 32.09 ± 3.50 %inhibition และ 59.85 ± 5.75 mM trolox/100 g ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ปริมาณของสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีเริ่มต้นก่อนเก็บรักษา

สารพฤกษเคมี	**ปริมาณ**	**หน่วย**
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	55.69 ± 3.76	(mg GAE/100 g)
สารฟลาโวนอยด์	88.98 ± 4.31	(µg QE/g)
สารแอนโทไซยานิน	107.81 ± 2.83	(mg/100 g)
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH	32.09 ± 3.50	%inhibition
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP	59.85 ± 5.75	(mM trolox/100 g)

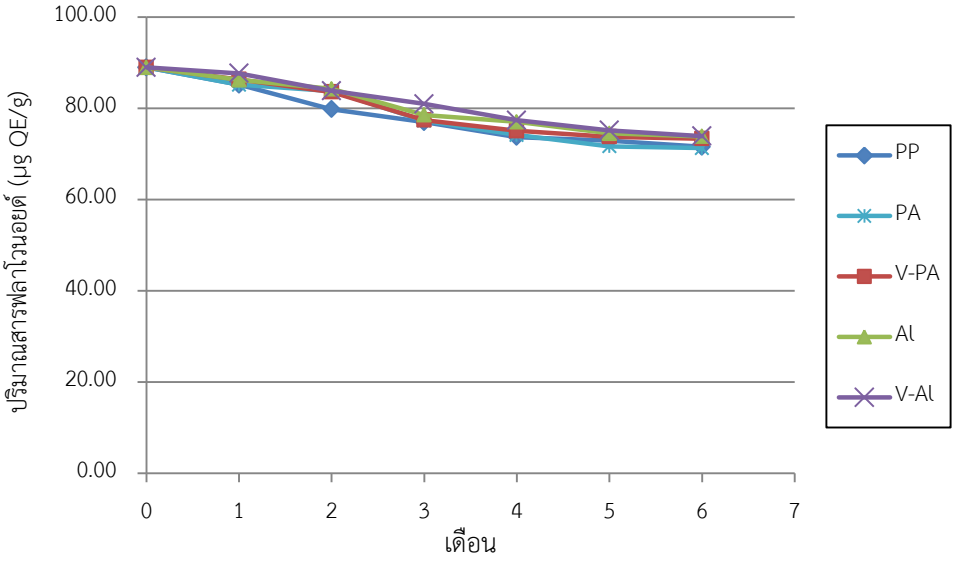
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีก่อนเก็บรักษามีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 55.69 ± 3.76 mg GAE/100 g) และเมื่ออายุการเก็บมากขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ มีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 22 ซึ่งแสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g) ของชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน โดยน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al ดังนั้นชนิดของบรรจุภัณฑ์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 22 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

น้ำชาข้าวไรซ์เบอรีก่อนเก็บรักษามีปริมาณสารฟลาโวนอยด์เริ่มต้นเท่ากับ 88.98±4.31 µg/g และเมื่ออายุการเก็บมากขึ้นปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 23) ซึ่งน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากกว่าน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะอื่นๆ



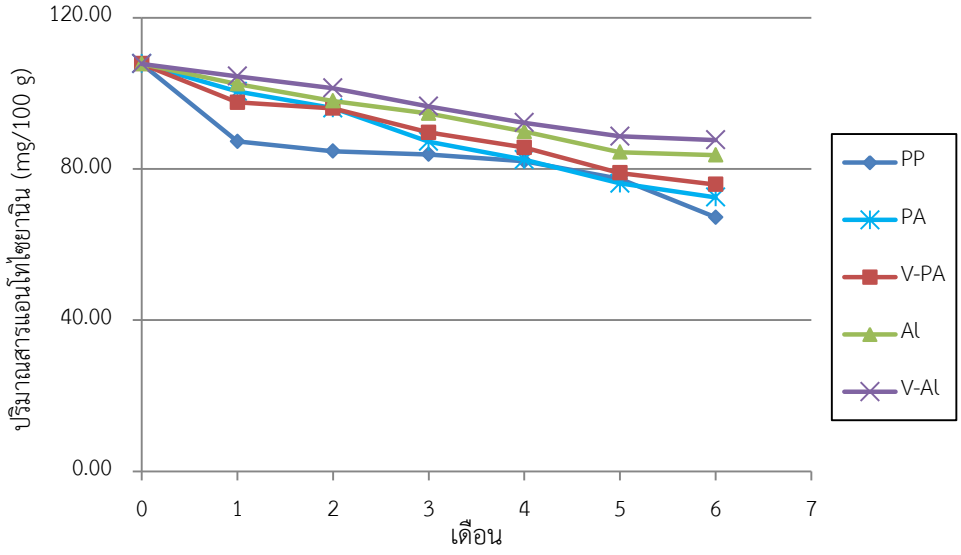
รูปที่ 23 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg /100 g) ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน (รูปที่ 24) มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มากขึ้น ซึ่งน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีก่อนเก็บรักษามีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 107.81 ± 2.83 mg/100g เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารแอนโทไซยานินของน้ำชาข้าวไรซ์-เบอรีระหว่างบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการเก็บ พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินของข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาแบบ PP มีปริมาณลดลงมากที่สุด โดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารแอนโทไซยานิน และพบว่ามีปัจจัยทั้งด้านเคมีและฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องต่อการสลายตัวและส่งผลต่อความเสถียรของสารแอนโทไซยานินมากที่สุด ได้แก่ แสง อุณหภูมิ แก๊สออกซิเจน โลหะ ซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ และความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น (Mercadante and Bobbio, 2008) ซึ่งสาเหตุการเสื่อมสลายของสารแอนโทไซยานินของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP อาจเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีแสง และแก๊สออกซิเจนเป็นตัวเร่ง (Liang *et al*., 2005) และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al, Al, V-PA, PA และ PP มีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 87.66 ± 3.09, 83.70 ± 3.89, 75.89 ± 2.65, 72.49 ± 2.30 และ 67.23 ± 1.84 mg/100g ตามลำดับ ดังนั้นชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารแอนโทไซยานินของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี และสภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศสามารถช่วยรักษาปริมาณสารแอนโทไซยานินได้ดีกว่าสภาวะการบรรจุแบบบรรยากาศปกติ

รูปที่ 25 แสดงการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH (%inhibition) และรูปที่ 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP (mM trolox/100 g) ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยพบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ทุกสภาวะ มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละเดือนตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ทุกสภาวะไม่แตกต่างกัน

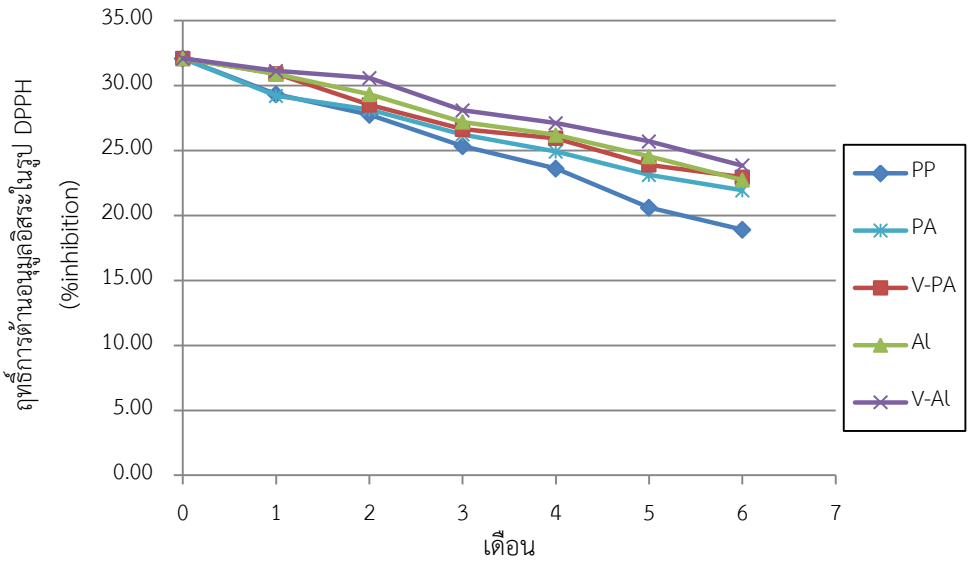
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Handayani และคณะ (2014) ที่ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระและความคงตัวของเครื่องดื่มที่เตรียมได้จากข้าวมีสีในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งวัตถุดิบที่สำคัญประกอบไปด้วย ข้าวสีแดงและข้าวสีดำ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C และ 37 $^{\circ}$C เป็นเวลา 12 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออายุการเก็บมากกว่า 4 สัปดาห์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารพฤกษเคมี

แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารพฤกษเคมีของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์และสภาวะต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงทุก 1 เดือน โดยผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีมีปริมาณสารแกมมา-ออไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP ลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารพฤกษเคมีของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บที่สภาวะ PP เกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะ V-Al, Al, V-PA, PA ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสภาวะการบรรจุที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีโดยเรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ V-Al>Al>V-PA>PA>PP

