การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค

วิทยานิพนธ์

ของ

ฤทัยวรรณ วงค์ตลาด

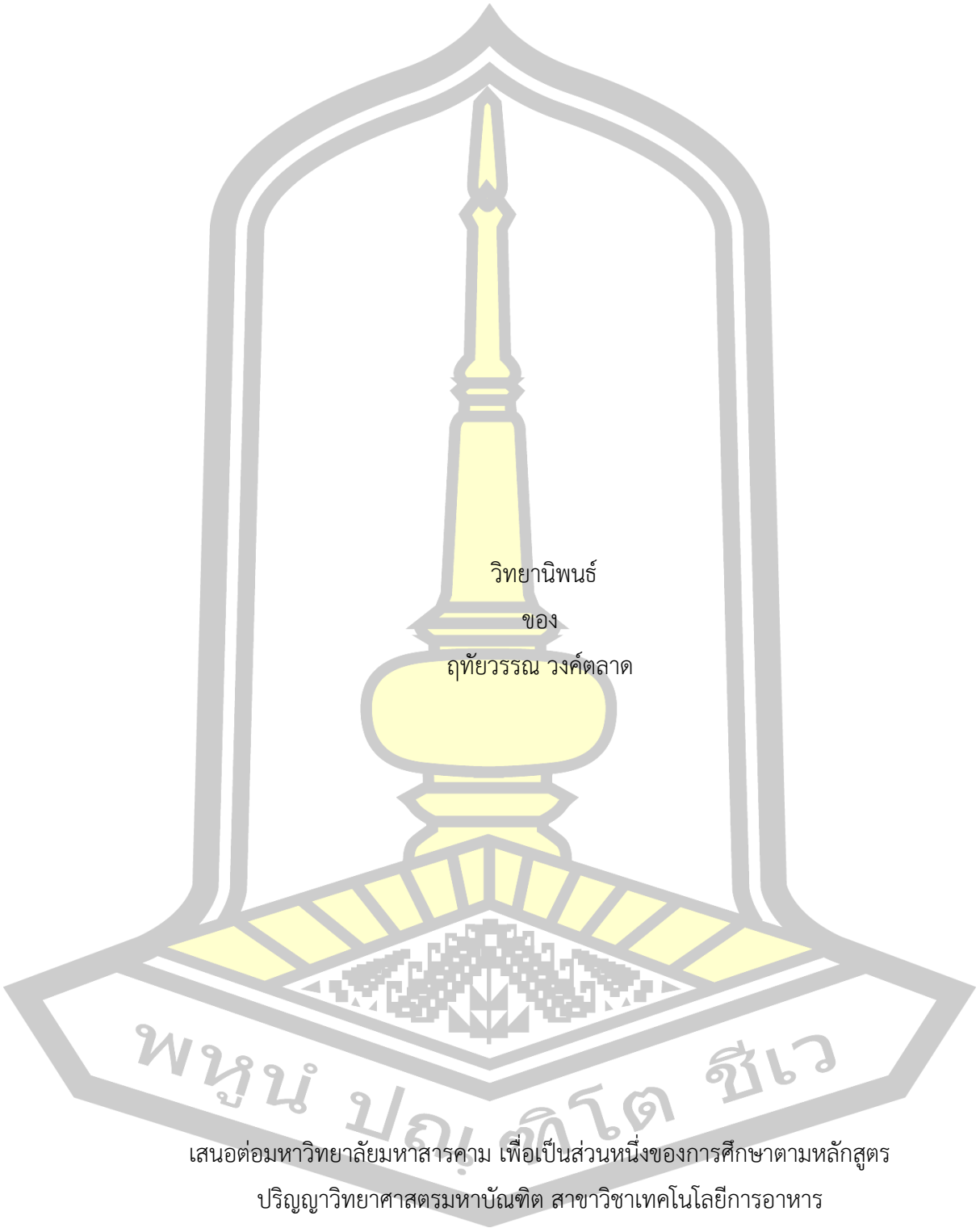
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

มีนาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค



วิทยานิพนธ์

ของ

ฤทัยวรรณ วงค์ตลาด

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

มีนาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development of Functional Young Rice Milk from Organic Rice

Rutaiwan Wongtalad

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Food Technology)

March 2021

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวฤทัยวรรณ วงค์ตลาด แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ. ดร. นาถธิดา วีระปรียากูร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศ. ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์ บรรลือ)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม)
คณบดีคณะเทคโนโลยี

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค
ผู้วิจัย ฤทัยวรรณ วงค์ตลาด
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค โดยทำการศึกษาระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ระยะน้ำนมที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรพื้นฐาน โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวหอมมะลิ 105 ปลูกในระบบอินทรีย์ ที่ระยะการเจริญเติบโตหลังการดอก 12 14 16 และ 18 วัน แล้วคัดเลือกระยะที่มีปริมาณสารต้านออกซิเดชั่นโดยรวมสูง และปริมาณน้ำนมข้าวสูงที่สุด ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรพื้นฐาน ซึ่งระยะหลังการดอกของข้าว 16 วัน เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 โดยการทดลองนี้ศึกษา 3 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 90-95) น้ำตาลทรายออแกนิค (x2 = 0-5) และ โปรตีนถั่วเหลือง (x3 = 0-5) ร่วมกับการใช้สารปรุงแต่งและส่วนผสมอื่น ๆ พบว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วนน้ำนมข้าว ร้อยละ 93.33 น้ำตาลทรายออร์แกนิค ร้อยละ 3.33 และโปรตีนถั่วเหลือง ร้อยละ 3.33 คือสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปพัฒนาเป็นน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนต่อไป เนื่องจากได้รับคะแนนการยอมรับด้าน กลิ่นรส และ ด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ถึง ชอบปานกลาง และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด จากนั้นศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งและปริมาณการเอนแคปซูเลทน้ำมันงาขี้ม้อน เพื่อนำไปเติมในน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อนที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 10 20 และ 30 ของน้ำหนักของแห้งทั้งหมด โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พร้อมเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน พบว่า สูตรใช้ปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อน ร้อยละ 20 ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีความสามารถในการละลายน้ำดีที่สุด ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปเติมในน้ำนมข้าวยาคูในต่อไป จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 เหมาะสม โดยการทดลองนี้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 93-99) และไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน (x2 = 1-7) แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที พบว่า น้ำนมข้าวยาคู ร้อยละ 96.75 และไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ร้อยละ

3.25 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุด คะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงชอบมาก-ชอบมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (สูตรเติมไมโครแคปซูล และสูตรเติมอิมัลชั่น) มีปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 79.67-81.61 g/100g โปรตีน อยู่ในช่วง 8.18-9.42 g/100g ไขมัน อยู่ในช่วง 1.38-1.58 g/100g เส้นใยอาหาร (fiber) อยู่ในช่วง 0.26-0.33 g/100g เถ้า (ash) อยู่ในช่วง 2.87-2.90 g/100g และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) อยู่ในช่วง 5.96-6.10 g/100g ตามลำดับ และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC, Total phenolic compound) อยู่ในช่วง 2.08-2.14 (mg GAE /g DW) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC, Total flavonoid content) อยู่ในช่วง 1.24-1.28 (mg RE/g) ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazy) อยู่ในช่วง 12.31-12.55 (% inhibition), FRAP:Ferric reducing antioxidant power อยู่ในช่วง 3.94-4.35 (mmol FeSO4/g) ตามลำดับ และมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 เท่ากับ 5.67% และ 3.69% ตามลำดับ จากผลการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 45°C และ 55°C เป็นเวลา 1 เดือน ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (สูตรเติมไมโครแคปซูล และสูตรเติมอิมัลชั่น) พบว่าเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะห้อง และสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งยีสต์และรา ซึ่งนั่นหมายถึงผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมเมก้า-3 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเชื้ออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2557 และมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522

คำสำคัญ : น้ำนมข้าวยาคู, ข้าวหอมมะลิ, กรดโอเมก้า-3, เอนแคปซูเลท, น้ำมันงาขี้ม้อน

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

TITLE Development of Functional Young Rice Milk from Organic Rice
AUTHOR Rutaiwan Wongtalad
ADVISORS Professor Sirithon Siriamornpun , Ph.D.
DEGREE Master of Science **MAJOR** Food Technology
UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2021

ABSTRACT

The research aimed at developing a product of healthy young rice milk products from organic rice. By studying the growth stages of organic Hom Mali rice, the suitable milk range for the development of the basic formula of young rice milk. The growth phase of organic Hom Mali rice was studied, the suitable milk range for the basic formula of young rice milk development. Chemical composition, phenolic content, flavonoid content, and antioxidant activity were studied in 105 Hom mali rice grown in organically grown systems at the period after flowering 12, 14, 16 and 18 days. Select a stage with a high overall anti-oxidation agent content and the amount of rice milk is the highest to develop the basic formula of young rice milk products, which 16 days after flowering is the most suitable period. Then developed the product formula of young rice milk drink by using Mixture Design program with Design-Expert version 7 by this experiment, study 3 factors, namely, young rice milk (x1 = 90-95), organic sugar (x2 = 0-5) and soy protein (x3 = 0-5), combined with the use of additives and other ingredients, it was found that the formula used rice milk 93.33%, organic sugar 3.33% and soy protein 3.33% . The most suitable for developing into omega-3 supplemented young rice milk from Perilla oil, because it has received recognition scores for flavor and texture It is in the range of favorable to moderate, and overall preference is in the range like very to like best. Study for encapsulation in Perilla oil by the drying method and the amount of encapsulation, Perilla oil, in order to be added to the young rice milk. The different content of Perilla oil was 10, 20 and 30 % of the total dry weight, by using spray drying method. Compared with the hot air oven drying method, it was found

that the formula used 20% Perilla oil content by spray drying method. It has the best water solubility. Which is suitable to be added to the young rice milk in the next. Then developed the product formula of young rice milk drink by using Mixture Design with program Design-Expert version 7 suitable by this experiment, study 2 factors: young rice milk (x1 = 93-99) and Perilla oil microcapsule (x2 = 1-7), then sterilized at 117 ºC for 37 minutes, it was found that young rice milk 96.75% and Perilla oil microcapsule 3.25% received the highest acceptance score. The acceptance score is in the range like most - like most. The results of chemical composition analysis of 2 formulas of Omega-3 enriched young rice milk product (micro-capsule filling formula and the emulsion formula) moisture content in the range 79.67-81.61 (g / 100g), protein in the range 8.18-9.42 (g / 100g), fat in the range 1.38-1.58 (g /100g), dietary fiber in the range 0.26-0.33 (g/100g), ash in the range 2.87-2.90 (g/100g) and carbohydrates range from 5.96-6.10 (g/100g), respectively, and the total phenolic compound (TPC, Total phenolic compound) was in the range 2.08-2.14 (mg GAE / g DW). The total flavonoid content (TFC, Total flavonoid content) was in the range of 1.24 -1.28 (mg RE / g) Antioxidant activity (DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazy) is 12.31-12.55 (% inhibition), FRAP: Ferric reducing antioxidant power is 3.94-4.35 (mmol FeSO4 / g), respectively. The omega-3 fatty acid content was 5.67% and 3.69%, respectively, from the results of microorganism measurements during storage at room temperature, 45 ° C and 55 ° C for 1 month of fermented rice milk products. Both omega-3 formulas (microcapsule filling formula and the emulsion additive formula) found that when stored at room conditions and conditions at 45 ºC, and 55 ° C did not detect the growth of all microorganisms. Including yeast and mold Which means the product is a Mega-3 supplement It is a product that has a germ content within the specified standard. According to community product standards, 2557 and food standards for pathogenic microorganisms in beverage products in sealed containers. According to the Food Act 2522.

Keyword : Young rice milk, Hom mali rice, Omega-3 fatty acid, Encapsulate, Perilla oil

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท 2562 ที่ได้รับงบสนับสนุนในการทำวิจัยและพัฒนางานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. นาถธิดา วีระปรียากูร ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ บรรลือ กรรมการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น กรรมการสอบ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการและงานวิจัย

ขอบขอพระคุณ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการแปรรูป ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ห้องปฏิบัติการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือกลางที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือตลอดจนแนะนำในการวิเคราะห์และการใช้เครื่องมือ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบุพการี ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจและกำลังทุนทรัพย์ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่านที่คอยช่วยแนะนำและช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีทุกประการ

ฤทัยวรรณ วงค์ตลาด

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ
กิตติกรรมประกาศ ..... ซ
สารบัญ ..... ฌ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย 3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3
1.4 ความสำคัญของการวิจัย 3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 6
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 9
2.1 น้ำนมข้าวยาคู (Young Rice Milk) 9
2.2 ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ (Oganic Thai jasmine rice) 10
2.3 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) 13
2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) 15
2.5 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation) 16
2.6 งาขี้ม้อน (Perilla seed oil) 21
2.7 กรดไขมันโอเมก้า-3 (Omega 3) 22

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 27
3.1 ขอบเขตการวิจัย 27
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 35
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 37
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 40
3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 42
4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล 42
4.2 ลำดับขั้นในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล 42
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 59
5.1 ความมุ่งหมายของงานวิจัย 59
5.2 สมมติฐานของการวิจัย 60
5.3 สรุปผล 60
บรรณานุกรม 63
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ 68
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี 69
ภาคผนวก ค การยอมรับทางประสาทสัมผัส 75
ภาคผนวก ง ภาพประกอบการวิจัย 76
ประวัติผู้เขียน 79

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่ควรได้รับต่อวัน 24

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเอ็นแคปซูเลทสารและน้ำนมข้าวยาคู 25

ตารางที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเอ็นแคปซูเลทสารและน้ำนมข้าวยาคู (ต่อ) 26

ตารางที่ 4 สูตรผลิตน้ำนมข้าวยาคู วางแผนการทดลอง โดยวิธี Mixture Design 38

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณค่าด้านกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน 39

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวอ่อนหอมมะลิอินทรีย์บดละเอียด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต 44

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content, TPC) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids, TFC) และตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และวิธี FRAP 45

ตารางที่ 8 ปริมาณกรดฟีนอลิกของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในระยะการเจริญเติบโต 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก 45

ตารางที่ 9 คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลอง โดยวิธี Mixture Design 47

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคู 48

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ร่วมกับการฉีดพ่นฝอยด้วยขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy) เพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู 48

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์คุณค่าด้านกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน 52

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้าน ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 จากงาขี้ม้อน (สูตรเติมไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน) 53

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้าน ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 จากงาขี้ม้อน (สูตรเติมอิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) 54

ตารางที่ 15 ผลศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน /อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรในท้องตลาด 55

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน /อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรในท้องตลาด 56

ตารางที่ 17 ผลการตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิห้อง และที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C เป็นเวลา 1 เดือน 57

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว..... 12

ภาพประกอบที่ 2 ระยะการเจริญของเมล็ดข้าว..... 12

ภาพประกอบที่ 3 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอล..... 14

ภาพประกอบที่ 4 โครงสร้างของฟลาโวนอยด์..... 15

ภาพประกอบที่ 5 แสดงการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ..... 16