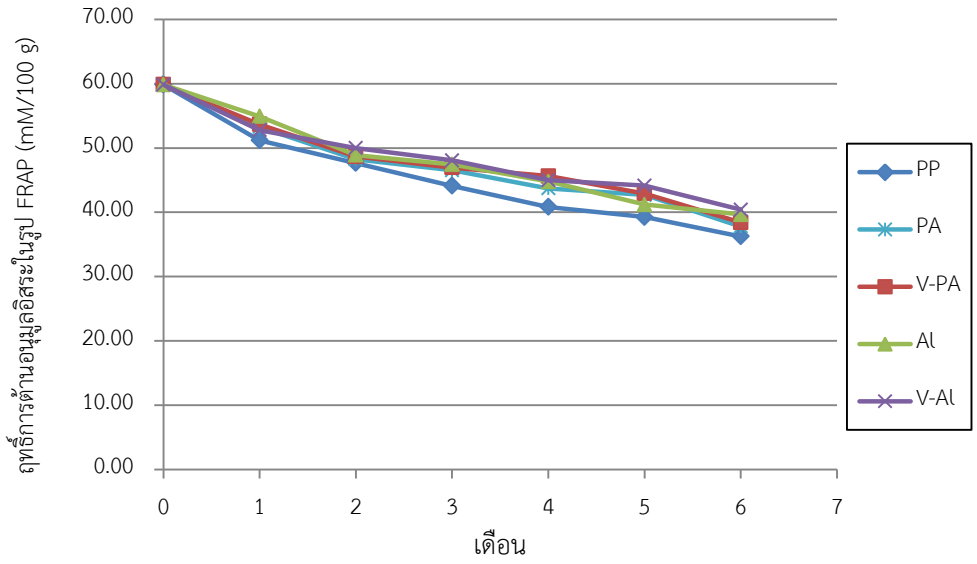


Chulalongkorn University

รูปที่ 24 ปริมาณสารแอนโทไซยานินของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 25 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน



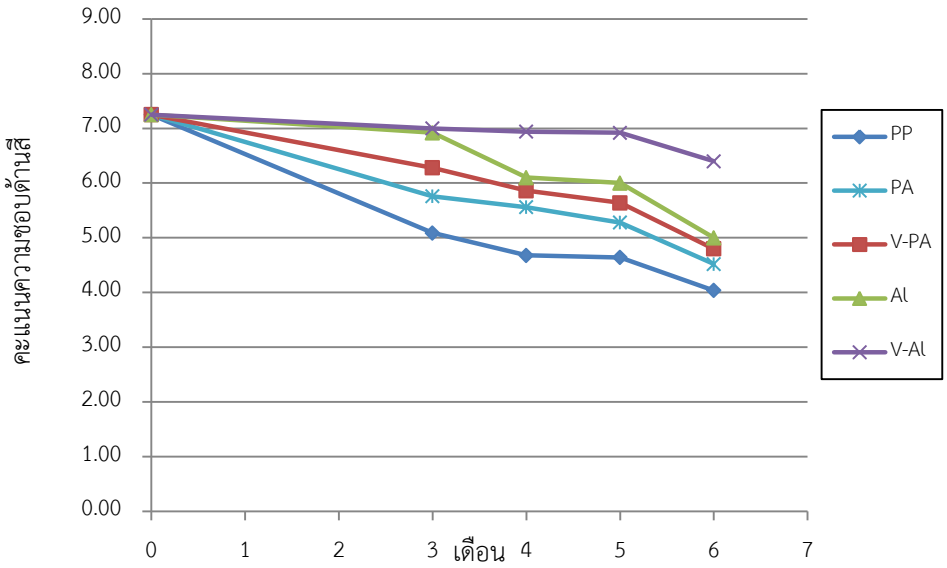
รูปที่ 26 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีเมื่อเก็บรักษาในบรรจุ-ภัณฑ์และสภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 27-30 โดยพิจารณาเกณฑ์การไม่ยอมรับของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีจากคะแนนความชอบด้านสี ด้านกลิ่น ด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมของชาข้าวไรซ์เบอรี ซึ่งกำหนดให้น้ำชาข้าวไรซ์เบอรีไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อคะแนนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีค่าต่ำกว่า 5 คะแนน จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าน้ำชาที่เตรียมจากชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP มีคะแนนความชอบด้านสีและความชอบโดยรวมต่ำกว่า 5 เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 เดือน ซึ่งคะแนนความชอบด้านกลิ่นและด้านรสชาติต่ำกว่า 5 คะแนน เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 5 เดือน ในขณะที่น้ำชาที่เตรียมจากชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-PA และแบบ PA มีคะแนนคามชอบด้านสี ด้านรสชาติและความชอบโดยรวมต่ำกว่า 5 เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 6 เดือน ส่วนคะแนนความชอบด้านกลิ่นต่ำกว่า 5 คะแนน เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 5 เดือน ในขณะที่น้ำชาที่เตรียมจากชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ Al มีคะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 6 เดือน นอกจากนี้น้ำชาที่เตรียมจากชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ V-Al มีคะแนนความชอบด้านสี ด้านกลิ่น ด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมเป็นที่ยอมรับได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน (6.40 ± 1.20, 5.88 ± 1.24, 5.72 ± 1.04 และ 5.96 ± 1.25 ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และคณะ (2550) ที่ได้ศึกษาเรื่องเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของชาเขียวใบหม่อน (เพื่อการส่งออก) โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชาเขียวใบหม่อนในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ และพบว่าคะแนนการยอมรับทางด้านสี ด้านกลิ่น และด้านรสชาติของน้ำชาจากผลิตภัณฑ์ชาเขียวใบหม่อนที่เก็บในถุง PP สภาวะปกติ มีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่น้ำชาจากผลิตภัณฑ์ชาเขียวใบหม่อนที่เก็บในถุง Al สภาวะสุญญากาศมีคะแนนการยอมรับทางด้านสี กลิ่น และรสชาติสูงที่สุดระหว่างการเก็บในแต่ละเดือน รวมทั้งน้ำชาจากผลิตภัณฑ์ชาเขียวใบหม่อนที่เก็บรักษาในถุง Al สภาวะสุญญากาศมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับตลอดอายุการเก็บ 12 เดือน

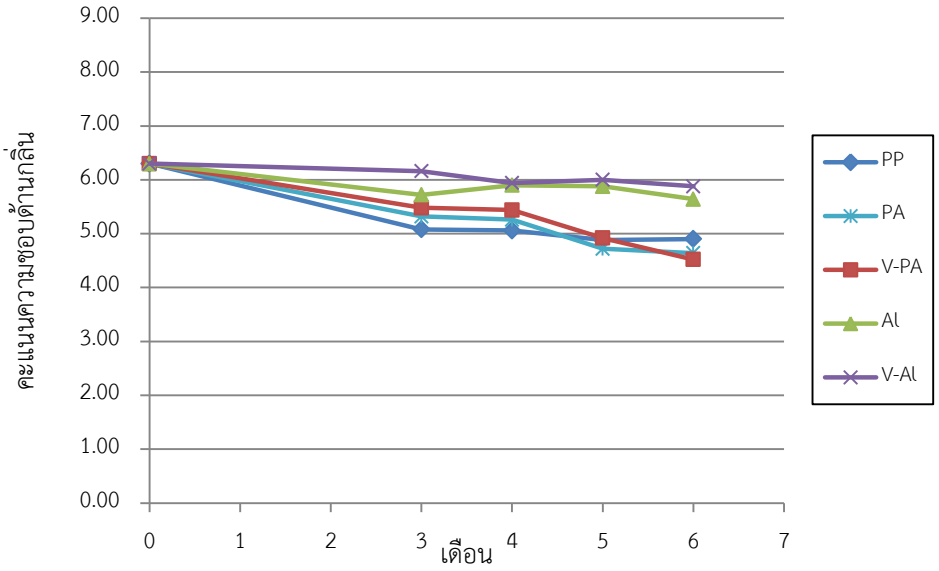
เมื่อประเมินอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ PP, PA, V-PA, Al และ V-Al ที่ได้จากผลการทดลอง โดยพิจารณาจากเกณฑ์คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี ซึ่งน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้เมื่อคะแนนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 คะแนน และพบว่าชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บที่สภาวะ PP, PA, และ V-PA มีอายุการเก็บนาน 3, 4 และ 4 เดือน ตามลำดับ ชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บที่สภาวะ Al มีอายุการเก็บนาน 6 เดือน ในขณะที่สภาวะ V-Al สามารถเก็บรักษาชาข้าวไรซ์เบอรีได้นานมากกว่า 6 เดือน

นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ชนิด Al สามารถเก็บรักษาชาข้าวไรซ์เบอรีด้านกว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ชนิด PP และ PA ตามลำดับ และจากผลการทดลอง

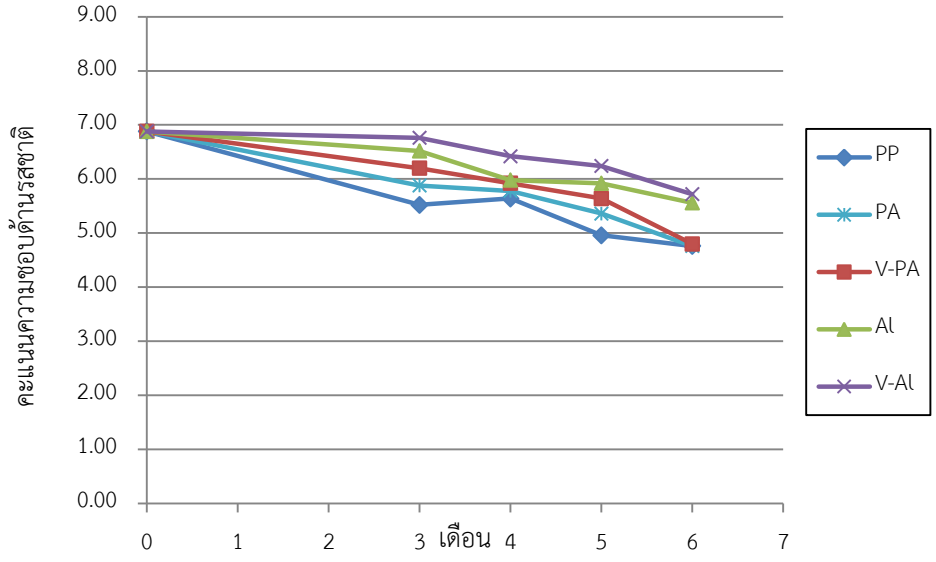
ยังแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาภายใต้ภาวะสุญญากาศช่วยยืดอายุของชาข้าวไรซ์เบอรีได้นานกว่าและรักษาปริมาณสารพฤกษเคมีต่างๆ ได้มากกว่าการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ ซึ่งชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บที่สภาวะ V-Al มีปริมาณสารพฤกษเคมีต่างๆ มากกว่าที่เก็บที่สภาวะ Al ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีจะต้องมีคุณสมบัติสามารถปกป้องชาจากปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลให้คุณภาพชาลดลงได้ เช่น สามารถป้องกันความชื้น แสง และแก๊สออกซิเจนได้ดี เพื่อสามารถรักษาคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพ ทางประสามสัมผัส ตลอดจนคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้นาน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสภาวะการบรรจุที่เหมาะสมสำหรับการเก็บผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีโดยเรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ V-Al>Al>V-PA>PA>PP



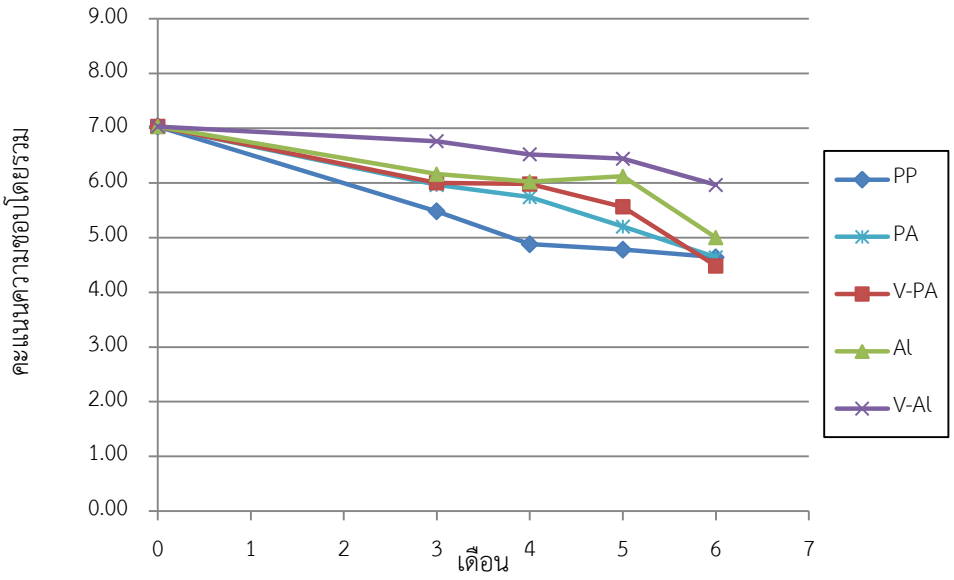
รูปที่ 27 คะแนนความชอบด้านสีน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 28 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 29 คะแนนความชอบด้านรสชาติของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 30 คะแนนความชอบโดยรวมของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี่ในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาอุณหภูมิเตาที่ใช้คั่วข้าวไรซ์เบอรี โดยพิจารณาอุณหภูมิและเวลาการคั่ว พบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 120 °C มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้าน-อนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP สูงที่สุด และข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิเตาที่ใช้คั่ว 140 °C มีปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอนการคั่วข้าวไรซ์เบอรี ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 140 °C และเวลาในการคั่ว 6 นาที ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

เมื่อศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรี โดยพิจารณาจากสิ่งทดลองที่กำหนด พบว่าข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการคั่วมีปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP สูงกว่าข้าวไรซ์-เบอรีที่ผ่านการนึ่งร่วมกับการคั่ว และข้าวไรซ์เบอรีที่ผ่านการแช่ร่วมกับการนึ่งและการคั่วอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จึงเลือกการคั่วเป็นขั้นตอนการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีที่จะใช้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี

ในขณะที่การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการชงชา พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP เมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ชงเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารพฤกษเคมีต่างๆ ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารพฤกษเคมีมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ชงชานั้นสูงกว่า 80 °C และจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่เวลาการชงต่างๆ พบว่าน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีที่ใช้เวลาในการชง 8 นาที มีคะแนนด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการชงชาข้าวไรซ์เบอรีคือ อุณหภูมิ 80 °C เวลาชง 6 นาที

เมื่อพิจารณาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี โดยใช้บรรจุ-ภัณฑ์และสภาวะต่างๆ พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีมีการเปลี่ยนแปลงทุก 1 เดือน โดยผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีและน้ำชามีค่า a_w และค่า ΔE^* แตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นมากขึ้น และปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซ-ยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป DPPH และ FRAP ลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ PP เกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อเก็บที่สภาวะ V-Al,

Al, V-PA, PA ตามลำดับ และพบว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาวะสุญญากาศช่วยยืดอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรีได้นานกว่าและรักษาปริมาณสารพฤกษเคมีต่างๆ ได้มากกว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้เมื่อประเมินอายุการเก็บของชาข้าวไรซ์เบอรี โดยพิจารณาจากคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าชาข้าวไรซ์เบอรีที่เก็บรักษาที่สภาวะ PP, PA, V-PA, Al และ V-Al มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 3, 4, 4, 6 และมากกว่า 6 เดือน ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสภาวะการบรรจุที่เหมาะสมสำหรับการเก็บผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีโดยเรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ vacuum และ laminated aluminium (V-Al)> non-vacuum และ laminated aluminium (Al)> vacuum และ nylon (V-PA)> non-vacuum และ nylon (PA)> non-vacuum และ polypropylene (PP)

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับกลิ่นรสของชาข้าวไรซ์เบอรี โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง เช่น electronic nose และ gas chromatography รวมทั้งการวิเคราะห์กลิ่นหืน (rancidity) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ และระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่างๆ นอกจากนี้งานวิจัยเป็นเพียงระดับห้องปฏิบัติการ จึงควรนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตชาข้าวไรซ์เบอรีในระดับอุตสาหกรรม และใช้เป็นแนวทางในการผลิตชาจากข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คมสันต์ หุตะแพทย์ และกำพล ก้าหลง (2548). คู่มืออาหารปลอดสารพิษ น้ำผักผลไม้ น้ำธัญพืช น้ำสมุนไพร ชาเขียว. กรุงเทพฯ, รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์.

งามทิพย์ ภู่วโรดม (2550). การบรรจุอาหาร (Food packaging). กรุงเทพฯ, เอส.พี.เอ็ม.การพิมพ์.

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา (2534). ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ, สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชาญชัย สาดแสงจันทร์ (2554). ชา อายุยืน ตำรับชาสมุนไพรสูตรป้องกันโรคได้. กรุงเทพฯ, บุ๊คส์ ทู ยู.

ณัฐภูมิ สุดแก้ว (2550). ยับยั้งโรคโลหิตจาง เบาหวาน มะเร็ง ด้วยข้าวสินเหล็กและข้าวไรซ์เบอรี คุณค่ายิ่งใหญ่ของข้าวในการบำบัดโรค. เกษตรกรรมธรรมชาติ. **10**.

ณัฐภูมิ สุดแก้ว (2550). หอมนิล ไรซ์เบอรี สินเหล็ก พันธุ์ข้าวโภชนาการสูง อาหารเลิศค่าและยาเลิศคุณ. เกษตรกรรมธรรมชาติ. **10:** 29-33.