ภาพประกอบที่ 6 การห่อหุ้มสาร..... 17

ภาพประกอบที่ 7 งาขี้ม้อน..... 21

ภาพประกอบที่ 8 ขั้นตอนการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ..... 30

ภาพประกอบที่ 9 ขั้นตอนการศึกษาสูตรพื้นฐานน้ำนมข้าวยาคู..... 31

ภาพประกอบที่ 10 ขั้นตอนการศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน..... 33

ภาพประกอบที่ 11 ขั้นตอนการศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม..... 33

ภาพประกอบที่ 12 ขั้นตอนการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของน้ำนมข้าวยาคูที่มีการเติมน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม..... 34

ภาพประกอบที่ 13 กราฟผลการทดสอบการละลายของผงไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ;..... 50

ภาพประกอบที่ 14 กราฟผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของผงไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน คือ สูตรที่เอนแคปซูเลทด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย; คือ สูตรที่เอนแคปซูเลทแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน หลังการเก็บรักษาเป็นเวา 1 เดือน..... 50

ภาพประกอบที่ 15 ภาพแสดงอนุภาคไมโคแคปซูลน้ำมันงานขี้ม้อนผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 500x โดย A, B และ C คือ ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนที่วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย และ D E และ F ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนที่วิธีการฉีดพ่นฝอยด้วยขวดฉีดพ่นฝอยแล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อน 10 20 และ 30 % ตามลำดับ..... 52

ภาพประกอบที่ 16 ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำมันงาขี้ม้อน และผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน /อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน)..... 57

ภาพประกอบที่ 17 โครมาโตแกรมของ Standard phenolic acid วิเคราะห์โดยใช้ HPLC..... 76

ภาพประกอบที่ 18 ข้าวหอมมะลิ (อินทรีย์) ระยะการออกดอก..... 77

ภาพประกอบที่ 19 เมล็ดข้าวหอมมะลิ ในระยะ 12, 14, 16, และ 18 วันหลังข้าวออกดอก 77

ภาพประกอบที่ 20 ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค ในขั้นตอนการเสริมโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน..... 78

ภาพประกอบที่ 21 ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค..... 78

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างสูง ซึ่งจะเห็นได้จาก การมีผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพออกมาจำหน่ายหลายชนิดในท้องตลาด เช่น น้ำนมข้าว น้ำนมข้าวโพด น้ำนมถั่วเหลือง น้ำลูกเดือย ขนมอบกรอบจากธัญชาติชนิดต่าง ๆ เป็นต้น และมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิต เครื่องดื่มจากธัญชาติหลายชนิด เช่น การพัฒนาเครื่องดื่มข้าวหอมมะลิกลิ่นใบเตย (ศยามล, 2544) การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวจากรวงข้าวอ่อนผสมธัญพืช (สุภาวดี, 2555) เป็นต้น ขณะเดียวกันตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพของไทย ในปี 2560 ที่ผ่านมาพบว่ามีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 3.5 ต่อปี มีมูลค่าราว 187,000 ล้านบาท อย่างไรก็ตาม กลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพส่วนใหญ่กระจุกอยู่ในสังคมเมือง โดยพบว่าคนไทยนิยมบริโภคอาหารในกลุ่มฟังก์ชันนอล (funtional food) เป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งมีการเติมสารอาหารที่มีประโยชน์และดีต่อสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์บำรุงสมอง ผลิตภัณฑ์กลุ่มวิตามินต่าง ๆ เป็นต้น สามารถครองส่วนแบ่งตลาดสูงถึงร้อยละ 62.3 นอกจากนี้อาหารเพื่อสุขภาพจากธรรมชาติที่ผ่านการแปรรูปน้อยที่สุด เช่น นม ธัญพืช ผักและผลไม้ เป็นต้น มีส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 21.7 และอาหารออร์แกนิค มีส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 0.3 หรือมูลค่าราว 555 ล้านบาท แต่มีอัตราการเติบโตสูงสุดในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 9.0 ต่อปี ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มสินค้าที่สามารถเติบโตในตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้อย่างต่อเนื่อง (Euromonitor International, 2560)

ข้าวระยะน้ำนมมีอายุระหว่าง 7-12 วัน (ข้าวยาคู) และข้าวระยะข้าวเม่าที่มีอายุระหว่าง 14-19 วันหลังออกดอกได้ถูกนำมาใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับผู้ป่วยตั้งแต่สมัยโบราณ โดยมีส่วนช่วยบำรุงกำลังและแก้อาการอ่อนเพลีย เมล็ดข้าวอ่อนมีสารต้านอนุมูลอิสระไม่ว่าจะเป็นสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ กรดฟูรูลิก นอกจากนี้ยังมีไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้สูงซึ่งเป็นประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังมีสารออกฤทธิ์อื่น ๆ เช่น เสตียรอล แกมมา-ออริซานอล โทโคฟีรอล และเอนไซม์ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) มีงานวิจัยพบว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในธัญพืชขึ้นกับระยะของการเจริญเติบโต สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิดจะมีปริมาณสูงในช่วงแรกของการเจริญและลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากนั้น ได้แก่ โปรตีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอนไซม์ของเมล็ดข้าวที่ยังเจริญไม่เต็มที่มีปริมาณสูงกว่าเมล็ดข้าวที่พัฒนาแล้วอย่างมาก โปรตีนในข้าวมีความโดดเด่นเนื่องจากเป็นแหล่งของอะมิโนจำเป็น ย่อยได้ง่าย ปราศจากกลิ่นรส เป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดภูมิแพ้เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากธัญชาติชนิดอื่น จึงมีความสนใจศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทาง

ชีวภาพในข้าวอ่อนซึ่งมีเปปไทด์สายสั้นตามธรรมชาติ ในอนาคตเปปไทด์สายสั้นที่มีในธรรมชาติของข้าวอ่อนตลอดจนเปปไทด์สายสั้นที่ได้จากการผ่านกระบวนการย่อยโปรตีนข้าวจะถูกนำไปใช้เป็นสารเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพหรือผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคและเป็นแนวทางในการเพิ่มการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าข้าว (ปริศนา,2561) และปัจจุบันได้มีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูข้าวอินทรีย์ และเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันปลา เนื่องจากได้เล็งเห็นการขยายตัวของตลาดอาหารเพื่อสุขภาพและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังเช่น น้ำนมข้าวยาคูบรรจุกล่องยูเอชที บรรจุขวด น้ำนมข้าวบรรจุกล่องยูเอชทีบรรจุขวดที่วางขายตามท้องตลาดจำนวนมากแต่ส่วนใหญ่น้ำนมข้าวจะมีปริมาณแคลเซียม โปรตีน กรดไขมันโอเมก้า-3 ต่ำ ปัจจุบันได้มีผู้ผลิตจำนวนหนึ่งมีการเสริมโปรตีนจากถั่วเหลือง เสริมแคลเซียมลงไปในน้ำนมข้าว แต่กรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนยังไม่มีการเสริมในผลิตภัณฑ์ ซึ่งกรดโอมาก้า-3 รู้จักกันดีว่าเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายเนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ นอกจากนี้กรดไขมันโอเมก้า-3 มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับ และระบบประสาทเกี่ยวกับการพัฒนาเรียนรู้ รวมทั้งเกี่ยวกับเรตินาในการมองเห็นต้องได้รับจากการรับประทานอาหาร ดังนั้นหากสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูจากข้าวอินทรีย์และมีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีให้แก่ผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มมังสวิรัติ เด็ก สตรีมีครรภ์ ผู้สูงอายุที่ไม่สามารถรับประทานน้ำนมโค และต้องการปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 จากอาหารสูง นอกจากนี้ยังจะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิได้หลายเท่าตัว

ดังนั้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนที่ผ่านการเอ็นแคปซูเลท โดยมุ่งหวังให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์น้ำนมจากพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพรวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะผู้บริโภคที่แพ้นมโคหรือการแพ้น้ำตาลแล็คโตส (lactose intolerance) ผลที่คาดว่าจะได้รับทางเศรษฐศาสตร์คือการเพิ่มมูลค่าข้าวอินทรีย์โดยแปรรูปเป็นน้ำนมข้าวยาคูซึ่งมีราคาสูงกว่าราคาข้าวปกติหลายเท่า โดยงานวิจัยนี้จะครอบคลุมการศึกษาคุณภาพวัตถุดิบ (ข้าวอ่อน) ที่ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน กระบวนการผลิต สูตรผลิตภัณฑ์ คุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคู นอกจากนี้ยังศึกษาการห่อหุ้ม (encapsulation) น้ำมันงาขี้ม้อน (perilla seed oil) โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู จะใช้สารเคลือบ 2 ชนิด คือ มอลโตเด็กซ์ตรินและโปรตีนจากถั่วเหลืองในระดับต่างๆ กัน จากนั้นศึกษาอายุการเก็บรักษาของน้ำนมข้าวยาคูที่มีการเติมน้ำมันน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม โดยมีการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งคุณภาพทางกายภาพ เคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของวัตถุดิบ (ข้าวอ่อน) ที่ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาการห่อหุ้ม (Encapsulation) น้ำมันงาขี้ม้อนเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู

1.2.3 เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนที่ผ่านการห่อหุ้ม

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี-กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ การทดสอบทางประสาทสัมผัส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3

1.2.5 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของวัตถุดิบ (ข้าวหอมมะลิอ่อน) ที่ระยะเวลาการเติบโตต่างกัน จะมีปริมาณที่แตกต่างกัน

1.3.2 ได้สูตรพื้นฐานน้ำนมข้าวยาคู เพื่อนำไปพัฒนาในขั้นตอนเสริมสารที่ห่อหุ้มกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนได้

1.3.3 การห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อนสามารถเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคูได้

1.3.4 ได้สูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนที่ผ่านการห่อหุ้ม ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

1.3.5 ได้ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิคที่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

1.4 ความสำคัญของการวิจัย

1.4.1 ทำให้ทราบระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิอ่อนที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการทำน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3

1.4.2 ทำให้ทราบสูตรพื้นฐานน้ำนมข้าวยาคู เพื่อนำไปพัฒนาในขั้นตอนเสริมสารห่อหุ้มกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนได้

1.4.3 ทำให้ทราบกระบวนการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อนโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู

1.4.4 ทำให้ทราบสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน ที่มีคุณลักษณะทางเคมี-กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภค และได้ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูที่มีอายุการเก็บรักษาได้ในระยะยาว

1.4.5 เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคูออร์แกนิคเสริมโอเมก้า-3 ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาปริมาณคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของวัตถุดิบ (ข้าวหอมมะลิอ่อน) ที่ระยะหลังการออกดอก 12, 14, 16 และ 18 วัน

1) ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการ

- ตัวแปรต้น ได้แก่ ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน คือ อายุข้าวหอมมะลิอินทรีย์ 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก
- ตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต
- ตัวแปรควบคุม ได้แก่ สายพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 (ปลูกระบบอินทรีย์)

2) วิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content, TPC) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids, TFC) และตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และวิธี FRAP (ตามวิธีการของ Kubola et al., 2011)

- ตัวแปรต้น ได้แก่ ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน คือ อายุข้าวหอมมะลิอินทรีย์ 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก
- ตัวแปรตาม ได้แก่ - ปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content, TPC)
- ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids, TFC)
- ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ
- ตัวแปรควบคุม ได้แก่ สายพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 (ปลูกระบบอินทรีย์)

การทดลองที่ 2 ศึกษาสูตรน้ำนมข้าวยาคู เพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ผลิตน้ำนมข้าวยาคู

- ตัวแปรต้น ได้แก่ ปริมาณน้ำนมข้าว ปริมาณน้ำตาล และโปรตีนถั่วเหลือง

- ตัวแปรตาม ได้แก่ การยอมรับทางประสาทสัมผัส

- ตัวแปรควบคุม ได้แก่ อัตราส่วนระหว่าง น้ำ : รวงข้าวอ่อน รวมถึงส่วนผสมอื่นๆ และการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที (F_0=6 นาที)

การทดลองที่ 3 เพื่อศึกษาการห่อหุ้ม (encapsulation) น้ำมันงาขี้ม้อนโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู

- ตัวแปรต้น ได้แก่ ความเข้มข้นน้ำมันงาขี้ม้อนร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักของแห้งทั้งหมด

- ตัวแปรตาม ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ และเคมีหลังการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน คือ

- ค่าสี L*, a* และ b*

- ปริมาณความชื้น

- วัดความสามารถในการละลายน้ำ

- ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม

- การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังการห่อหุ้ม ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน

- ตัวแปรควบคุม ได้แก่

- ความเข้มข้นของสารเคลือบ ซึ่งประกอบด้วยสารเคลือบ ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน 72 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง 8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร

- อุณหภูมิขาเข้าตั้งค่าไว้ที่ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกตั้งค่าไว้ที่ 85 ± 1 องศาเซลเซียส

- อุณหภูมิตู้อบลมร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 4 พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

- ตัวแปรต้น ได้แก่ ปริมาณน้ำนมข้าวยาคู และน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม

- ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพ เคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัส

- ตัวแปรควบคุมได้แก่ อุณหภูมิการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ที่ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที (F_0=6 นาที)

การทดสอบที่ 5 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดโอเมก้า-3 จากงาขี้ม้อน (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

- ตัวแปรต้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดโอเมก้า-3 จากงาขี้ม้อน (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

- ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (ปริมาณจุลินทรีย์)

- ตัวแปรควบคุมได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษา

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1) น้ำนมข้าวยาคู (ข้าวกระยาคู) คือข้าวอ่อนระยะสองถึงสองเดือนครึ่ง ข้าวอ่อนในช่วงนี้ภายในจะยังมีน้ำนมอยู่เปลือกนอกเป็นสีเขียว เมื่อตัดมาใหม่ๆ ต้องรีบนำมาคั้นสดทันที ถึงจะได้น้ำนมข้าวยาคูเต็มๆ ซึ่งอุดมไปด้วยคุณประโยชน์ทางสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินอี โปรตีนถั่วเหลือง เกลือแร่ แคลเซียม บำรุงกระดูกและฟัน ป้องกันเหน็บชา เพิ่มภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย ผิวพรรณแลดูอ่อนวัย มีไขมันต่ำ ปราศจากคลอเลสเตอรอล มีเส้นใยอาหารมาก เพราะเกิดจากการคั้นทั้งเปลือกข้าวยาคู ช่วยในเรื่องระบบขับถ่าย ล้างลำไส้ได้ดี น้ำนมข้าวยาคูเป็นเครื่องดื่มธัญญาหารเพื่อสุขภาพ (Goodlife, 2018)

การบริโภคน้ำนมข้าวยาคู นอกจากจะถือว่า เป็นการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าจากต้นข้าวแล้ว เพราะได้นำส่วนต่างๆ จากข้าวได้แก่ นมข้าว จมูกข้าว ไคลข้าว และ เปลือกข้าว มาเป็นวัตถุดิบในการผลิต นอกจากนี้น้ำนมข้าวยังให้คุณค่าแก่ร่างกายมากมายด้วยสารอาหารปราศจากไขมันและสารเคมี มีคุณค่าทางโภชนาการ ต่อร่างกายในระดับหนึ่ง การบริโภคน้ำนมข้าวยาคู จะได้รับประโยชน์จากนมข้าว จมูกข้าว ไคลข้าว และเปลือกข้าว ซึ่งปราศจากไขมันและสารเคมี มีคุณค่าทางโภชนาการ ได้สารอาหารครบถ้วนต่อร่างกายในระดับหนึ่ง มีธาตุเหล็ก เส้นใยอาหาร บีหนึ่ง บีสอง วิตามินอี ที่ใช้บำรุงเลือดให้แก่สตรี ที่สำคัญมากที่สุดคือไขมันที่ศูนย์สถาบันอาหารทางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ทำการวิจัยว่ามีสารแอนโทไซยานิน ซึ่งป้องกันการก่อเกิดมะเร็งในลำไส้ได้

1.6.2) ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ (Oganic Thai jasmine rice) หรือชื่อทางการว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Oryza Sativa L. ชื่อสามัญ Khao Dawk Mali 105 หรือข้าวหอม ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิเป็นข้าวไวต่อแสงออกรวงประมาณวันที่ 20-25 ตุลาคม เก็บเกี่ยวในช่วง 20-25 พฤศจิกายน) เป็นข้าวนาปีจัดว่าเป็นข้าวที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี พื้นที่ที่เหมาะต่อการปลูกข้าวขาวดอกมะลิได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้บางพื้นที่ แต่ในปัจจุบันมีการส่งเสริมให้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิทุกภูมิภาคของประเทศ

1.6.3) กรดไขมัน โอเมก้า-3 (Omega 3) ประกอบด้วย

1) EPA (Eicosapentaenoic acid) เรียกได้ว่าเป็นสารต่อต้านการอักเสบอันทรงพลัง (Powerful Anti-inflammation) มีประโยชน์ต่อสุขภาพผิวในแง่ของการช่วยลดเลือนริ้วรอยเหี่ยวย่น จุดด่างดำ รวมถึงภาวะสิวอักเสบ และปกป้องผิวจากการแผดเผาของรังสียูวี

2) DHA (Docosahexaenoic acid) เรียกกันว่ากรดไขมันของสมอง ช่วยเสริมสร้างพัฒนาการของสมอง การเรียนรู้ ความจำ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และที่สำคัญคือ สุขภาพผิวที่ผุดผ่องสดใส ชุ่มชื้นขึ้นจากการบำรุงอันล้ำลึกจากภายใน (Pobpad, 2016)

1.6.3.1) ประโยชน์ของโอเมก้า-3 มีคุณสมบัติป้องกันและรักษา ได้แก่ ช่วยลดระดับคอเลสเตอร์รอล และไตรกลีเซอร์ไรด์ที่เป็นอันตราย ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจวายเฉียบพลัน และเส้นเลือดในสมองแตก ลดความหนืดของเกร็ดเลือด และลดปริมาณสารไฟบรินในเลือด จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดลิ่มเลือดในกระแสเลือด ช่วยป้องกันอาการหัวใจเต้นผิดจังหวะ ซึ่งเป็นภัยเงียบที่สามารถเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ช่วยลดความเสี่ยง ป้องกันมะเร็งเต้านม ช่วยลดบรรเทาอาการคันและแห้งของโรคสะเก็ดเงิน ลดการต้านเนื้อเยื่อที่ปลูกถ่ายในผู้ที่ปลูกถ่ายอวัยวะ ช่วยในการลดความถี่และความรุนแรงของโรคปวดศีรษะไมเกรน ช่วยให้ผิว ผม และเล็บมีสุขภาพดี ช่วยป้องกันหลอดเลือดแดงแข็ง ต่อต้านผลร้ายจากสารโพรสตาแกลนดิน (ลดภูมิต้านทานและเพิ่มการเติบโตของเนื้องอก) ช่วยบรรเทาอาการโรคข้ออักเสบและรูมาตอยด์

1.6.4) เอ็นแคปซูเลชั่น (Encapsulation) หรือกระบวนการห่อหุ้ม

เป็นเทคโนโลยีกระบวนการกักเก็บ (Encapsulation technique) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการกักเก็บสารที่ไม่เสถียรในสภาวะปกติหรือใช้ในการควบคุมและป้องกันการปลดปล่อยของสารที่ต้องการ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น (Shahidi et al. 1993) โดยสารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือ เอ็นแคปซูเลท (encapsulate) อาจจะเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลวซึ่งจะถูกเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase ส่วนสารที่นำมาเคลือบจะถูกเรียกว่า wall material หรือ shell (coating agent) โดยเทคโนโลยีการกักเก็บนี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายอุสาหกรรมเช่น การกักเก็บเพื่อให้ได้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ตามต้องการซึ่งจะมีการกักเก็บสารสำคัญภายในวัสดุห่อหุ้ม เพื่อช่วยควบคุมการปลดปล่อย นอกจากนี้การกักเก็บยังช่วยป้องกันการสูญเสียคุณสมบัติ, กลิ่น, รสจากการถูกทำปฏิกิริยาทั้งจากอากาศ แสง รวมไปถึงการระเหยของตัวกลิ่น รส นั้นเองด้วย โดยทั่วไปแล้วนั้นสารสำคัญ กลิ่นรส หรือองค์ประกอบอื่นๆ ก็มีการนำมาพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลยีการกักเก็บเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ไขมัน (lipids), เอนไซม์ (enzyme), จุลินทรีย์ (microorganisms) วิตามิน (vitamin) และ เกลือแร่ (mineral) (Madene et al. 2006)

1.6.5) น้ำมันงาขี้ม้อน (Perilla seed oil) เป็นน้ำมันที่ได้จากพืชในตระกูลโหระพา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perilla frutescens (Linn.)* Britt. LAMIACEAE มีชื่อแตกต่างตามแต่ละท้องถิ่น เช่น

งาขี้ม้อน งาพื้นเมือง งาหอม งาดอย งาม้อน ปัจจุบันมีการเพาะปลูกงาขี้ม้อนอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะพื้นที่ในจังหวัด ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เช่น แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ เป็นต้น ซึ่งงาขี้ม้อนอุดมไปด้วยสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ กลุ่มกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว(Polyunsaturated fatty acids; PUFAs) เช่น กรดลิโนเลนิก หรือโอเมก้า-3 (ร้อยละ 54-64) และมีปริมาณ น้ำมันสูงถึงร้อยละ 35-45 นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ น้ำมันหอมระเหย และสารประกอบ ฟีนอล ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้น เมล็ดงาขี้ม้อนจึงมีฤทธิ์ต้านการเกิดการแพ้ ฤทธิ์ต้านการ อักเสบฤทธิ์ต้านมะเร็งฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และฤทธิ์ต้านเชื้อ แบคทีเรีย (Zekonis et al.,2008)

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ปริทัศน์เอกสารข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยแบ่งเป็นหัวข้อตามลำดับดังนี้

2.1 น้ำนมข้าวยาคู (Young Rice Milk)
2.2 ข้าวหอมมมะลิอินทรีย์ (Organic Thai jasmine rice)
2.3 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds)
2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)
2.5 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)
2.6 น้ำมันงาขี้ม้อน (Perilla seed oil)
2.7 กรดไขมันโอเมก้า-3 (Omega 3)
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำนมข้าวยาคู (Young Rice Milk)

น้ำนมข้าวยาคูเป็นเครื่องดื่มที่มีอายุกว่า 2,000 ปี น้ำนมข้าวยาคู หรือ น้ำข้าวยาคู มาจากภาษาบาลี ว่า ยาคู แปลวาข้าวต้ม ข้าวยาคู คือ รวงข้าวอ่อน ระยะเป็นน้ำนม ซึ่งอุดมไปด้วยคุณค่าที่จำเป็นเพราะข้าวอ่อนที่ นำมาทำข้าวยาคูนั้น คือข้าวอ่อนในระยะน้ำนม ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวมีการเก็บสะสมสารอาหารที่สำคัญไว้มาก นอกจากสารอาหารหลักในหมู่คาร์โบไฮเดรตแล้ว ยังมีสารอาหารเสริมในหมู่วิตามินและเกลือแร่ต่าง ๆ ที่สำคัญต่อร่างกาย

น้ำนมเป็นข้าวอาหารที่เกิดจากภูมิปัญญาไทยมาตั้งต่ออดีต โดยน้ำนมข้าว จะผลิตมาจากเมล็ดข้าวที่ ยังอ่อน มีลักษณะภายในเป็นน้ำสีขาวขุ่น เมล็ดข้าวนี้จะนำมาคั้นเอาน้ำ ซึ่งจะได้น้ำที่มีสีเขียวอ่อน มีกลิ่น หอม หวานมัน โดยธรรมชาตินำ้นมข้าวจะมีรสมันเป็นรสโดดเด่น สามารถนำมาแปรแต่งรสในข้าวคูหรือ ข้าวทิพย์ไปถวายพระ น้ำนมข้าวยาคูสามารถนำมาแปรรูปได้หลากหลายชนิด เช่น คุกกี้ ขนมปัง ชาลาเปาไส้ น้ำนมข้าวซึ่งมีรสหอมหวานแทนชาลาเปาไส้ริมที่มีไขมันมากมาย นอกจากนี้ยังนำมาทำไอศกรีมรสเลิศ ให้ ความหวานแทนน้ำนมและน้ำตาลเหมาะสำหรับผู้สูงอายุที่ชอบรับประทานไอศกรีม (จันทร์ศิริ, 2544) ประโยชน์ของน้ำนมข้าวมีมากมายสามารถ ใช้แทนน้ำนมได้เป็นอย่างดีประกอบไปด้วย วิตามินานานชนิดและอุดมไปด้วยใยอาหาร ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตน้ำนมข้าวจากเมล็ดธัญพืช

2.1.1 ประโยชน์น้ำนมข้าว

ข้าวน้ำนมข้าว จะเริ่มเก็บเกี่ยวได้หลังจากดอกข้าวหล่นคุณค่าจากนมข้าว ซึ่งไม่มีสารเคมีที่เป็นพิษ ต่อร่างกาย แต่พบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการและสารอาหารบริบูรณ์ต่อร่างกายในระดับหนึ่ง

เช่น มีธาตุเหล็ก ไฟเบอร์ บีหนึ่ง บีสอง วิตามินอีและที่ยิ่งใหญ่มากที่สุดน้ำนมข้าวมีเกลือแร่ กลูโคส – วิตามิน E เหนี่ยวรั้ง ความแก่ ดูแลการทำงานของร่างกาย ป้องกันโรคภูมิแพ้ สารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ น้ำนมข้าวนั้นมีสรรพคุณประโยชน์มากมายต่อร่างกายและผิวพรรณ เหนี่ยวรั้งผิวให้อ่อนเยาว์ชะลอผิว ไม่ แก่ ผิวพรรณ เต่งตึง สารอาหาร เป็นแหล่งสารอาหารสำคัญที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย

การบริโภคน้ำนมข้าวยาคูจะได้รับประโยชน์จากนมข้าว จมูกข้าว ไคลข้าว และเปลือกข้าว ซึ่งปราศจากสารเคมีที่เป็นพิษต่อร่างกายและ มีคุณค่าทางโภชนาการ ได้สารอาหารครบถ้วนต่อร่างกายใน ระดับหนึ่ง มีธาตุเหล็ก ไฟเบอร์ บีหนึ่ง บีสอง และวิตามินอี ที่ใช้บำรุงเลือดให้แก่สตรี ที่สำคัญมากที่สุดคือ ไขมันที่ศูนย์น้ำนมข้าวยังมีสรรพคุณอื่น ๆ อีก เช่น ป้องกันโรคภูมิแพ้ แก้ระบบขับถ่ายไม่สะดวกและคลาย อาการปวดท้องน้อยเวลามีประจำเดือน แก้เหน็บชา

2.2 ข้าวหอมมมะลิอินทรีย์ (Oganic Thai jasmine rice)

ข้าวหอมมะลิ หรือชื่อทางการว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Oryza Sativa L. ชื่อสามัญ Khao Dawk Mali 105 หรือข้าวหอม ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิเป็นข้าวไวต่อแสงออกรวงประมาณวันที่ 20-25 ตุลาคม เก็บเกี่ยวในช่วง 20-25 พฤศจิกายน) เป็นข้าวนาปีจัดว่าเป็นข้าวที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพนาดอนค่อนข้างทนแล้งทนต่อสภาพดินเค็มและดินเปรี้ยวปานกลาง ในฤดูการเก็บเกี่ยวมีสภาพอากาศค่อนข้างหนาวเย็นทำให้ได้ข้าวสารที่มีคุณภาพดี เมล็ดใส แข็งแกร่ง มีความเลื่อมมัน ข้าวขาวดอกมะลิมีขนาดเมล็ดข้าวกล้องยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตร ลักษณะที่ดีของข้าวขาวดอกมะลิ คือ มีกลิ่นหอมอ่อนนุ่ม ทนต่อความแห้งแล้ง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม เมื่อทำการสีจะได้ข้าวสารที่มีปริมาณต้นข้าวสูง เมล็ดข้าวสารมีความใส มีข้าวท้องไข่น้อย อย่างไรก็ตามข้าวชนิดนี้มีข้อจำกัดคือไม่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบจุดสีน้ำตาล ถ้าปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงทำให้ต้นล้มง่าย พื้นที่ที่เหมาะต่อการปลูกข้าวขาวดอกมะลิได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้บางพื้นที่ แต่ในปัจจุบันมีการส่งเสริมให้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิทุกภูมิภาคของประเทศ ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหอมมะลิ

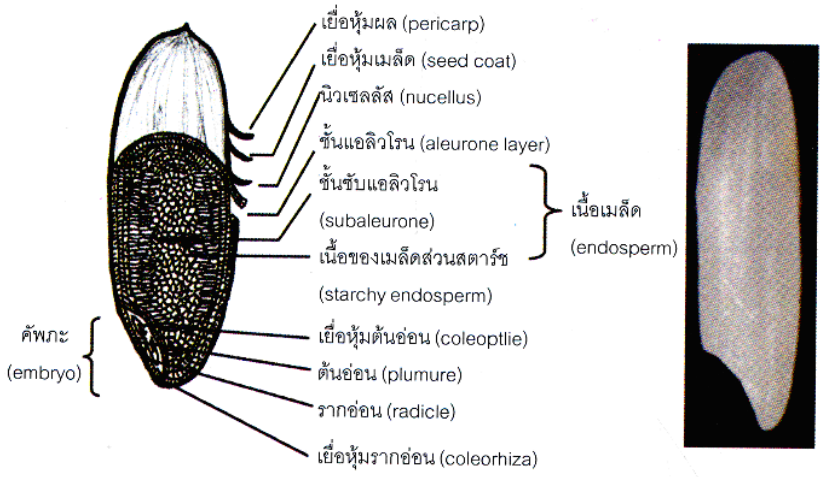
บุญหงส์ จงคิด และ วุฒิชัย แตงทอง (2559) รายงานว่า ข้าวหอมมะลิ 105 มีขนาดเมล็ดข้าวเปลือกมีความยาว ความกว้าง ความหนา และน้ำหนัก 100 เมล็ด เป็น 9.9 มิลลิเมตร, 2.3 มิลลิเมตร, 1.8 มิลลิเมตร. และ 2.77 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวสารมีลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าวเป็น 7.1 มิลลิเมตร, 2.0 มิลลิเมตร, 1.5 มิลลิเมตร และ 2.58 กรัม ตามลำดับ ในส่วนของคุณสมบัติทางเคมีพบว่ามีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 15.7 การละลายในด่างร้อยละ 7.0 อัตราการยืดของแป้งข้าวสุก 1.54 เท่า คุณลักษณะพิเศษของข้าวสายพันธุ์นี้คือเมื่อหุงสุกเป็นข้าวที่มีความอ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอม

ข้าวขาวดอกมะลิโดยเฉพาะที่เป็นข้าวกล้องซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือก แต่ไม่ถูกขัดสี ข้าวจึงยังคงมีเยื่อหุ้มเปลือก และจมูกข้าวที่คงคุณค่าและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ในเมล็ดข้าวมีวิตามินบีรวมช่วยป้องกันและบรรเทาอาหารอ่อนเพลีย แขน ขาไม่มีแรง ปวดกล้ามเนื้อ โรคผิวหนังบางชนิด บำรุงสมองทำให้เจริญอาหาร สารอาหารต่างๆ ในข้าวขาวดอกมะลิ มีดังนี้ วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชาได้ วิตามินบี 2 ป้องกันโรคปากนกกระจอก ฟอสฟอรัส ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน แคลเซียม ทำให้กระดูกแข็งแรง ช่วยป้องกันไม่ให้เป็นตะคริว ทองแดง สร้างเมล็ดโลหิต และเฮโมโกลบิน ธาตุเหล็ก ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง โปรตีน ช่วยเสริมสร้างส่วนที่สึกหรอ ไขมัน ให้พลังงานแก่ร่างกาย ไขมันในข้าวกล้องเป็นไขมันที่ดี ไม่มีโคเรสเตอรอล ไนอะซิน ช่วยระบบผิวหนังและเส้นประสาท และป้องกันโรคเพลลากรา(โรคที่เกิดจากการขาดไนอะซิน จะมี อาการท้องเสีย ประสาทไหว โรคผิวหนัง) คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกาย ข้าวกล้องจากข้าวขาวดอกมะลิมีกากอาหารมาก ซึ่งจะทำให้ท้องไม่ผูก และช่วยป้องกันมะเร็งในลำไส้อีกด้วย วิตามินและเกลือแร่ต่างๆ ในข้าวขาวดอกมะลิจะช่วยให้ส่วนต่างๆ ของร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ ข้าวหอมมะลิ 105 ในเขตทุ่งกุลาร้องไห้พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของข้าวหอมมะลิ 105 พบว่ามีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 21.42-21.54 % อะไมโลเพคตินอยู่ในช่วง 78.46-78.58 % โปรตีนอยู่ในช่วง 0.62-0.80 % ไขมันอยู่ในช่วง 1.08-1.32 % และเถ้าอยู่ที่ 0.62-0.88 % และนอกจากนี้ยังพบสารที่สารสำคัญในข้าวหอมมะลิ 105 เช่น สาร Gamma-Orzanol ไขมันไลโนเลนิค และไลโนเลอิค Vitamin A, E & B รวม, เบต้าแคโรทีน สารเซราไมด์ (Ceramide) ช่วยบำรุงผิวพรรณ สารเมลาโทนิน (Melatonin) ช่วยให้นอนหลับสบายช่วยลดอาการเครียด

2.2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

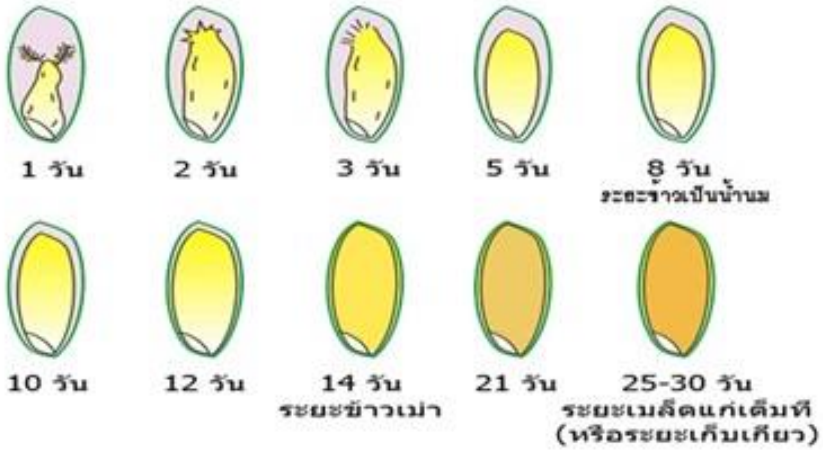
เมล็ดข้าว ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือผล เรียกว่าแกลบ (hull หรือ husk) และส่วนเนื้อผล หรือผลแท้ (true fruit หรือ caryopsis grain) หรือข้าวกล้อง(caryopsis หรือ brown rice) แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) ประกบกันโดยแกลบจะถูกกำจัดออกระหว่างการสีข้าว (ชาญ มงคล, 2536) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วยขนหาง(awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (pedicel) ส่วนเนื้อผลหรือข้าวกล้อง ดังภาพที่ 1 มีส่วนประกอบเรียงลำดับจากชั้นนอกถึงชั้นใน ดังนี้ คือเยื่อหุ้มผล(pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) นิวเซลลัส(nucellus) เยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone layer) เอนโดสเปิร์ม (endosperm) หรือส่วนของข้าวสาร ในส่วนนี้ประกอบด้วย เยื่อชั้นในสุด (subaleurone) และส่วนของเนื้อสตาร์ช (starchy endosperm) ซึ่งมีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของเมล็ดทั้งหมด) ซึ่งประกอบด้วยเม็ดสตาร์ชมีลักษณะห้าเหลี่ยมขนาดประมาณ 2 – 10 ไมครอนจับเป็น

กลุ่มแน่นส่วนโปรตีนมีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาด 1–4 ไมครอนแทรกอยู่กับเม็ดสตาร์ชที่กระจายตัวอย่างอิสระโดยมีเม็ดไขมันอยู่ใกล้ ๆ แต่มีในปริมาณน้อยกว่าโปรตีน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)



ภาพประกอบที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

2.1.2 ระยะการเจริญของเมล็ดข้าว



ภาพประกอบที่ 2 ระยะการเจริญของเมล็ดข้าว

2.1.1.1 ระยะการเจริญของเมล็ดข้าวใช้เวลาประมาณ 25-30 วันหลังออกดอก แบ่งย่อยเป็น 3 ระยะ

1) ระยะน้ำนมเริ่มจาก 7-12 วัน หลังออกดอก สามารถสังเกตได้จากของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนมและเปลือกสีเขียว

2) ระยะโดหรือระยะข้าวเม่าเริ่มจาก 14 วันหลังออกดอก โดยของเหลวเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเป็นก้อนโดนุ่มๆ สีเขียวอ่อน

3) ระยะสุดท้ายเริ่มเมื่อ 21 วัน หลังออกดอก เมล็ดจะเริ่มแน่นขึ้นเปลี่ยนเป็นของแข็งและเจริญเต็มที่ในที่สุด

ข้าวระยะน้ำนมมีอายุระหว่าง 7-12 วัน (ข้าวยาคู) และข้าวระยะข้าวเม่าที่มีอายุระหว่าง 14-19 วันหลังออกดอก ถูกนำมาใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับผู้ป่วยตั้งแต่สมัยโบราณ โดยมีส่วนช่วยบำรุงกำลังและแก้อาการอ่อนเพลีย เมล็ดข้าวอ่อนมีสารต้านอนุมูลอิสระไม่ว่าจะเป็นสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ กรดฟูรูลิก นอกจากนี้ยังมีไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้สูงซึ่งเป็นประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังมีสารออกฤทธิ์อื่นๆ เช่น เสตียรอล แกมมา-ออริซานอล โทโคฟีรอล และเอนไซม์ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) มีงานวิจัยพบว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในธัญพืชขึ้นกับระยะของการเจริญเติบโต สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิดจะมีปริมาณสูงในช่วงแรกของการเจริญและลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากนั้น ได้แก่ โปรตีน : โปรตีนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเอนไซม์ของเมล็ดข้าวที่ยังเจริญไม่เต็มที่มีปริมาณสูงกว่าเมล็ดข้าวที่พัฒนาแล้วอย่างมาก โปรตีนในข้าวมีความโดดเด่นเนื่องจากเป็นแหล่งของแอมิโนจำเป็น ย่อยได้ง่าย ปราศจากกลิ่นรส เป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดภูมิแพ้เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากธัญชาติชนิดอื่น จึงมีความสนใจศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวอ่อนซึ่งมีเปปไทด์สายสั้นตามธรรมชาติ ในอนาคตเปปไทด์สายสั้นที่มีในธรรมชาติของข้าวอ่อนตลอดจนเปปไทด์สายสั้นที่ได้จากการผ่านกระบวนการย่อยโปรตีนข้าวจะถูกนำไปใช้เป็นสารเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพหรือผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคและเป็นแนวทางในการเพิ่มการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าข้าว

2.3 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds)

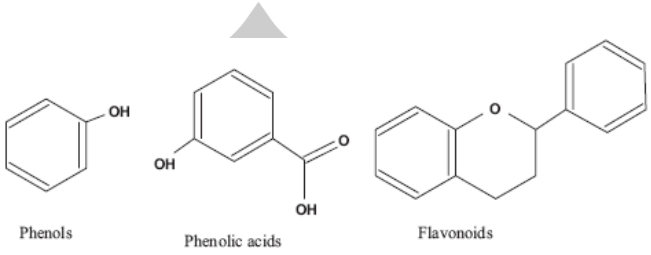
สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) คือสารจากสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีต้องเป็นสารที่มีผลจำเพาะเจาะจง เช่นมีฤทธิ์จำเพาะต่อเซลล์มะเร็ง มีฤทธิ์จำเพาะต่อเชื้อวัณโรค เป็นต้น และสารนั้นจะต้องไม่มีผลในทางลบต่อร่างกาย หรือมี ผลข้างเคียงน้อย

2.3.1 สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอล มีโภชนเภสัช ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ

โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟี

นอลพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่



ภาพประกอบที่ 3 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

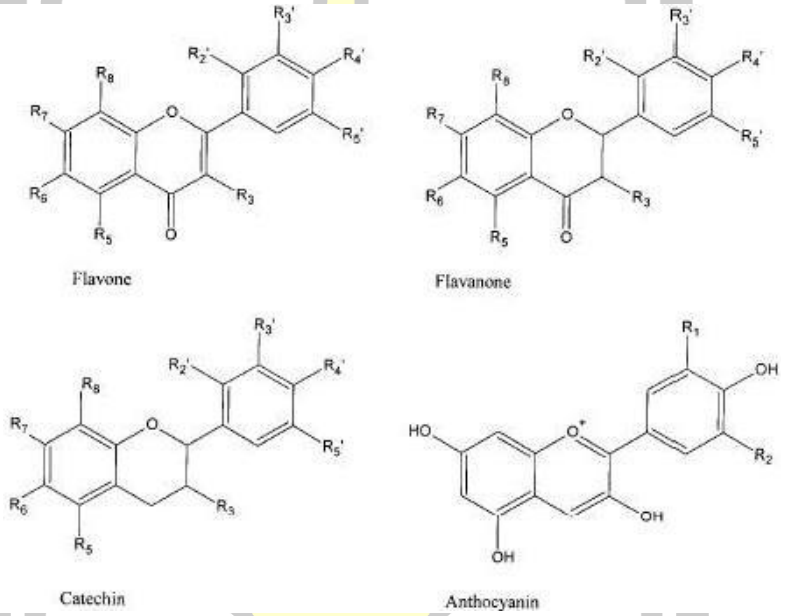
แหล่งที่พบสารประกอบฟีนอล พบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) ในส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ถั่วเมล็ดแห้ง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว และ งา ผลไม้ ได้แก่ องุ่น ส้ม กระท้อน เครื่องเทศ เช่น พริกไทย พริก ขิง กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่ พืชเครื่องดื่ม ได้แก่ ชา โกโก้ พืชหัว ได้แก่ มันเทศ

ตัวอย่างของสารประกอบฟินอลที่พบตามธรรมชาติในพืช จินเจอรอล (gingerol) พบใน ขิง, ยูจินอล (eugenol) พบใน กานพลู ตะไคร้ ใบกระเพรา, แคปไซซิน (capsaicin) ในพริก, เคอคิวมิน (Curcumin) ในขมิ้น, แคทีชิน (catechin) ในชา

สรรพคุณของสารประกอบฟีนอลคือประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagrns) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูล

อิสระจะถูกทำลายไปด้วย ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipidoxidation)

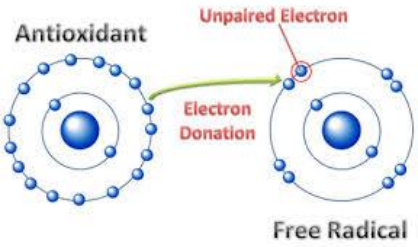
2.3.2 ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นสารประกอบฟินอล (phenolic compounds) ประเภทพอลิฟีนอล (polyphenol) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนแอโรมาติก (aromatic ring) ที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) รวมอยู่ในโมเลกุล ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป สามารถละลายในน้ำได้ ส่วนใหญ่มักพบอยู่รวมกับน้ำตาล ในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) สารประกอบ flavonoids ได้แก่flavonol, flavonone, flavone, isoflavone, flavonol catechin และ anthocyanins



ภาพประกอบที่ 4 โครงสร้างของฟลาโวนอยด์

2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หรืออาจเรียกว่า สารกำจัดอนุมูลอิสระ หมายถึงสารที่ช่วยต่อต้านหรือกำจัดอนุมูลอิสระ (Free Radicals) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในร่างกาย หรือเป็นสารประกอบที่ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระ ที่ก่อตัวขึ้นเพื่อทำลายเซลล์ต่างๆ ทำหน้าที่ช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ชะลอการแก่ก่อนวัย มีความสำคัญในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าไปขัดขวางปฏิกิริยาลูกโซ่ด้วยการจับกับอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นตัวรีดิวซ์ เช่น ไธออล กรดแอสคอร์บิก และโพลิฟีนอล