ดวงกมล ลีมจันทร์, วิษฐิดา จันทราพรชัย และวิชัย หฤทัยธนาสันติ์ (2551). "การสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ." การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: 320-327.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์ (2557). ไฮเบอรี ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจากรำข้าวไรซ์เบอรี. อาหาร. **44:** 55-56.

ดวงฤทัย ธำรงโชติ (2550). เทคโนโลยีภาชนะบรรจุ. กรุงเทพฯ, โอเดียนสโตร์.

ธนพล กิจพจน์, ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก, บรรณนิสา ทิพย์วิชัย และนิรมล อุตมอ่าง (2557). "ผลของการชงชาต่อคุณภาพของสีและการยอมรับของผู้บริโภคของชาเขียวและชาสมุนไพรเจียวกู้หลาน." การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: 756-764.

ธนิษฐา แดนศิลป์ (2545). เสน่หาแห่งชา. กรุงเทพฯ, อีกหนึ่งสำนักพิมพ์.

บรรเลง ศรนิล (2546). เทคโนโลยีพลาสติก. กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

บุญหงษ์ จงคิด (2547). ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาตร์.

ประภา ศรีพิจิตต์ และอรอนงค์ นัยวิกุล (2545). การปรับปรุงข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้มีลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสง โดยการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ด้วยสารเคมีก่อการกลายพันธุ์. วิทยาสารวิชาการเกษตร. **20:** 74-90.

ประภา ศรีพิจิตต์, อรอนงค์ นัยวิกุล และวิทยา แสงแก้วสุข (2537). การปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอม (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้เทคนิคการชักนำให้คัพภะสร้างยอดอ่อนจำนวนมากร่วมกับรังสีแกมมา. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (วิทย). **28:** 180-192.

ประสูติ สิทธิสรวง (2524). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับข้าว (สรีรวิทยาของข้าวจากภาพ). กรุงเทพฯ, กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พนิตตรา ชำนาญศิลป์ (2554). การเปลี่ยนแปลงปริมาณแกมมาโอไรซานอล แอนโธไซยานิน และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวไม่ขัดสีระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พินิจ จันทร (2555). 100 พันธุ์ข้าวไทย อาหารสู่ครัวโลก. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ปัญญาชน.

พูกานดา พิศชมพู (2553). ชาเครื่องดื่มสุขภาพร่วมสมัย. กรุงเทพฯ, แพลน บี.

มัณฑนา เกียรติพงษ์ (2546). ชา เลือกชาดื่ม ซื้อชาเป็น. เชียงใหม่, นพบุรีการพิมพ์.

ราชบัณฑิตยสถาน (2525). พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2525. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์.

วรวิทย์ พาณิชพัฒน์ (2530). ข้าวหอมดอกมะลิ 105 บัสมาตี และอื่นๆ. กรุงเทพฯ, โครงการตำราชาวบ้าน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิศนี สุประดิษฐอาภรณ์ และประมวล ศรีกาหลง (2550). "ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่."

ศิริวรรณ สุทธจิตต์ (2550). ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ The knowledge centre.

Chulalongkorn University

ศุภนาถ เกตุเจริญ และสุนิสา อธิวงศ์ธนวัฒน์ (2543). ชาไทย หนึ่งในชาดีของโลก. กรุงเทพฯ, กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2556). คุณค่าทางโภชนาการข้าวไรซ์เบอรี. กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริการ หนูสิงห์, ปาจารีย์ มั่นดี และบุศราภา ลีละวัฒน์ (2557). การพัฒนาชาข้าวกำเพาะงอกพร้อม ชง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **22**.

อรพรรณ บุญวิธวาเจริญ (2549). ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในชาพาสเจอไรซ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรอนงค์ นัยวิกุล (2556). ข้าว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ, สุวัสสา พงษ์อำไพ และสุภาภรณ์ ดั๊กกลาส (2550). "เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของชาใบหม่อน (เพื่อการส่งออก)." รายงานการวิจัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Abong, G. O., Okoth, M. W., Imungi, J. K. and Kabira, J. N. (2011). "Effect of packaging and storage temperature on the shelf life of crisps from four Kenyan potato cultivars." American Journal of Food Technology **6**(10): 870-881.

Aguilar-Garcia, C., Gavino, G., Baragaño-Mosqueda, M., Hevia, P. and Gavino, V. C. (2007). "Correlation of tocopherol, tocotrienol, γ-oryzanol and total polyphenol content in rice bran with different antioxidant capacity assays." Food Chemistry **102**(4): 1228-1232.

Andersen, O. M. and Markham, K. R. (2005). Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications, CRC Press.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Beehler D.C. (1981). Opaque lamination ends 'trade offs' in snack food. Hercules Inc., Wilmington, Delware, USA.

Benzie, I. F. and Strain, J. (1996). "The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay." Analytical Biochemistry **239**(1): 70-76.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E. and Berset, C. (1995). "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity." LWT-Food Science and Technology **28**(1): 25-30.

Cunniff, P. (1996). Official methods of analysis of AOAC International, Association of Official Analytical Chemists.

Fischer, U. A., Carle, R. and Kammerer, D. R. (2013). "Thermal stability of anthocyanins and colourless phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) juices and model solutions." Food Chemistry **138**(2): 1800-1809.

Gonçalves, E., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. and Silva, C. L. (2007). "Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) during blanching." Journal of Food Engineering **81**(4): 693-701.

Handayani, A. P., Ramakrishnan, Y., Karim, R. and Muhammad, K. (2014). "Antioxidant properties, degradation kinetics and storage stability of drinks prepared from the cooking water of pigmented rice." Advance Journal of Food Science and Technology **6**(5): 668-679.

Hiemori, M., Koh, E. and Mitchell, A. E. (2009). "Influence of cooking on anthocyanins in black rice (Oryza sativa L. japonica var. SBR)." Journal of Agricultural and Food Chemistry **57**(5): 1908-1914.

Iqbal, S., Bhanger, M. and Anwar, F. (2005). "Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan." Food Chemistry **93**(2): 265-272.

Islam, G., Iqbal, M., Quddus, K. and Ali, M. (2005). "Present status and future needs of tea industry in Bangladesh." Proceedings-Pakistan Academy of Sciences **42**(4): 305.

Khuwijitjaru, P., Yuenyong, T., Pongsawatmanit, R. and Adachi, S. (2009). "Degradation kinetics of gamma-oryzanol in antioxidant-stripped rice bran oil during thermal oxidation." Journal of Oleo Science **58**(10): 491-497.

Kruger, M. J., Davies, N., Myburgh, K. H. and Lecour, S. (2014). "Proanthocyanidins, anthocyanins and cardiovascular diseases." Food Research International **59**: 41-52.

Kwok, B., Hu, C., Durance, T. and Kitts, D. (2004). "Dehydration techniques affect phytochemical contents and free radical scavenging activities of Saskatoon berries (Amelanchier alnifolia Nutt.)." Journal of Food Science **69**(3): SNQ122-SNQ126.

Lanceras, J. C., Huang, Z.-L., Naivikul, O., Vanavichit, A., Ruanjaichon, V. and Tragoonrung, S. (2000). "Mapping of genes for cooking and eating qualities in Thai jasmine rice (KDML105)." DNA Research **7**(2): 93-101.

Liang, Y., Lu, J., Zhang, L., Wu, S. and Wu, Y. (2005). "Estimation of tea quality by infusion colour difference analysis." Journal of the Science of Food and Agriculture **85**(2): 286-292.

Lin, Y.-C. and Chou, C.-C. (2009). "Effect of heat treatment on total phenolic and anthocyanin contents as well as antioxidant activity of the extract from Aspergillus awamori-fermented black soybeans, a healthy food ingredient." International Journal of Food Sciences and Nutrition **60**(7): 627-636.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Mercadante, A. Z. and Bobbio, F. O. (2008). "4.3Anthocyanins in Foods: Occurrence and Physicochemical Properties."

Parrado, J., Miramontes, E., Jover, M., Márquez, J. C., Mejias, M. A., Teran, L. C., Absi, E. and Bautista, J. (2003). "Prevention of brain protein and lipid oxidation elicited by a water-soluble oryzanol enzymatic extract derived from rice bran." European Journal of Nutrition **42**(6): 307-314.

Pascual, C. d. S. C. I., Massaretto, I. L., Kawassaki, F., Barros, R. M. C., Noldin, J. A. and Marquez, U. M. L. (2013). "Effects of parboiling, storage and cooking on the levels of tocopherols, tocotrienols and γ-oryzanol in brown rice (*Oryza sativa* L.)." Food Research International **50**(2): 676-681.

Patras, A., Brunton, N. P., Da Pieve, S. and Butler, F. (2009). "Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées." Innovative Food Science and Emerging Technologies **10**(3): 308-313.

Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C. and Tiwari, B. (2010). "Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation." Trends in Food Science and Technology **21**(1): 3-11.

Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. H. (2001). Antioxidants in food: practical applications, CRC press.

Rahman, M. S. and Labuza, T. P. (2007). "Water activity and food preservation." Handbook of Food Preservation **20**: 448-471.