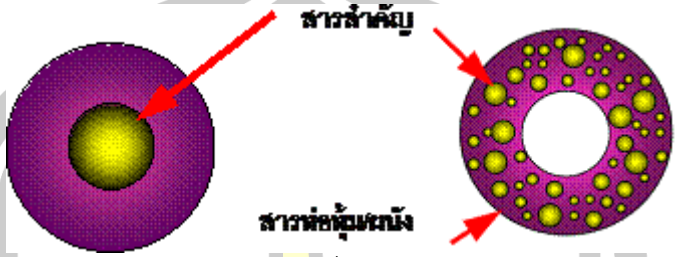
ภาพประกอบที่ 5 แสดงการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

ในภาวะปกติร่างกายของคนเราจะมีการปองกันการสะสมสารอนุมูลอิสระโดยการสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณสารอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และอีกสวนได้จากสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายรับประทานเข้าไป เช่น วิตามิน เบต้าแคโรทีน และแคโรทีนอยด์ รวมทั้งสารประกอบโพลีฟนอล ซึ่งสารดังกล่าววได้จากพืชผักและผลไม้ ตัวอย่างอาหารที่มีเบต้า-แคโรทีนสูง ได้แก่ ผักใบเขียว เชน ตำลึงและผักบุ้ง อาหารที่มีสีเหลือง เช่น แครอท มะละกอสุก มะม่วงสุก มะเขือเทศ ฟกทอง อาหารที่มีวิตามินซีสูง ได้แก่ พืช ผักสีเขียว และผลไม้รสเปรี้ยว เช่น ตำลึง ผักบุ้ง พริกหยวก ฝรั่ง มะขามป้อม ส้ม มะนาว สับปะรด (วิตามินซีจาก พืชผักดังกล่าวมีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระที่แรงมากและละลายน้ำได้ดี) วิตามินอีละลายได้ดีในน้ำมัน โดยวิตามินอีมีในน้ำมันจากเมล็ดพืชชนิดตาง ๆ เช่น รำละเอียดในพวกธัญพืชที่ไม่ขัดขาว ข้าวกล้อง ข้าวโพด ถั่วแดง ถั่วเหลือง ผักกาดหอม เมล็ดทานตะวัน งา น้ำมันรำข้าว

2.5 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

เอ็นแคปซูเลชัน (Encapsulation) หรือกระบวนการห่อหุ้ม คือเทคโนโลยีกระบวนการกักเก็บ (Encapsulation technique) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการกักเก็บสารที่ไม่เสถียรในสภาวะปกติ หรือใช้ในการควบคุมและป้องกันการปลดปล่อยของสารที่ต้องการ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น (Shahidi et al. 1993) โดยสารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือ เอ็นแคปซูเลท (encapsulate) อาจจะเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลวซึ่งจะถูกเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase ส่วนสารที่นำมาเคลือบจะถูกเรียกว่า wall material หรือ shell (coating agent) โดยเทคโนโลยีการกักเก็บนี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายอุสาหกรรมเช่น การกักเก็บเพื่อให้ได้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ตามต้องการซึ่งจะมีการกักเก็บสารสำคัญภายในวัสดุห่อหุ้ม เพื่อช่วยควบคุมการปลดปล่อย นอกจากนี้การกักเก็บยังช่วยป้องกันการสูญเสียคุณสมบัติ, กลิ่น, รสจากการถูกทำปฏิกิริยาทั้งจากอากาศ แสง รวมไปถึงการระเหยของตัวกลิ่น รส นั้นเองด้วย โดยทั่วไปแล้วนั้น สารสำคัญ, กลิ่นรส หรือองค์ประกอบอื่นๆก็มีการนำมาพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลยีการกักเก็บเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ไขมัน

(lipids), เอนไซม์ (enzyme), จุลินทรีย์ (microorganisms), วิตามิน (vitamin) และ เกลือแร่ (mineral) (Madene et al. 2006)



ภาพประกอบที่ 6 การห่อหุ้มสาร

กระบวนการห่อหุ้มและกักเก็บนี้ ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมยา อาหาร การเกษตร ตลอดจนกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ หลักการโดยทั่วไปในการเตรียมการกักเก็บนี้ ขั้นตอนแรกก็จะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารที่เป็นแกนกลาง หรือ core material และทำการเคลือบโดยใช้วัสดุห่อหุ้ม ซึ่งส่วนใหญ่สารที่ใช้เคลือบจะเป็นพวกสารโพลิเมอร์จากธรรมชาติและ โพลิเมอร์สังเคราะห์ นอกจากนั้นแล้วเทคนิคในการเตรียมการกักเก็บ (Encapsulation process) มีด้วยกันหลายวิธี เช่นเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying), coacervation การใช้ไลโปโซมในการห่อหุ้ม (Liposome entrapment), Inclusion complexation รวมทั้งการเตรียมในรูปแบบของอิมัลชัน (Emulsion) ด้วยเทคนิคอิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) โดยมีการใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่ายและค่อนข้างประหยัดค่าใช้จายเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคอื่นได้อย่างกว้างขวางด้วย ตลอดจนสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขนาดใหญ่ในระบบอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนากระบวนการกักเก็บคือ การเตรียมอนุภาคของของเหลวให้มีลักษณะภายนอกเป็นของแข็ง หรือการแยกสารที่สามารถทำปฏิกิริยาต่อกันได้ออกจากกัน โดยใช้ผนังที่ทำจากพอลิเมอร์ทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น gum arabic, agar, แป้ง ไขมัน รวมถึงเจลาติน เป็นต้น หรือพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น polyvinylalcohol, poly(lactide-co-glycolic acid), polylactic acid, chitosan เป็นต้น การเตรียมอนุภาคดังกล่าวจะช่วยลดความเป็นพิษของสารออกฤทธิ์ ช่วยลดโอกาสในการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมในกรณีที่สารออกฤทธิ์มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง ช่วยลดโอกาสในการระเหยได้ง่าย รวมถึงการกลบกลิ่นและรสที่ไม่ดีของสารบางกลุ่มได้ ทำให้สามารถเก็บรักษาสารนั้นได้ยาวนานขึ้น อีกทั้งยังควบคุมการปลดปล่อยสารจากภายในออกสู่ภายนอกได้อีกด้วย วิธีการเอนแคปซูเลชันนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมในการผลิตระดับอุตสาหกรรมคือ เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray-drying process) เพราะใช้

ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นและสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับสารประกอบอื่นๆได้หลากหลายชนิด สามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ตามต้องการ (Siew et al. 2007)

การเอ็นแคปซูเลทสารโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีการใช้ในอุตสาหกรรมมาตั้งแต่ปี 1950 เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ เครื่องมือหาได้ง่าย ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพดี ทำให้การทำแห้งแบบพ่นฝอยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง แต่ข้อจำกัดของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ วัสดุที่ใช้เป็นสารเคลือบนั้นควร มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีในระดับที่ยอมรับได้ การใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการห่อหุ้ม มี 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมสารแขวนลอยหรืออิมัลชันเพื่อเข้ากระบวนการ การทำสารแขวนลอยให้เป็นเนื้อเดียวกัน
และการฉีดละอองอนุภาคเข้าสู่ห้องทำแห้ง

2.5.1 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

1) คาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใชในรูปของสารเคลือบ ได้แก สตาร์ช (starch) มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), corn syrup solids, ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) และ gum acacia คาร์โบไฮเดรต

1.1) สตาร์ช (starch) สตาร์ช และ ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร (modified starch), มอลโตเดกซ์ทริน และ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (beta–cyclodextrin) ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อกักเก็บและปกป้องสารใหกลิ่นรส

กลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ช แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบโดย รูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย amylase helix โดยการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ภายในโมเลกุล (inclusion complex) รูปแบบที่ สองจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและสารให้กลิ่นรส (Arvisenet et al., 2002; Boutboul et al., 2002)

1.2) มอลโตเดกซ์ตริน

มอลโตเดกซ์ตรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางสวนโดย การใช้กรดหรือเอนไซม์โดยผลิตจำหน่ายในรูป Dextrose Equivalent (DEs) DE value เป็นการวัดระดับ (degree) ของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ช ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ ซึ่งมีสวนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว (Kenyon & Anderson, 1988; Shahidi & Han, 1993)

. 1.3) กัม (Gum)

Gum arabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และ สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดี ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยใชเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray-dried particles) โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ตริน และ gum arabic เป็นสารเคลือบจะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และ สามารถกักเก็บสารใหกลิ่นรสได้ > 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิขาเข้าของอากาศร้อน ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืดและสัดสวนของ gum arabic และมอลโตเดกซ์ทริน (Williams & Phillips, 2000)

2) โปรตีน (Protein)

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (solubility) ความหนืด (viscosity), emulsification และ คุณสมบัติของการทำให้เกิด ฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชันระหว่างการเกิดอิมัลชัน โมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด stericstabilizing layer ขึ้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน (oil droplets) จากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง (recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่าง กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา (Dalgleish, 1997; Dickenson, 2001)

2.1) เวย์โปรตีน (Whey protein)

เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหนาที่ (functional properties) ที่ต้องการในการใช้เป็นสารเคลือบ (Amrita et al., 1999) เวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายใน international market จะอยู่ในรูปของ whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) powder เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเอนแคปซูเลทน้ำมันส้ม (microencapsulated orange oil) โดยใชเทคนิคการอบแหงแบบพ่นฝอย (Kim & Morr, 1996) การใชเวย์โปรตีนร่วมกับคารโบไฮเดรตสามารถใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส (Young et al., 1993b; Sheu & Rosenberg, 1995) โดยเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำใหเกิดฟิลม ในขณะที่คาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดกซ์ทริน หรือ corn syrup solids) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเมทริกซ (Sheu & Rosenberg, 1998)

2.2) โปรตีนชนิดอื่นๆ

Protein-based material เชน polypeptone, โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) หรือ อนุพันธุ์ของเจลาติน (gelatin derivative) มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารใหกลิ่นรส เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจน (collagen) ถูกนำมาใช้ ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค complex coacervation และ เทคนิค

การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Ducel et al., 2004) เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว (Lee et al., 1999) ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้โดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (seasoning) (Gourdel & Tronel, 2001)

2.5.2 ประโยชน์ของการห่อหุ้มสารในรูปแคปซูล

1) การป้องกันสารสำคัญจากสภาวะต่างๆ เช่น ความร้อน ความชื้น และออกซิเจน รวมทั้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษา

2) คุณสมบัติการปลดปล่อยสารในอัตราคงที่หรือตามที่กำหนดช่วยในการพัฒนากลไกใหม่ๆ สำหรับการส่งมอบผลิตภัณฑ์

3) การใช้งานที่เป้าหมายเฉพาะเจาะจงเพื่อส่งสาระสำคัญไปยังเป้าหมายโดยตรง

4) เพื่อให้สามารถใช้สารในรูปแคปซูลเป็น ตัวช่วยในการคัดแยกสำหรับการกำจัดผลิตภัณฑ์

5) คุณสมบัติการไหลเวียนที่ดียิ่งขึ้นด้วยการแปลงของเหลวเป็นอนุภาคของแข็งซึ่งช่วยปรับปรุงการควบคุม การใช้งาน และการจัดเก็บสาร

6) คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ดียิ่งขึ้นเพื่อป้องกันรสและ/หรือกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ และปรับปรุงลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ รวมทั้งเนื้อสัมผัส

2.5.3 เทคนิคการทำแหงแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การห่อหุ้มสารโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีการใช้ในอุตสาหกรรมมาตั้งแต่ปี 1950 เนื่องจาก มีต้นทุนต่ำ เครื่องมือหาได้ง่าย ผลผลิตที่ได้ออกมามีคุณภาพดี ทำให้การทำแห้งแบบพ่นฝอยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง แต่ข้อจำกัดของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ วัสดุที่ใช้เป็นสารเคลือบนั้นควรมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีในระดับที่ยอมรับได้ (Desai and Park, 2005)

การใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการห่อหุ้ม มีขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ (1) การเตรียมสารแขวนลอย หรือ อิมัลชันเพื่อเข้ากระบวนการ (2) การทำสารแขวนลอยให้เป็นเนื้อเดียวกัน และ (3) การฉีดละอองอนุภาคเข้าสู่ห้องทำแห้ง อย่างไรก็ตาม ยังมีขั้นตอนย่อยอื่นมากกว่าทั้งสามกระบวนการที่กล่าวมา เช่น การเอาน้ำออกจากละอองอนุภาค ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างอิมัลชันที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและทำให้สารที่ถูกห่อหุ้มมีความคงตัวสูง ของผสมที่จะถูกฉีดเป็นละอองอนุภาคเตรียมโดยการละลายสารที่จะถูกห่อหุ้มซึ่งโดยปกติจะไม่ชอบน้ำลงในสารละลายที่จะเป็นสารห่อหุ้มซึ่งไม่สามารถเข้ากันได้ สารแขวนลอยจะต้องถูกนำไปให้ความร้อนและทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจมีการเติมอิมัลซิไฟเออร์หรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติของอิมัลชันของสารห่อหุ้มนั้นๆ ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย อนุภาคของอิมัลชันเริ่มต้นควรมีขนาด 1-100

ไมโครเมตร ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการทำแห้ง อิมัลชันจะต้องมีความคงตัวตามระยะเวลาที่กำหนดอนุภาคน้ำมันจะต้องมีขนาดเล็กและมีความหนืดต่ำเพียงพอที่จะป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคความหนืดของอิมัลชันและขนาดการกระจายตัวของอนุภาคมีอิทธิพลอย่างสำคัญต่อการห่อหุ้มด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย หากอิมัลชันมีความหนืดมากจะส่งผลเสียต่ออัตราการทำแห้ง ดังนั้น ปัจจัยที่จะส่งผลต่อการกักเก็บสารที่ถูกห่อหุ้มระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ส่วนประกอบต่างๆ ของอิมัลชัน สมบัติของอิมัลชัน และสภาวะการทำแห้ง เมื่อได้อิมัลชันที่มีความคงตัวและเป็นเนื้อเดียวกันดีแล้วจะเข้าสู่กระบวนการฉีดเป็นละอองฝอย การทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอยที่มีอนุภาคขนาดเล็กสามาทำได้ด้วยการใช้ความดันหรือแรงเหวี่ยง ซึ่งหัวฉีด (atomizer) ที่นิยมใช้ ได้แก่ หัวฉีดแบบใช้แรงลม (pneumatic atomizer) หัวฉีดความดัน (pressured atomizer) จานหมุนเหวี่ยง (spinning disk configuration) รวมถึง หัวฉีดแบบคู่ (two fluid nozzle) และหัวฉีดแบบใช้คลื่นเสียง (sonic nozzle) จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้เพื่อสร้างพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้มากที่สุดระหว่างลมร้อนกับของเหลว เพื่อให้เกิดอัตราการแลกเปลี่ยนมวล และความร้อนที่เหมาะสมในระหว่างการทำแห้งเมื่อของเหลวสัมผัสกับลมร้อน การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นส่งผลให้อนุภาคของเหลวมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดคงที่ จากนั้นการระเหยน้ำจากอนุภาคของเหลวจะเกิดขึ้นในสภาวะที่อุณหภูมิคงที่ โดยอัตราการแพร่ของน้ำภายในสู่บริเวณผิวนั้นจะพิจารณาให้คงที่และมีค่าเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำบริเวณผิว เมื่อปริมาณน้ำในอนุภาคของเหลวถึงจุดวิกฤตก็จะเกิดการสร้างเปลือกแข็ง (dry crust) ขึ้นบริเวณผิวและอัตราการทำแห้งก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการทำแห้งทางทฤษฎีนั้นจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิของอนุภาคของเหลวนั้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศการแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้นโดยทั่วไปนิยมใช้ไซโคลนเป็นตัวเก็บผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่าง (Gharsallaoui et al, 2007)

2.6 งาขี้ม้อน (Perilla seed oil)

ภาพประกอบที่ 7 งาขี้ม้อน

งาขี้ม้อน (Perilla frutescens) เป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศแถบเอเชีย มีชื่อแตกต่างตามแต่ละท้องถิ่น เช่น งาขี้ม้อน งาพื้นเมือง งาหอม งาดอย งาม้อน ปัจจุบันมีการเพาะปลูกงาขี้ม้อน

อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะพื้นที่ในจังหวัด ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เช่น แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ เป็นต้น และมีการนำมาใช้สำหรับ การปรุงตำรับอาหารและตำรับยาสมุนไพรพื้นบ้านมาช้านาน (Nitta et al., 2003) เมล็ดงาขี้ม้อนมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันร้อยละ 35-45 ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมัน ชนิดไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids; PUFAs) ที่สำคัญ โดยเฉพาะกรดลิโนเลนิกที่มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 54- 64 (Sargi et al., 2013) มีรายงานว่า งาขี้ม้อนที่มีแหล่งปลูกในประเทศอินเดียเป็นเมล็ดพืชที่มีปริมาณโปรตีนที่สูงถึง ร้อยละ 17 ในขณะที่น้ำมันมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 52 (Longvah and Deosthale, 1991) นอกจากองค์ประกอบด้านไขมันและโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว งาขี้ม้อนยังเป็นแหล่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สารต้านการเจริญเติบโตของเชื้อ แบคทีเรีย (anti-bacterial) และสารต้านการก่อมะเร็ง (anticarcinogenic) เป็นต้น (Zekonis et al., 2008) ด้วยสมบัติ ที่โดดเด่นดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ทำให้มีความต้องการน้ำมันจากพืชน้ำมันชนิดนี้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันที่อยู่ในรูปของน้ำมันบริสุทธิ์ (Virgin oil) ที่ ได้จากกระบวนการสกัดด้วยการกดด้วยแรงทางกล (mechanically pressing) ที่มีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้มีค่าสูงเกินกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยเรียกวิธีดังกล่าวว่าเป็น การสกัดเย็น (cold pressed) ซึ่งด้วยกระบวนการสกัด ดังกล่าวจะท่าให้องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ที่ยังคงเหลืออยู่ ในกากพืชน้ำมันไม่ถูกท่าลายซึ่งโดยส่วนใหญ่ส่วนของกากจะ แปรผันตรงกับปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ เช่น กากงาสกัดน้ำมันจะมีเศษเหลือหลังสกัดน้ำมันแล้วประมาณร้อยละ 50-60 ในขณะที่กากงาขี้ม้อนจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 55-65 โดย ในสัดส่วนที่สูงนี้ยังประกอบไปด้วยสารที่มีคุณค่าทางอาหาร สูงอย่างเช่นโปรตีนอยู่ที่ประมาณร้อยละ 17-25 นอกจากนั้น3ก็ยังมีส่วนของใยอาหาร สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมถึงคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูง

2.7 กรดไขมันโอเมก้า-3 (Omega 3)

เป็นสารอาหารสำคัญที่มีอยู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน และเป็นกรดไขมันจำเป็นชนิดที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นมาเองได้ เราจึงจำเป็น ต้องรับโอเมก้า-3 มาจากแหล่งอาหารต่าง ๆ ซึ่งกรดไขมัน โอเมก้า-3 ประกอบด้วย

1) EPA (Eicosapentaenoic acid) เรียกได้ว่าเป็นสารต่อต้านการอักเสบอันทรงพลัง (Powerful Anti-inflammation) มีประโยชน์ต่อสุขภาพผิวในแง่ของการช่วยลดเลือนริ้วรอยเหี่ยวย่น จุดด่างดำ รวมถึงภาวะสิวอักเสบ และปกป้องผิวจากการแผดเผาของรังสียูวี

2) DHA (Docosahexaenoic acid) เรียกกันว่ากรดไขมันของสมอง ช่วยเสริมสร้างพัฒนาการของสมอง การเรียนรู้ ความจำ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และที่สำคัญคือ สุขภาพผิวสุขภาพดี (Pobpad, 2016)

2.7.1 ประโยชน์ของโอเมก้า-3

1) กรดไขมันโอเมก้า-3 เป็นกรดไขมันจำเป็น แต่ไม่สามารถสร้างเองได้ภายในร่างกาย ดังนั้นจำเป็นต้องรับจากการบริโภคอาหารเท่านั้น และแทบทุกระบบการทำงานภายในร่างกาย จำเป็นที่จะต้องใช้ประโยชน์จากกรดไขมันจำเป็น ทั้งนั้น อาทิเช่น ระบบหลอดเลือดหัวใจ (ช่วยลดความดันโลหิต ช่วยลดไขมันคอเลสเตอรอล ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดฉับพลัน และ โรคอัมพาต) ระบบประสาท (ช่วยเพิ่มความจำ) สายตา (ช่วยในการมองเห็น) ระบบภูมิคุ้มกัน (ลดอาการภูมิแพ้) ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบสืบพันธุ์ และระบบไขข้อ นอกจากนี้แล้วกรดไขมันโอเมก้า-3 ยังมีคุณสมบัติต่อต้านการอักเสบ (ช่วยบรรเทาอาการข้ออักเสบ) และที่สำคัญที่สุดกรดไขมันโอเมก้า-3 ช่วยให้ผิวเปล่งประกายและสุขภาพดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเข้าไปสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ช่วยคงความชุ่มชื้นและแข็งแรง ช่วยกระตุ้นการผลิตคอลลาเจนและเส้นใยอีลาสติน จึงส่งผลให้ผิวพรรณแลดูอ่อนเยาว์และสดใส ทั้งนี้หากมีการรับประทานร่วมกับ วิตามินเอ ดี และอี จะยิ่งช่วยปกป้องการเกิดสิวไม่ว่าจะเป็นสิวหัวขาว และหัวดำ

2) ลดระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดในปัจจุบัน น้ำมันปลาถูกนำมาใช้ในการช่วยลดระดับไตรกลีไรด์ในเลือด และลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจขาดเลือด โดยที่กรดไขมันโอเมก้า-3 จะเข้าไปอยู่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ของเกล็ดเลือดเม็ดเลือดแดง ตับ และอื่น ๆ อีก ส่งผลให้การจับตัวของเกล็ดเลือดลดลง พร้อมทั้งมีการสร้างสารที่ทำให้หลอดเลือดขยายตัวได้ดี

3) โอเมก้า-3 มีประโยชน์ต่อสตรีมีครรภ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง DHA มีความสำคัญในการพัฒนาและการทำหน้าที่ของระบบประสาท ระบบสายตา และระบบสมอง ของทารกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 3 เดือนสุดท้ายก่อนคลอด และในช่วง 6 เดือนแรกหลังจากคลอดแล้ว ดังนั้นมารดาของทารกที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จะเป็นทางเดียวที่จะทำให้ทารกในครรภ์ได้รับกรดไขมันจำเป็นไปด้วย (ทั้งนี้ควรบริโภคในปริมาณที่พอเหมาะ โดยควรได้รับคำปรึกษาจากแพทย์ก่อนทุกครั้ง)

4) โอเมก้า-3 มีประโยชน์สำหรับเด็ก ช่วยการเจริญเติบโตของเด็ก เช่น ช่วยพัฒนาการทำงานของสมองและจิตใจ เพิ่มสมาธิ ความจำระยะสั้นและ ทักษะในการอ่าน นอกเหนือจากนี้ ยังมีคุณสมบัติต้านการอักเสบ ช่วยปกป้องกระดูก ข้อ และกล้ามเนื้อ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่เด็ก ๆ ควรจะได้รับปริมาณโอเมก้า 3 ในระดับสมดุลกับอาหาร

5) จุดเด่นของโอเมก้า-3 มีคุณสมบัติป้องกันและรักษา ได้แก่ ช่วยลดระดับคอเลสเตอร์รอลและไตรกลีเซอร์ไรด์ที่เป็นอันตราย ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจวายเฉียบพลัน และเส้นเลือดในสมอง

แตก ลดความหนืดของเกร็ดเลือด และลดปริมาณสารไฟบรินในเลือด จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดลิ่มเลือดในกระแสเลือด ช่วยป้องกันอาการหัวใจเต้นผิดจังหวะ ซึ่งเป็นภัยเงียบที่สามารถเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ช่วยลดความเสี่ยง ป้องกันมะเร็งเต้านม ช่วยลดบรรเทาอาการคันและแห้งของโรคสะเก็ดเงิน ลดการต้านเนื้อเยื่อที่ปลูกถ่ายในผู้ที่ปลูกถ่ายอวัยวะ ช่วยในการลดความถี่และความรุนแรงของโรคปวดศีรษะไมเกรน ช่วยให้ผิว ผม และเล็บมีสุขภาพดี ช่วยป้องกันหลอดเลือดแดงแข็ง ต่อต้านผลร้ายจากสารโพรสตาแกลนดิน (ลดภูมิต้านทานและเพิ่มการเติบโตของเนื้องอก) ช่วยบรรเทาอาการโรคข้ออักเสบและรูมาตอยด์

ตารางที่ 1ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่ควรได้รับต่อวัน

ช่วงอายุ	**ปริมาณที่ควรได้รับต่อวัน**
แรกคลอด-12 เดือน	เพศชาย 0.5 กรัม เพศหญิง 0.5 กรัม
อายุ 1-3 ปี	เพศชาย 0.7 กรัม เพศหญิง 0.7 กรัม
อายุ 4-8 ปี	เพศชาย 0.9 กรัม เพศหญิง 0.9 กรัม
อายุ 9-13 ปี	เพศชาย 1.2 กรัม เพศหญิง 1.0 กรัม
อายุ 14-18 ปี	เพศชาย 1.6 กรัม เพศหญิง 1.1 กรัม
อายุ 19-50 ปี	เพศชาย 1.6 กรัม เพศหญิง 1.1 กรัม
อายุ 51 ปี ขึ้นไป	เพศชาย 1.6 กรัม, เพศหญิง 1.1 กรัม
หญิงตั้งครรภ์	1.4 กรัม
หญิงให้นมบุตร	1.3 กรัม

ที่มา :https://www.pobpad.com

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเอ็นแคปซูเลทสารและน้ำนมข้าวยาคู

งานวิจัย	ชนิดของผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	วิธีการ/สูตร/สภาวะ ที่ดีที่สุด
การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวจากรวงข้าวอ่อนผสมธัญพืช (สุภาวดี และพาขวัญ, 2555)	น้ำนมข้าวจากรวงข้าวอ่อนผสมธัญพืช (งา)	รวงข้าวอ่อน	- ศึกษาระยะรวงข้าวอ่อนที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคูผสมงา โดยทำการบีบเมล็ดข้าวที่มีอายุ 14, 16, 18 และ 20 วัน (หลังจากวันออกดอก) - รวงข้าวอ่อนที่มีปริมาณน้ำนมที่ดีที่สุด คือ 16 วัน ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำหนักน้ำ : รวงข้าวอ่อน (4:1, 5:1, 6:1, 7:1 และ 8:1) และปริมาณน้ำตาล (1, 2 และ 3 ช้อนโต๊ะ) - ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุดคือ น้ำ 400 กรัม : รวงข้าวอ่อน 100 กรัม : น้ำตาลทราย 1 ช้อนโต๊ะ
การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากน้ำนมข้าวยาคูผง (วันเพ็ญและคณะ., 2004)	ผลิตภัณฑ์คุกกี้จากน้ำนมข้าวยาคูผง	น้ำนมข้าวยาคูผง	-ใช้แป้งจากน้ำนมข้าวยาคูผงทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 40 และใช้แป้งข้าวยาคูผงร้อยละ 7 ในผลิตภัณฑ์คุกกี้สูตรของบริษัทพี กรีน เฮอร์บ -คุกกี้มีส่วนประกอบคือ แป้งข้าวยาคู แป้งสาลี เนยเทียม น้ำตาลทรายบด -ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ผลิตจากการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวยาคูร้อยละ 10 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสจำนวน 28 คนสูงที่สุด

ตารางที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเอ็นแคปซูเลทสารและน้ำนมข้าวยาคู (ต่อ)

งานวิจัย	ชนิดของผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	วิธีการ/สูตร/สภาวะ ที่ดีที่สุด
ได้ศึกษาการเอนแคปซูเลชันน้ำมันคาโนลาโดยใช้ส่วนผสมของโปรตีนถั่วเลนทิลและมอลโตเด็กซ์ตริน รวมถึงโซเดียมอัลจิเนตโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Chang และคณะ, 2016)	เอนแคปซูเลทน้ำมันคาโนลา	- น้ำมันคาโนลา -น้ำมันคาโนลาถูกเอนแคปซูเลท	ได้ศึกษาการเอนแคปซูเลชันน้ำมันคาโนลาโดยใช้ส่วนผสมของโปรตีนถั่วเลนทิลและมอลโตเด็กซ์ตริน รวมถึงโซเดียมอัลจิเนต โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย - น้ำมันคาโนลา -น้ำมันคาโนลาถูกเอนแคปซูเลท - เคลือบผนังไมโครแคปซูลโดยใช้ สารเคลือบ 3 ชนิด ได้แก่ lentil protein isolate (LPI) มอลโตเด็กซ์ตริน และโซเดียมอัลจิเนต ร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) - อุณหภูมิขาเข้าถูกตั้งค่าไว้ที่ 180 ° C และอุณหภูมิทางออกถูกเก็บไว้ที่ 85 ± 1 ° C -พบว่าผนังที่เคลือบด้วยด้วย โปรตีนถั่วเลนทิล (LPI) 2% มอลโตเด็กซ์ตริน 17 % และโซเดียมอัลจิเนต 1 % ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด พบว่าสามารถเอนแคปซูเลทน้ำมันคาโนลา 20% ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด และเป็นวัสดุผนังที่สามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ย่อยสลายได้ดี