Randhir, R., Kwon, Y.-I. and Shetty, K. (2008). "Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings." Innovative Food Science and Emerging Technologies **9**(3): 355-364.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Rattanapanone, N. (2006). Food Science of Fats and Oils, Bangkok: Publisher Odean Store.(in Thai).

Resurreccion, A. V. (1998). Consumer sensory testing for product development, Aspen Publishers.

Siddique, N. A., Mujeeb, M., Najmi, A. K. and Akram, M. (2010). "Evaluation of antioxidant activity, quantitative estimation of phenols and flavonoids in different parts of Aegle marmelos." African Journal of Plant Science **4**(1): 001-005.

Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G. and Berghofer, E. (2011). "Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka." Food Chemistry **124**(1): 132-140.

Stanley, S. (1980). Principles of food packaging.

Surh, J. and Koh, E. (2014). "Effects of four different cooking methods on anthocyanins, total phenolics and antioxidant activity of black rice." Journal of the Science of Food and Agriculture **94**(15): 3296-3304.

Tosingharach, W., Mongkol, S., Rattanachaisit, P. and Kongkiattikajorn, J. (2014). "Antioxidant Property, Tocopherol Contents and Tyrosinase Inhibitory Capacity of Rice Bran during Storage."

Wang, S. Y. and Lin, H.-S. (2000). "Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage." Journal of Agricultural and Food Chemistry **48**(2): 140-146.

Wrolstad, R. E., Durst, R. W. and Lee, J. (2005). "Tracking color and pigment changes in anthocyanin products." Trends in Food Science and Technology **16**(9): 423-428.

Wu, L., Huang, Z., Qin, P. and Ren, G. (2013). "Effects of processing on phytochemical profiles and biological activities for production of sorghum tea." Food Research International **53**(2): 678-685.

Wu, L., Zhai M., Yao, Y., Dong, C., Shuang, S. and Ren, G. (2013). "Changes in nutritional constituents, anthocyanins, and volatile compounds during the processing of black rice tea." Food Science and Biotechnology **22**(4): 917-923.

Zhang, M. W., Zhang, R. F., Zhang, F. X. and Liu, R. H. (2010). "Phenolic profiles and antioxidant activity of black rice bran of different commercially available varieties." Journal of Agricultural and Food Chemistry **58**(13): 7580-7587.

Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. (1999). "The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals." Food Chemistry **64**(4): 555-559.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก.1 สีของข้าวไรซ์เบอรี

วัดสีของข้าวไรซ์เบอรีด้วยเครื่อง chroma meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan) ระบบ CIE LAB และบันทึกค่า *L*, a** และ *b** ก่อนการวัดทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง

โดยที่ ค่า *L** แสดงถึง ค่าความสว่าง (lightness)

ค่า *a** แสดงถึง ค่าสีแดงและเขียว (redness/greenness)

ค่า *a** เป็นบวก แสดงถึง สีแดง

ค่า *a** เป็นลบ แสดงถึง สีเขียว

ค่า *b** แสดงถึง ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness)

ค่า *b** เป็นบวก แสดงถึง สีเหลือง

ค่า *b** เป็นลบ แสดงถึง สีน้ำเงิน

ก.2 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE*) ของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรี

วัดสีของน้ำชาข้าวไรซ์เบอรีด้วยเครื่อง chroma meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan) ระบบ CIE LAB และบันทึกค่า *L*, a** และ *b** ก่อนการวัดทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง แล้วคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE*) จากสูตร

$$\Delta E^* = [(L^*_1-L^*_2)^2 + (a^*_1-a_2^*)^2 + (b^*_1-b^*_2)^2]^{1/2}$$

กำหนดให้ subscript 1 คือ ค่าสีที่วัดตอนเริ่มต้น

subscript 2 คือ ค่าสีที่วัดได้ในแต่ละเดือน

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 แกมมา-โอไรซานอลด้วย HPLC ดัดแปลงตามวิธีการสกัดของ Aguilar-Garcia และคณะ (2007)

สารเคมี

อะซีโตไนไตรล์ (CH_3CN)

เอทิลอะซีเตด ($C_4H_8O_2$)

เมทานอล (CH_3OH)

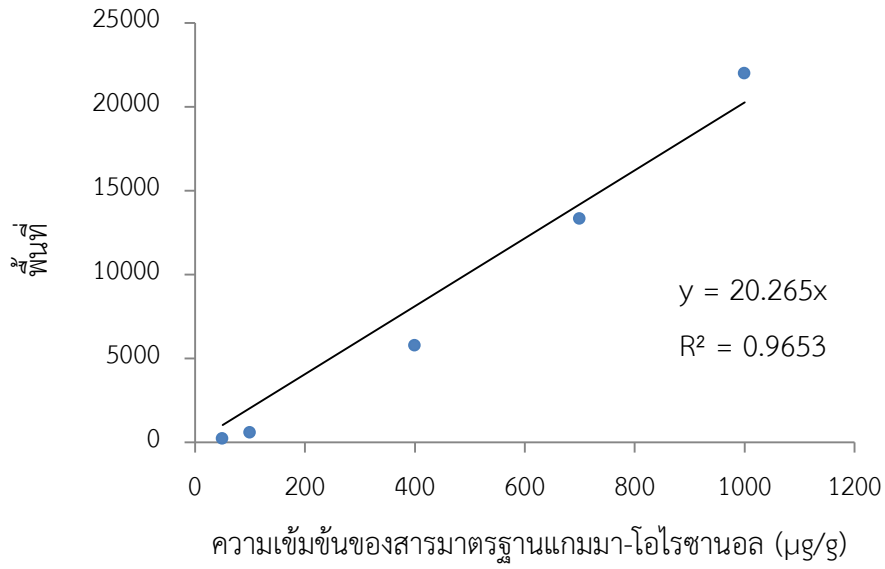
วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมสารสกัดข้าวไรซ์เบอรี บดข้าวไรซ์เบอรีให้ละเอียดปริมาณ 5 g แล้วสกัดด้วยเอทิลอะซีเตดปริมาตร 50 ml เขย่าที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่อง Shaker เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นกรองสารสกัดส่วนใสที่ได้ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และผ่านชุดกรองเมมเบรนขนาด 0.45 μm บรรจุใส่ขวดสำหรับเข้าเครื่อง HPLC
2. ทำการฉีดสารสกัดข้าวไรซ์เบอรีเข้าเครื่อง HPLC หลังจากนั้นเครื่อง HPLC จะทำการตรวจวัดวิเคราะห์และประมวลผลออกมาในรูปของโครมาโตแกรม ซึ่งการวิเคราะห์แกมมา-โอไรซานอล ด้วยเครื่อง HPLC มีสภาวะของการวิเคราะห์ต่างๆ ดังนี้
    - คอลัมน์: uBondapakC18 300×4.9 mm
    - อุณหภูมิคอลัมน์: 25 $^{\circ}C$
    - ระบบ mobile phase: isocratic elution
    - mobile phase: CH_3OH/CH_3CN สัดส่วน 60:40 (v/v)
    - flow rate: 0.9 ml/min
    - เครื่องตรวจวัดที่ใช้: Evaporative Light Scattering Detector (ELSD)

การทำกราฟมาตรฐาน

1. ละลายสารมาตรฐานแกมมา-โอไรซานอล 0.25 g ในเอทิลอะซีเตด 250 ml
2. เตรียมสารมาตรฐานแกมมา-โอไรซานอล ความเข้มข้น 50, 100, 400, 700 และ 1000 ppm. โดยปิเปตสารละลายจากข้อ 1 มา 0.15, 0.30, 1.20, 2.10 และ 3.00 ml ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรเป็น 3 ml ด้วยเอทิลอะซีเตด

3. นำสารมาตรฐานแกมมา-โอไรซานอล แต่ละความเข้มข้นไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานแกมมา-โอไรซานอล และค่าพื้นที่จากโครมาโตแกรม แสดงดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์สารแกมมา-โอไรซานอล โดยใช้วิธี HPLC

ข.2 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry ดัดแปลงตามวิธีของ Iqbal และคณะ (2005)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การเตรียมสารละลาย</u>

สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5%

1. ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7.5 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml

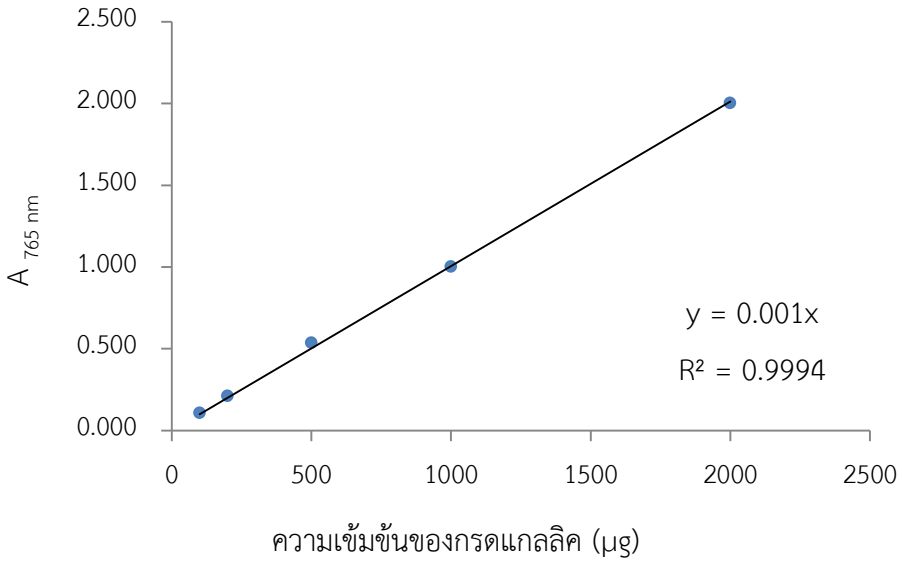
<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอรี 100 µl
2. เติมน้ำกลั่น 7 ml และ Folin-Ciocalteu reagent 500 µl ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 นาที
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 1.5 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 900 µl ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในที่มืด
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 nm

5. นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิค เพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

<u>การทำกราฟมาตรฐาน</u>

1. ชั่งกรดแกลลิค 0.5 g ละลายในเอทานอล 10 ml จากนั้นเทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml และปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลายกรดแกลลิคความเข้มข้น 100, 200, 500, 1000 และ 2000 µg/ml โดยปิเปตสารละลายจากข้อ 1 มา 2, 4, 10, 20 และ 40 ml ตามลำดับ
3. วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารละลายกรดแกลลิค แต่ละความเข้มข้นไปและนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานจากค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm และความเข้มข้นของกรดแกลลิค แสดงดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 กราฟมาตรฐานสำหรับการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

ข.3 สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี aluminium chloride colorimetry ดัดแปลงตามวิธีของ Zhishen และคณะ (1999)

<u>การเตรียมสารละลาย</u>

สารละลายโซเดียมไนเตรตเข้มข้น 5%

1. ชั่งโซเดียมไนเตรต 5 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml

สารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10%

1. ชั่งอลูมิเนียมคลอไรด์ 10 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 mM (1 mol/l)

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 39.997 g ละลายในน้ำกลั่น 1000 ml

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอรี 1 ml และสารละลายโซเดียมไนเตรตเข้มข้น 5% 0.3 ml ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที
2. ปิเปตสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10% ปริมาตร 3 ml ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที
3. ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 N ปริมาตร 2 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 nm
5. นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาค่า flavonoid content ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$A = 0.01069C - 0.001163,\ r = 0.9998$$

โดยที่ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

C คือ ค่า flavonoid content (µg QE/g)

ข.4 แอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method ดัดแปลงตามวิธีการของ Wrolstad และคณะ (2005)

<u>การเตรียมสารละลาย</u>

สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (pH 1.0) เข้มข้น 0.2 M

1. ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ 1.49 g ใส่ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น
2. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้จาก ข้อ 1. ด้วยกรดไฮโดรคลอลิกเข้มข้น 0.2 M ให้มี pH เท่ากับ 1.0

สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซีเตค (pH 4.5) เข้มข้น 0.2 M

1. ชั่งโซเดียมอะซีเตค 1.64 g ใส่ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น
2. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้จาก ข้อ 1. ด้วยกรดอะซีติกเข้มข้น 0.2 M ให้มี pH เท่ากับ 4.5

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอรี 50 µl ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ 3 ml แล้วทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที
2. ปิเปตสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอรี 50 µl ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซีเตต 3 ml แล้วทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 nm
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Anthocyanins (mg/l)} = \frac{\mathbf{A \times MW \times DF \times 1000}}{\boldsymbol{\varepsilon} \times \mathbf{l}}$$

โดยที่ A คือ $(A_{520} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4.5}$

MW คือ 449.2 g/mol (น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside)

DF คือ Dilution factor ของสารละลายตัวอย่าง

1000 คือ แฟกเตอร์สำหรับการเปลี่ยนกรัมให้เป็นมิลลิกรัม

$\boldsymbol{\varepsilon}$ คือ 26,900 l/mol/cm

l คือ ความกว้างของ cuvette

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.5 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995)

<u>การเตรียมสารละลาย</u>

สารละลาย DPPH เข้มข้น 0.06 mM (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ต้องการใช้)

1. ชั่ง DPPH 0.0024 g ละลายในเมทานอล 100 ml จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอรี 100 µl ผสมกับสารละลาย DPPH 3.9 ml แล้วทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที สีของตัวอย่างจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลือง
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 515 nm
3. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณ %Inhibition ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\%\text{Inhibiton} = \frac{(A_o - A_s)}{A_o} \times 100$$

โดยที่ A_o คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม (ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง)
A_s คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.6 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูป ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

<u>การเตรียมสารละลาย</u>

สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซีเตค (pH 3.6) เข้มข้น 300 mM

1. ชั่งโซเดียมอะซีเตค 40.824 g ใส่ลงในน้ำกลั่น 700 ml
2. นำสารละลายที่ได้จาก ข้อ 1. มาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยกรดอะซีติคเข้มข้น ให้มี pH เท่ากับ 3.6 แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

สารละลายเฟอริกคลอไรด์ (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ต้องการใช้)

1. ชั่งเฟอริกคลอไรด์ 0.0270 g ใส่ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 ml ด้วยน้ำกลั่น

สารละลาย 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) เข้มข้น 10 mM (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ต้องการใช้)

1. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอรริกเข้มข้น 40 mM โดยละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 0.331 ml ใส่ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น
2. ละลาย TPTZ 0.0312 g ในสารละลายกรดไฮโดรคลอรริกเข้มข้น 40 mM แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 ml ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอรริกเข้มข้น 40 mM

สารละลาย FRAP (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ต้องการใช้)

1. ปิเปตสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซีเตต 25 ml ผสมกับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ 2.5 ml และสารละลาย TPTZ 2.5 ml
2. ผสมให้สารละลายเข้ากัน แล้วบ่มไว้ใน water bath 37 $^{\circ}$C เป็นเวลา 15 นาที

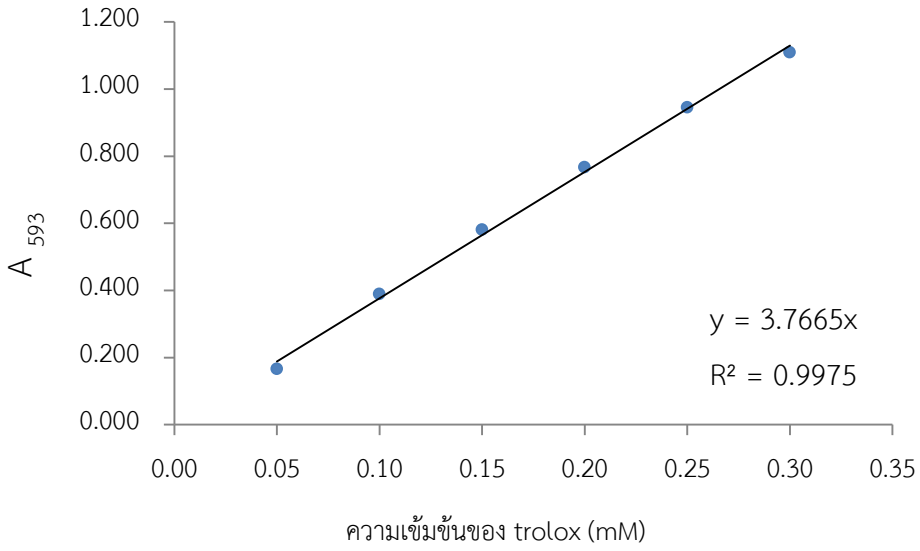
<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารละลาย FRAP ลงในหลอดทดลองปริมาณ 4 ml บ่มใน water bath 30 $^{\circ}$C เป็นเวลา 30 นาที
2. ปิเปตสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอรี่ 400 µl ลงในสารละลาย FRAP ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 593 nm
4. นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox เพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

Chulalongkorn University

<u>การทำกราฟมาตรฐาน</u>

1. ละลาย trolox 0.025 g ในเมทานอล แล้วปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยเมทานอล
2. เตรียมสารละลาย trolox ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 mM โดยปิเปตสารละลายจากข้อ 1 มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ml ตามลำดับ
3. นำสารละลาย trolox แต่ละความเข้มข้นไปวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของ trolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm แสดงดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์ทางชีวภาพ

ค.1 ปริมาณแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมด ใช้เทคนิค pour plate ตามวิธีของ Cunniff (1996)