จากข้อมูลข้างต้น สามารถกล่าวได้ว่า ถึงแม้จะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูจากวัตถุดิบต่างๆ รวมทั้งข้าวหอมมะลิ แต่ยังไม่มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพเสริมสารเอ็นแคปซูเลทกรดไขมันโอเก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน และยังขาดองค์ความรู้ด้านวิชาการในเชิงลึกเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวอ่อนที่ใช้ในการผลิตน้ำนมข้าวยาคู

ดังนั้นจึงถือได้ว่างานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพเสริมสารเอ็นแคปซูเลทจากน้ำมันงาขี้ม้อน ยังเป็นงานวิจัยใหม่ที่น่าสนใจ และสามารถนำมาศึกษาวิจัยในเชิงลึก รวมถึงการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคเพื่อให้สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ได้ในเชิงพาณิชย์

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 (ปลูกระบบอินทรีย์) ใน 4 ระยะ คือระยะ 12, 14, 16, 18 วัน หลังข้าวออกดอก จากนั้นเลือกระยะที่ให้ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุด จากนั้นศึกษาสูตรน้ำนมข้าวยาคู เพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ผลิตน้ำนมข้าว จากนั้นศึกษากระบวนการห่อหุ้ม (encapsulation) น้ำมันงาขี้ม้อนเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู แล้วนำข้าวอ่อนหอมมะลิอินทรีย์ที่ได้รับการคัดเลือกมาศึกษาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพ การทดสอบทางประสาทสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคู โดยดำเนินการวิจัยตามลำดับดังต่อไปนี้

3.1 ขอบเขตการวิจัย
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล
3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ขอบเขตการวิจัย

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ 105 (ปลูกระบบอินทรีย์) แบ่งการวิจัยออกเป็น 5 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิที่เหมาะสมต่อการทำน้ำนมข้าวยาคูในระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะคือ 12, 14, 16, และ 18 วัน หลังข้าวออกดอก การทดลองที่ 2 ศึกษาสูตรน้ำนมข้าวยาคู เพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ผลิตน้ำนมข้าว โดยนำรวงข้าวอ่อนมาแปรรูปเป็นน้ำนมข้าว การทดลองที่ 3 ศึกษาการทำการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ร่วมกับขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy spray) เพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู การทดลองที่ 4 ศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารเอ็นแคปซูเลทจากน้ำมันงาขี้ม้อน และการทดลองที่ 5 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของน้ำนมข้าวยาคูที่เสริมโอเมก้า 3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของตัวอย่างข้าวหอมมะลิ 105 โดยใช้แปลงปลูกที่ วิสาหกิจชุมชนส่งเสริมอาชีพบ้านเหม้า อ. สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด ซึ่งจะใช้การปลูกระบบอินทรีย์ เพื่อหาระยะที่เหมาะสมต่อการทำน้ำนมข้าวยาคู โดยคัดเลือกจากระยะเวลาการเติบโตของข้าวที่แตกต่างกัน คือ อายุข้าวหอมมะลิอินทรีย์ 12, 14, 16 และ 18 วันหลังการออกดอก โดยทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวอ่อนหอมมะลิอินทรีย์บดละเอียด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต รวมถึง ปริมาณน้ำนมข้าวที่ได้ในเมล็ดข้าว จากนั้นวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content, TPC) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids, TFC) และตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และวิธี FRAP โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ คัดเลือกข้าวหอมมะลิในระยะที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่เหมาะสมที่สุด ไปทำการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 ศึกษาสูตรน้ำนมข้าวยาคู เพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ผลิตน้ำนมข้าว โดยนำรวงข้าวอ่อนมาแปรรูปเป็นน้ำนมข้าว โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำ : รวงข้าวอ่อน (5:1) (ดัดแปลงจาก สุภาวดี, 2555) จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการหาพัฒนาสูตรที่เหมาะสม ใช้กับปัจจัยที่เป็นเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยเป็นต้นไป เป็นวิธีการออกแบบการทดลองขั้นสูง ปริมาณปัจจัยเมื่อรวมกันจะเป็น 100% หรือ 0.1 กล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่นมีสัดส่วนที่ลดลง เพื่อศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสม โดยการทดลองนี้ศึกษา 3 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 90-95) น้ำตาลทรายออร์แกนิค (x2 =0-5) และโปรตีนถั่วเหลือง (x3) ร่วมกับการใช้สารปรุงแต่งและส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ เช่น เกลือ และสารเพิ่มความคงตัว แล้วให้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 80°C นาน 10 นาที จากนั้นบรรจุขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที (F_0=6 นาที) พร้อมประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด , 9 = ชอบมากที่สุด) ทั้งหมด 6 คุณลักษณะ ได้แก่ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยเลือกสูตรที่ได้รับความชอบโดยรวมสูงที่สุดเพื่อพัฒนาในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารเอ็นแคปซูเลทจากน้ำมันงาขี้ม้อน

การทดลองที่ 3 ศึกษาการห่อหุ้ม (encapsulation) น้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้สารเคลือบ ซึ่งประกอบด้วยสารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน 72 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง 8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร และกำหนดความเข้มข้นของน้ำมันงาขี้ม้อน ร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักของแห้งทั้งหมด จากนั้นทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (Spray Drier) อุณหภูมิขาเข้าไว้ที่ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกไว้ที่ 85 ± 1 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก Chang และคณะ, 2016) เปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบ

ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก นภาพร, 2561) ร่วมกับขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy spray) จากนั้นเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เพื่อนำไปทำการประเมินค่าสี L*, a* และ b* ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ความสามารถในการละลายน้ำ ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังการห่อหุ้ม ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน โดยคัดเลือกสูตรที่ความสามารถในการละลายน้ำดีที่สุด และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังการห่อหุ้มน้อยที่สุด (ค่า PV) ไปเติมในน้ำนมข้าวยาคู

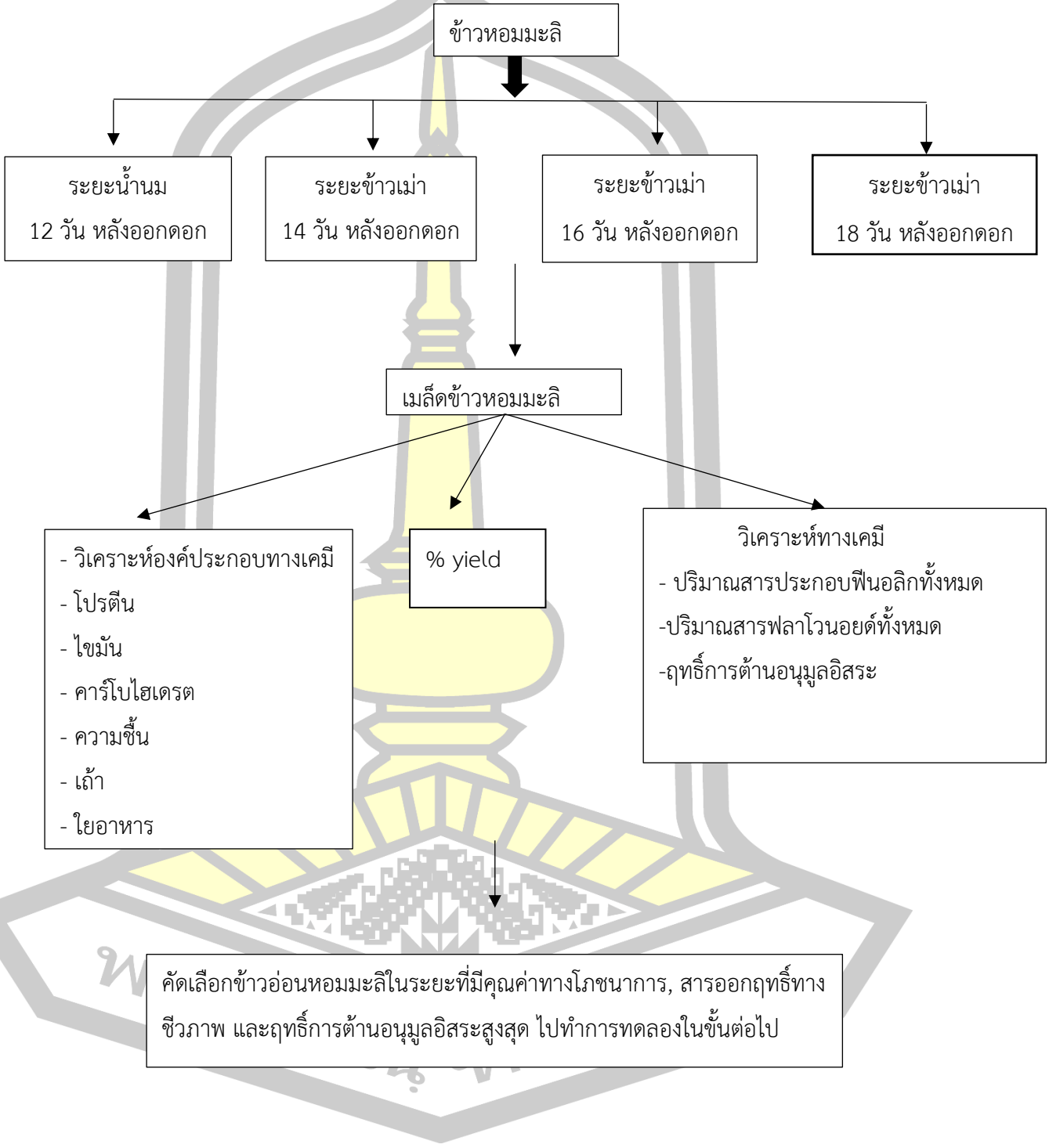
การทดลองที่ 4 ศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้มจะถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูที่ได้รับคัดเลือกจากการทดลองที่ 2 จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการหาพัฒนาสูตรที่เหมาะสม ใช้กับปัจจัยที่เป็นเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยเป็นต้นไป เป็นวิธีการออกแบบการทดลองขั้นสูง ปริมาณปัจจัยเมื่อรวมกันจะเป็น 100% หรือ 0.1 กล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่นมีสัดส่วนที่ลดลง เพื่อศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสม โดยการทดลองนี้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 93-99) และน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม (x2 = 1 - 7) จากนั้นบรรจุขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที (F_0=6 นาที) จากนั้นทดสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกสูตรน้ำนมข้าวยาคูออร์แกนิคเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

การทดลองที่ 5 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ในสภาวะอุณหภูมิห้อง (Gandhi AP, 2009) และสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C เป็นเวลา 1 เดือน โดยทำการตรวจวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่

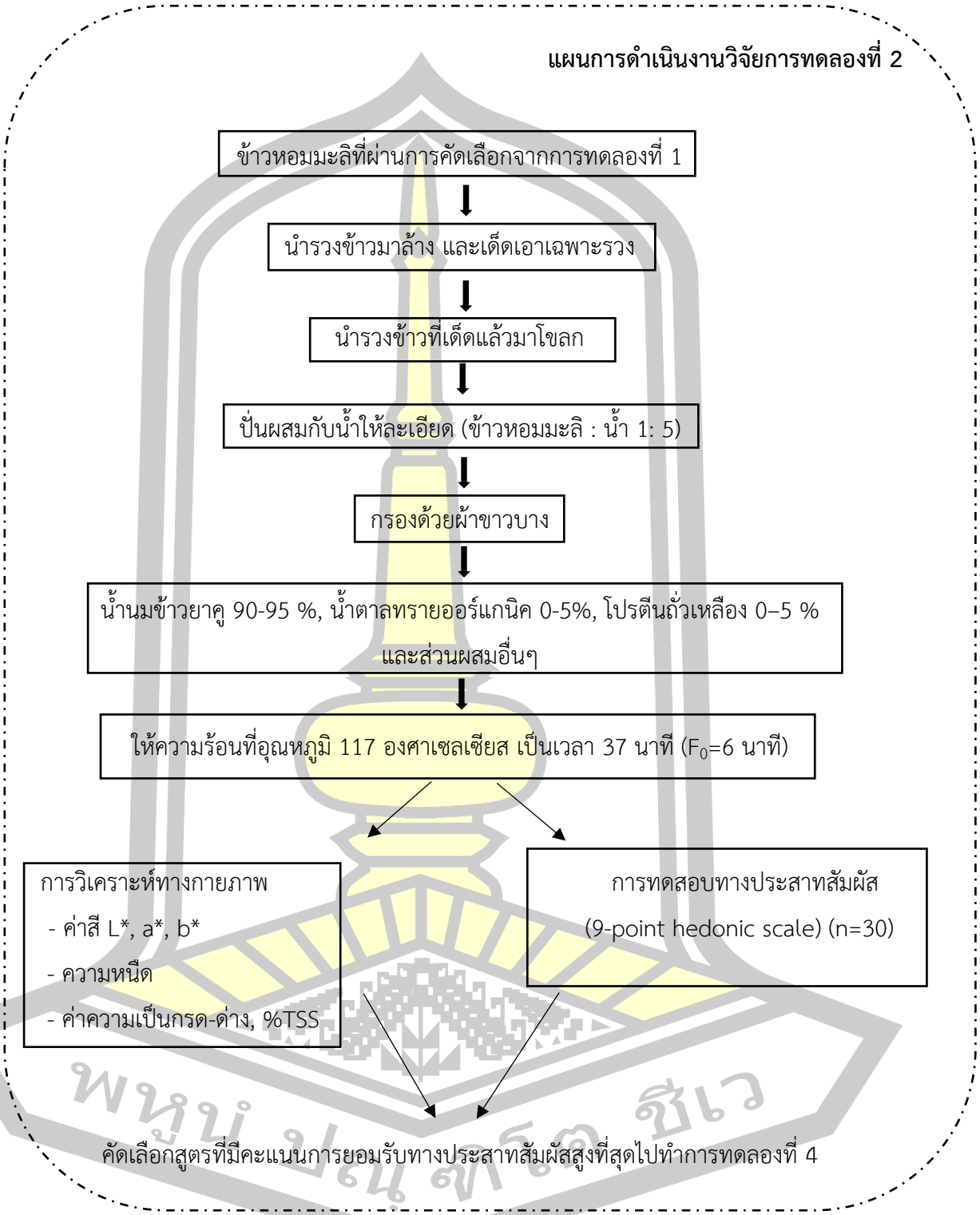
- Standard plate count น้อยกว่า 20,000 cfu/ml (Gandhi AP, 2009)
- Yeast and Mould น้อยกว่า 100 cfu/ml (Gandhi AP, 2009)