<u>อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี</u>

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA)
2. 0.1% peptone water

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. เตรียมสารละลายข้าวไรซ์เบอรี โดยชั่งข้าวไรซ์เบอรีที่บดละเอียด 10 g เติม0.1% peptone water 50 ml โดยเทคนิคปลอดเชื้อ (aseptic techniques) ใส่ในถุง stomacher ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่อง stomacher blender ประมาณ 2 นาที
2. ทำการเจือจาง serial dilution โดยการปิเปต 1 ml ของสารละลายข้าวไรซ์เบอรีลงใน 0.1% peptone water ปริมาตร 9 ml ทำการเจือจาง 10^{-2} เท่า ถึง 10^{-4} เท่า ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ เพื่อให้สามารถนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารได้
3. ปิเปต 1 ml สารละลายข้าวไรซ์เบอรีของการเจือจางที่ 10^{-2} ถึง 10^{-4} ลงในจานอาหาร (sterile petri dishes) จำนวน 3 ซ้ำ
4. เทอาหาร plate count agar ที่มีอุณหภูมิประมาณ 45 $^{\circ}$C แล้วทำการผสมให้เข้ากันด้วยการหมุนจานอาหารเป็นวงกลมช้าให้อาหารกับสารละลายข้าวไรซ์เบอรีเข้ากัน ทิ้งให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว นำไปบ่มที่ 35±1 °C เวลา 48±2 ชั่วโมง
5. นับจำนวนโคโลนีเชื้อจุลินทรีย์บนอาหาร ในแต่ละความเจือจาง (25-250 โคโลนี) บันทึกผล แล้วคำนวณจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เป็น colony forming unit/gram (CFU/g)

ค.2 ปริมาณของยีสต์และรา ใช้เทคนิค spread plate ตามวิธีของ Cunniff (1996)

<u>อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี</u>

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA)
2. tartaric acid
3. 0.1% peptone water

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. เตรียมสารละลายข้าวไรซ์เบอรี โดยชั่งข้าวไรซ์เบอรีที่บดละเอียด 10 g เติม0.1% peptone water 50 ml โดยเทคนิคปลอดเชื้อ (aseptic techniques) ใส่ในถุง stomacher ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่อง stomacher blender ประมาณ 2 min
2. ทำการเจือจาง serial dilution โดยการปิเปต 1 ml ของสารละลายข้าวไรซ์เบอรีลงใน 0.1% peptone water ปริมาตร 9 ml ทำการเจือจาง 10^{-2} เท่า ถึง 10^{-4} เท่าด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ เพื่อให้สามารถนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารได้
3. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ผสม tartaric acid อุณหภูมิ 45-50 °C ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อปลอดเชื้อ (sterile petri dishes) ทิ้งไว้ให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว ปิเปต 0.1 ml สารละลายข้าวไรซ์เบอรีของการเจือจางที่ 10^{-2} ถึง 10^{-4} ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อปลอดเชื้อ (sterile petri dishes) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการเกลี่ยลงบนอาหารแข็งด้วย sterile spreader ปล่อยไว้ให้แห้ง แล้วนำไปบ่มที่ 25-27 $^{\circ}$C แบบไม่คว่ำจาน เป็นเวลา 4-5 วัน
4. นับจำนวนโคโลนีเชื้อจุลินทรีย์บนอาหาร ในแต่ละความเจือจาง (10-150 โคโลนี) บันทึกผล แล้วคำนวณจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เป็น colony forming unit/gram (CFU/g)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง
การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ง.1 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีทดสอบแบบ 9-point hedonic scale

ชื่อผลิตภัณฑ์: ชาข้าวไรซ์เบอรี

ชื่อผู้ทดสอบ..... เพศ.....

อายุ..... อาชีพ.....

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับและให้คะแนนความชอบตามความรู้สึกของท่านดังนี้

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

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบด้านสี	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบด้านกลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบด้านรสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

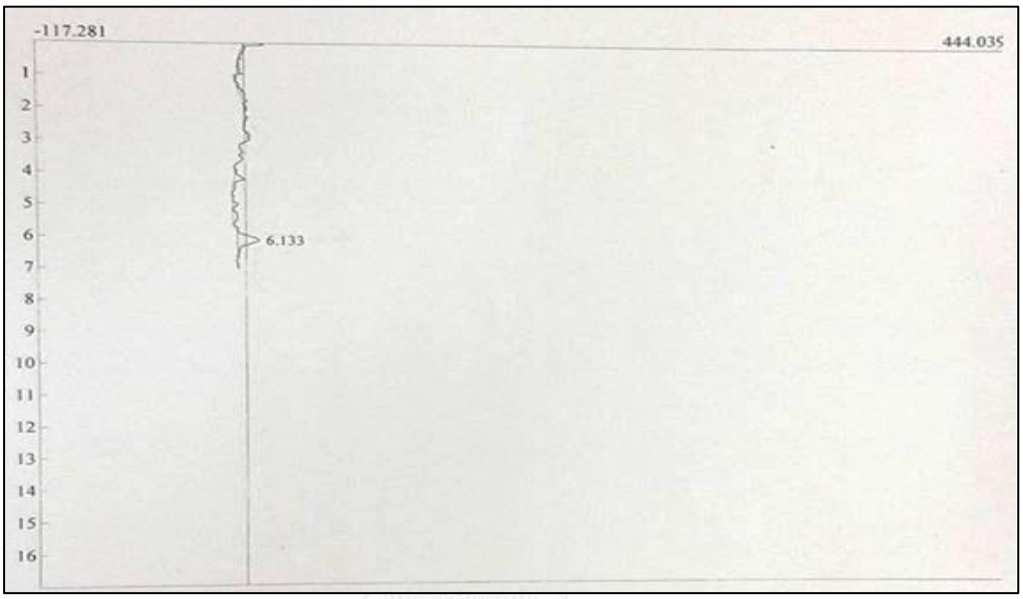
หมายเหตุ กรุณาดื่มน้ำก่อนและหลังจากการชิมตัวอย่างทุกครั้ง

ข้อเสนอแนะ.....

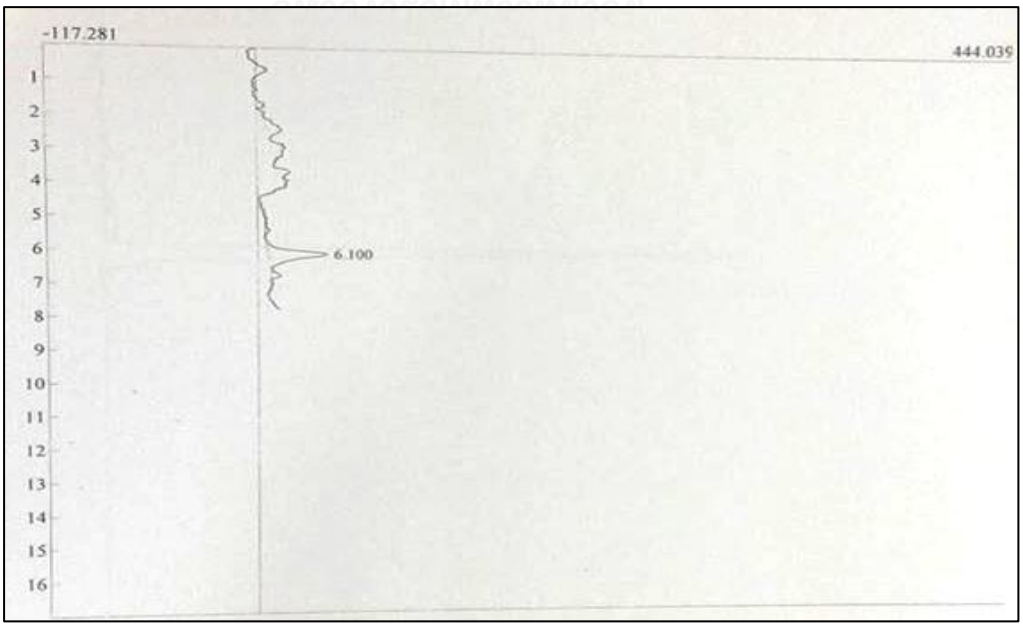
.....

ภาคผนวก จ
ตัวอย่าง โครมาโตแกรมของการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล ด้วยเครื่อง HPLC

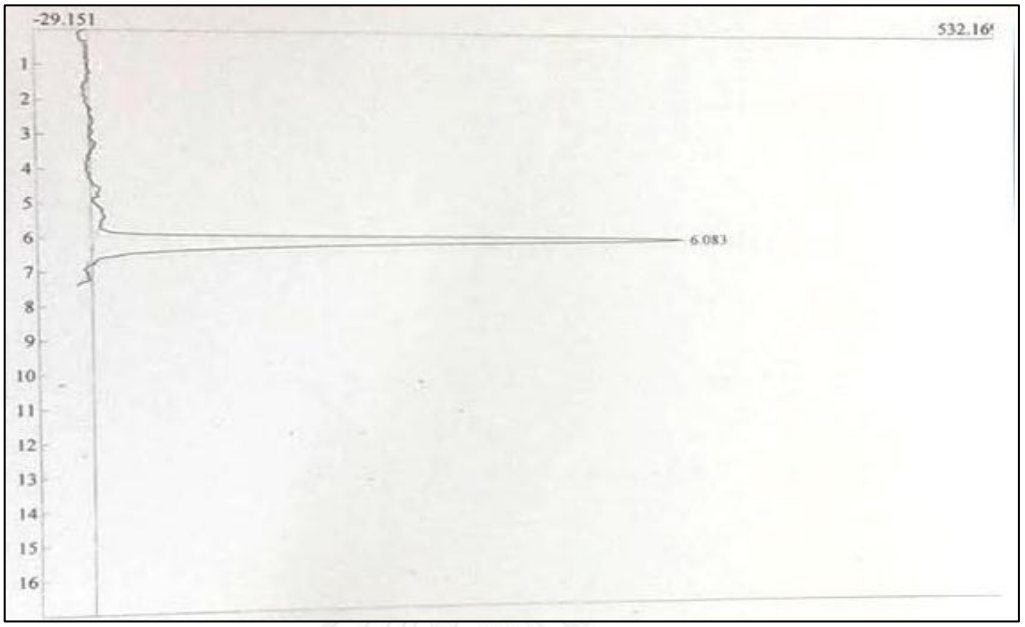
จ.1 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐาน 5 ความเข้มข้น



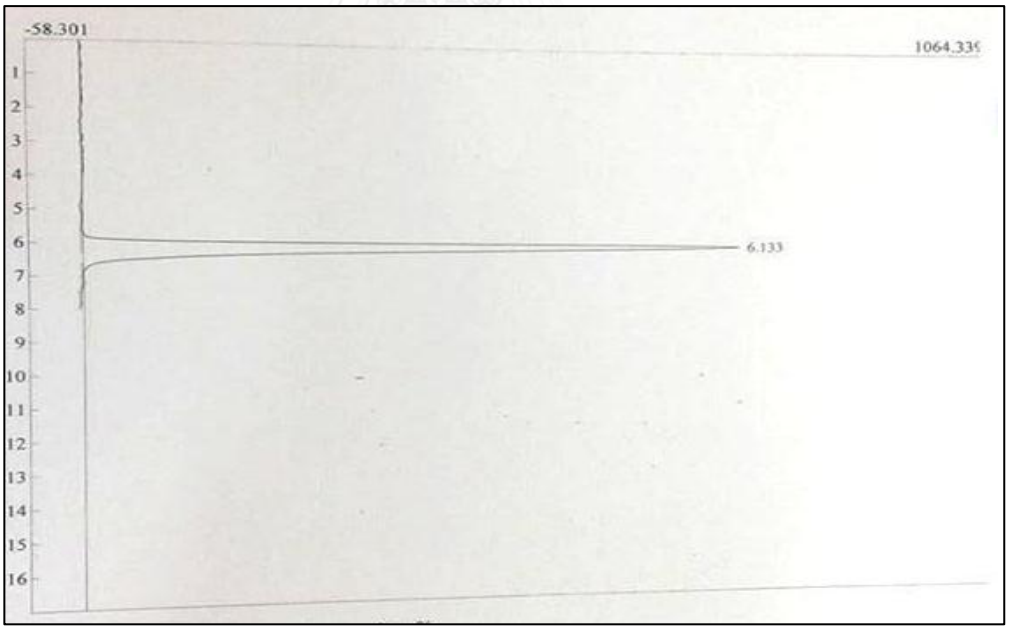
รูปที่ 34 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 50 ppm



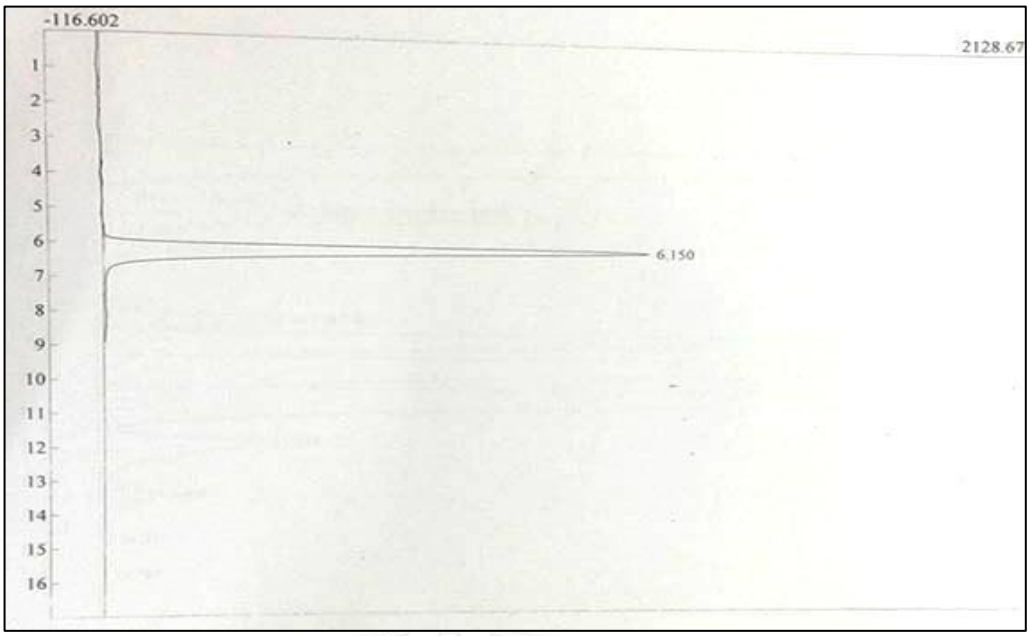
รูปที่ 35 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm



รูปที่ 36 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 400 ppm

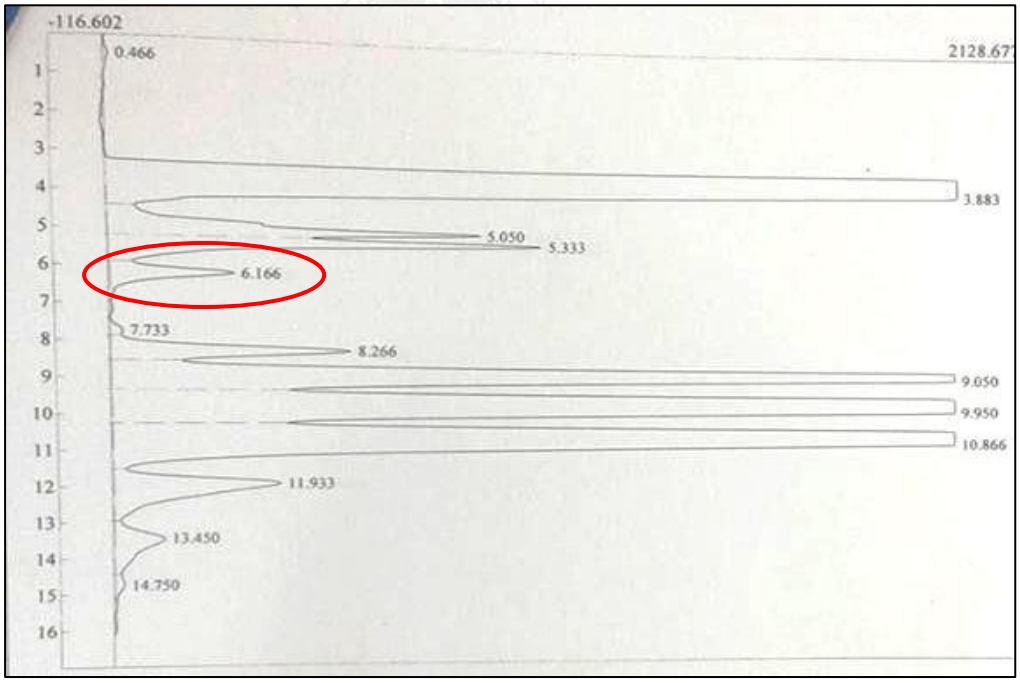


รูปที่ 37 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 700 ppm



รูปที่ 38 โครมาโตแกรมของสารแกมมา-โอไรซานอลมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm

จ.2 โครมาโตแกรมของสารสกัดข้าวไรซ์เบอรี



รูปที่ 39 โครมาโตแกรมของสารสกัดข้าวไรซ์เบอรี

ภาคผนวก ฉ
ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์และสภาวะต่างๆ

รูปที่ 40 ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ non-vacuum และถุง polypropylene (PP)

a b

รูปที่ 41 ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ vacuum และถุง laminated aluminium (V-Al) (a) และ non-vacuum และถุง laminated aluminium (Al) (b)

a b

รูปที่ 42 ผลิตภัณฑ์ชาข้าวไรซ์เบอรีที่บรรจุในสภาวะ vacuum และถุง nylon (V-PA) (a) และ non-vacuum และถุง nylon (PA) (b)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิรินันท์ วงศ์วิศิษฎ์ชัย เกิดวันที่ 1 มกราคม 2534 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

นางสาวศิรินันท์ วงศ์วิศิษฎ์ชัย ได้นำเสนอผลงานวิจัยด้วยวาจาในหัวข้อ ผลของกระบวนการคั่วต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของชาข้าวไรซ์เบอรี ในโครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 และโครงการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 1 ณ ศูนย์สันสกฤตศึกษา เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 11-12 กรกฎาคม 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University