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

แผนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 1

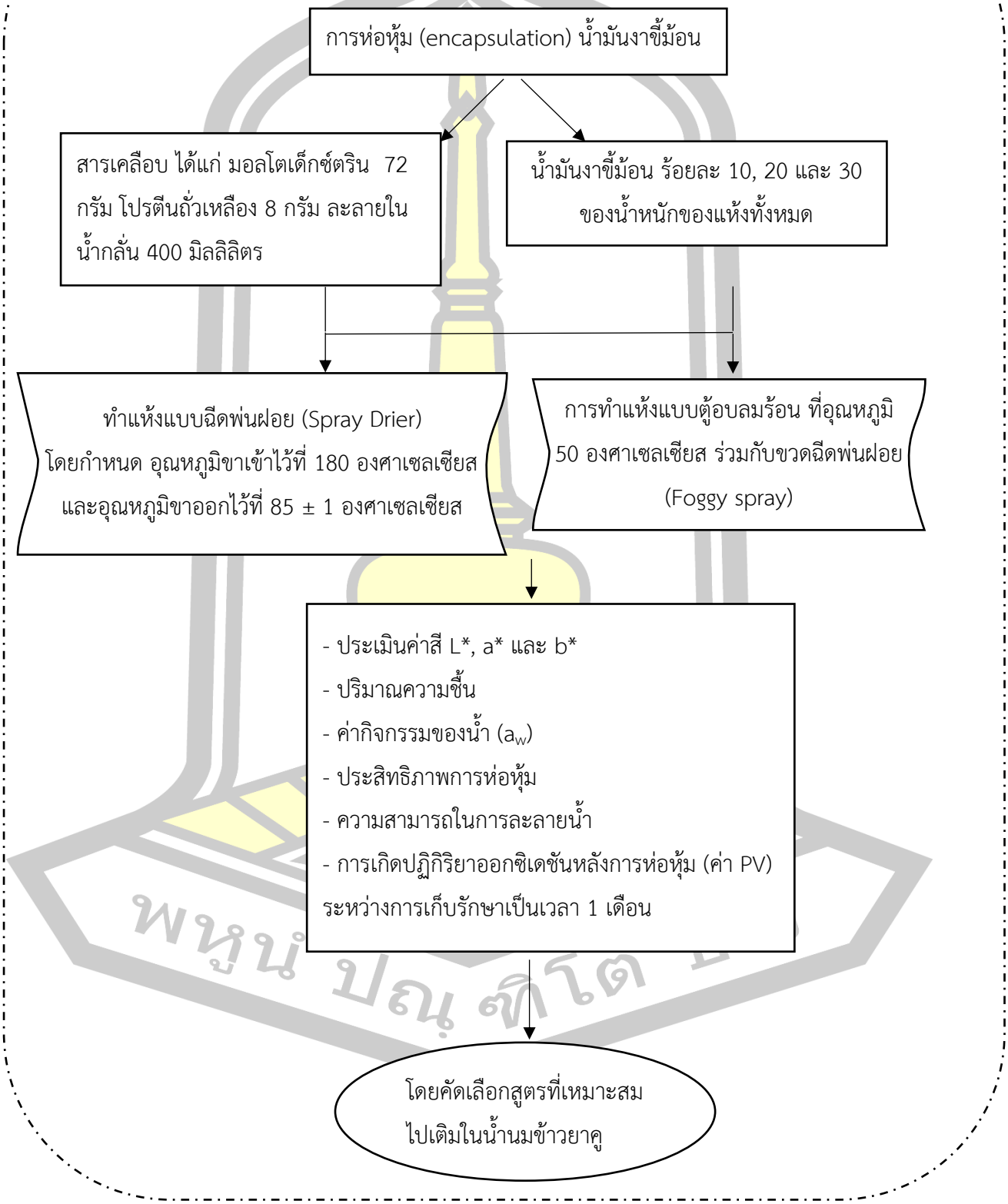


ภาพประกอบที่ 8 ขั้นตอนการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ



ภาพประกอบที่ 9 ขั้นตอนการศึกษาสูตรพื้นฐานน้ำนมข้าวยาคู

แผนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 3



ภาพประกอบที่ 10 ขั้นตอนการศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน

แผนการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 4

น้ำนมข้าวยาคูที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดลองที่ 2

↓

น้ำนมข้าวยาคู 93 - 99 % น้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม 1 – 7 % จากนั้นปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ความเร็ว 10,000 รอบ/นาที โดยควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 40 °C เป็นเวลา 15 นาที

↓

บรรจุขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที (F_0 =6 นาที)

↓

การวิเคราะห์ทางกายภาพ
- ค่าสี L*, a*, b*
- ความหนืด
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง, %TSS

การทดสอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) (n=50)

↓

คัดเลือกสูตรที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

ภาพประกอบที่ 11 ขั้นตอนการศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม

ภาพประกอบที่ 12 ขั้นตอนการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของน้ำนมข้าวยาคูที่มีการเติมน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 วัตถุดิบ

3.2.1.1 ข้าวหอมมะลิ 105 โดยใช้แปลงปลูกที่ วิสาหกิจชุมชนส่งเสริมอาชีพบ้านเหม้า อ. สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด (ปลูกระบบอินทรีย์)

3.2.1.2 น้ำตาลทรายออร์แกนิค (ตรามิตรผล) จากห้างสรรพสินค้า บิ๊กซี ซุปเปอร์เซ็นเตอร์ จำกัด

3.2.1.3 น้ำมันงาขี้ม้อน (ตราสวนปานะ)

3.2.1.4 มอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 จากบริษัทเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.2.1.5 โปรตีนถั่วเหลือง จากบริษัทเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.2.1.6 คาร์ราจีแนน จากบริษัทเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.2.1.7 เกลือ (ปรุงทิพย์) จากห้างสรรพสินค้า บิ๊กซี ซุปเปอร์เซ็นเตอร์ จำกัด

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องแก้ว

3.2.2.1 กระบอกตวงขนาด 10 ,20 และ100 ml.

3.2.2.2 Beaker ขนาด 50 ,100 ,250 ,600 และ 1,000 ml.

3.2.2.3 flask ขนาด 100 ,250 และ 500 ml.

3.2.2.4 Test tube

3.2.2.5 แท่งแก้ว

3.2.2.6 Pasture pipette

3.2.2.7 ลูกยาง

3.2.2.8 Vial ขนาด 5 ,10 และ 15 ml.

3.2.2.9 กรวยกรอง

3.2.2.10 Glass cuvette ขนาด 3 ml.

3.2.2.11 Stainless spatula

3.2.2.12 ช้อนตักสาร

3.2.2.13 กรวยแยกขนาด 500 ml.

3.2.2.14 ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมส

3.2.2.15 ถาด

3.2.2.16 ชาม

3.2.2.17 ช้อน

3.2.2.18 ขวดแก้ว

3.2.3.19 กระดาษกรอง Whatman No.1

3.2.3.20 หัวกรอง ขนาด 0.45 µm

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง spectrophotometer (Libra S12)

3.2.4.2 เครื่อง vortex (VTX-3000L)

3.2.4.3 เครื่อง centrifuge (Universal 320)

3.2.4.4 เตาไฟฟ้า hot plate

3.2.4.5 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

3.2.4.6 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

3.2.4.7 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

3.2.4.8 เครื่องชั่งชนิดละเอียด 2, 4 ตำแหน่ง (Balance: Mettler Toledo, Thailand)

3.2.4.9 เครื่องปั่นอเนกประสงค์ (Blender)

3.2.4.10 Micropipette and Tips

3.2.4.11 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Mini Spray Dryer B-290)

3.2.4.12 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave)

3.2.4.13 หม้อฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (retort)

3.2.2.14 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldath apparatus)

3.2.2.15 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxhlet apparatus)

3.2.2.16 เตาอบความร้อนสูงวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย (Fiber Analyzer)

3.2.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.5.1 Folin-Ciocalteu reagent (Analytical grade)

3.2.5.2 Sodium carbonate (Na_2CO_3) (Analytical grade)

3.2.5.3 Gallic acid (Analytical grade)

3.2.5.4 Sodium nitrite ($NaNO_2$) (Analytical grade)

3.2.5.5 Aluminium chloride ($AlCl_3$)

3.2.5.6 Sodium hydroxide (NaOH) (Analytical grade)

3.2.5.7 Catechin (Analytical grade)

3.2.5.8 Ethanol (Analytical grade)

3.2.5.9 Methanol (Analytical grade)

3.2.5.10 Acetone (Analytical grade)

3.2.5.11 Hexane (Analytical grade)

3.2.5.12 Ethyl acetate (Analytical grade)

3.2.5.13 Maltodextrin (Food grade)

3.2.5.14 DPPH (Analytical grade)

3.2.5.15 Ascorbic acid (Analytical grade)

3. 2. 5.16 Sodium alginate (Food grade)

3.2.5.17 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol (BHT) (Analytical grade)

3.2.5.18 Methyl red

3.2.5.19 Kovacs's reagent

3.2.5.20 Potato Dextrose Agar (PDA)

3.2.5.21 Brilliant Green Lactose Bile Broth

3.2.5.22 Escherichia coli/coliform Petrifilms

3.2.5.23 Eosin Methylene Blue Agar (EMB)

3.2.5.24 Tryptone Broth

3.2.5.25 MR-VP Broth

3.2.5.26 Citrate agar slant

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของตัวอย่าง

โดยใช้ข้าวเจ้าสายพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยใช้แปลงปลูกระบบอินทรีย์ ที่ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน คือ อายุข้าวหอมมะลิอินทรีย์ 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก (ดัดแปลงจาก สุภาวดี และพาขวัญ, 2555)

1) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวอ่อนหอมมะลิอินทรีย์บดละเอียด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)

2) วิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content, TPC) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids, TFC) และตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และวิธี FRAP (ตามวิธีการของ Kubola et al., 2011)

3.3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาสูตรน้ำนมข้าวยาคู เพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ผลิตน้ำนมข้าว

โดยนำรวงข้าวอ่อนมาแปรรูปเป็นน้ำนมข้าว โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำ : รวงข้าวอ่อน (5:1)

(ดัดแปลงจาก สุภาวดี, 2555) จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการหาพัฒนาสูตรที่เหมาะสม เพื่อศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสม โดยการทดลองนี้ศึกษา 3 ปัจจัย คือ คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 90-95) น้ำตาลทรายออแกนิค (x2 = 0-5) และ โปรตีนถั่วเหลือง (x3 = 0-5) ร่วมกับการใช้สารปรุงแต่งและส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ เช่น เกลือ และสารเพิ่มความคงตัว แล้วให้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 80 °C นาน 10 นาที จากนั้นบรรจุขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที (F_0=6 นาที) พร้อมประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด , 9 = ชอบมากที่สุด) ทั้งหมด 5 คุณลักษณะ ได้แก่ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยเลือกสูตรที่ได้รับความชอบโดยรวมสูงที่สุดเพื่อพัฒนาในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน

ตารางที่ 4 สูตรผลิตน้ำนมข้าวยาคู วางแผนการทดลอง โดยวิธี Mixture Design

Treatments	Ingredient proportion (%)				
	น้ำนมข้าว (X_1)	**น้ำตาลทรายออแกนิค (X_2)**	**โปรตีนถั่วเหลือง (X_3)**	**เกลือ**	**คาร์ราจีแนน**
A1	95.00	5.00	0.00	0.2	0.05
A2	93.33	3.33	3.33	0.2	0.05
A3	92.50	2.50	2.50	0.2	0.05
A4	95.00	0.00	5.00	0.2	0.05
A5	90.00	5.00	5.00	0.2	0.05
A6	92.50	5.00	2.50	0.2	0.05

หมายเหตุ: Ax คือ สูตรในการผลิตน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design หน่วยเป็นร้อยละ

3.3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้สารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน 72 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง 8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร และกำหนดความเข้มข้นของน้ำมันงาขี้ม้อน ร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักของแห้งทั้งหมด จากนั้นทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (Spray Drier) โดยกำหนดอุณหภูมิขาเข้าไว้ที่ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกไว้ที่ 85 ± 1 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก Chang และคณะ, 2016) และเปรียบเทียบกับวิธีการฉีดพ่นด้วยการฉีดพ่นฝอยด้วยขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy spray) แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

(ดัดแปลงจาก นภาพร, 2561) จากนั้นเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เพื่อนำไปทำการประเมินค่าสี L*, a* และ b* ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ความสามารถในการละลายน้ำ ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังการห่อหุ้ม ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน ที่สภาวะเร่ง 55 องศาเซลเซียส โดยคัดเลือกสูตรที่ความสามารถในการละลายน้ำดีที่สุด และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังการห่อหุ้มน้อยที่สุด ไปเติมในน้ำนมข้าวยาคู

3.3.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้มจะถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูที่ได้รับคัดเลือกจากการทดลองที่ 2 จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการหาพัฒนาสูตรที่เหมาะสม ใช้กับปัจจัยที่เป็นเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยเป็นต้นไป เป็นวิธีการออกแบบการทดลองขั้นสูง ปริมาณปัจจัยเมื่อรวมกันจะเป็น 100% หรือ 0.1 กล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่นมีสัดส่วนที่ลดลง เพื่อศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสม โดยการทดลองนี้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 93-99) และน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกเอ็นแคปซูเลท (x2 = 1-7) และเปรียบเทียบกับการเติมอิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน ไปในน้ำนมข้าวยาคูในอัตราส่วนเดียวกัน จากนั้นบรรจุขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที (F_0=6 นาที)

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณค่าด้านกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน

Treatments	Ingredient proportion (%)	
	ปริมาณน้ำนมข้าวยาคู (X_1)	**ปริมาณไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน (X_2)**
***B1**	100	0.00
B2	92.25	7.75
B3	96.75	3.25
B4	99.00	1.00
B5	90.00	10.00
B6	94.5	5.5

หมายเหตุ : Bx คือ สูตรในการผลิตน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design หน่วยเป็นร้อยละ, X_1 = ปริมาณน้ำนมข้าวยาคู, X_2= ปริมาณไมโครแคปซูลน้ำมันงานขี้ม้อน

ทดสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี ได้แก่

- ค่าสี โดยวัดค่าสี ตามระบบ CIE (L*, a*, b*) โดยใช้เครื่อง Chromatometer (Minolta; Model CR-400)

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter

- Total Soluble Solids / ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) โดยใช้เครื่อง refractometer

- Viscosity โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Rheometer)

พร้อมประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด , 9 = ชอบมากที่สุด) ทั้งหมด 5 คุณลักษณะ ได้แก่ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์สุดท้าย จากนั้นนำผลิตภัณฑ์สุดท้าย

3.3.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของน้ำนมข้าวยาคูที่มีการเติมน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้ม ในสภาวะอุณหภูมิห้อง และสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C (Gandhi AP, 2009) เป็นเวลา 1 เดือน โดยทำการตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

- Standard plate count น้อยกว่า 20,000 cfu/ml (Gandhi AP, 2009)

- Yeast and Mould น้อยกว่า 100 cfu/ml (Gandhi AP, 2009)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นดังนี้

3.4.1 นำข้อมูลที่ได้มาหาค่า เฉลี่ยร้อยละและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4.2 สรุปผลการวิเคราะห์และรายงานในรูปแบบตารางและกราฟ

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัยข้อมูลดังนี้

สถิติพื้นฐานได้แก่

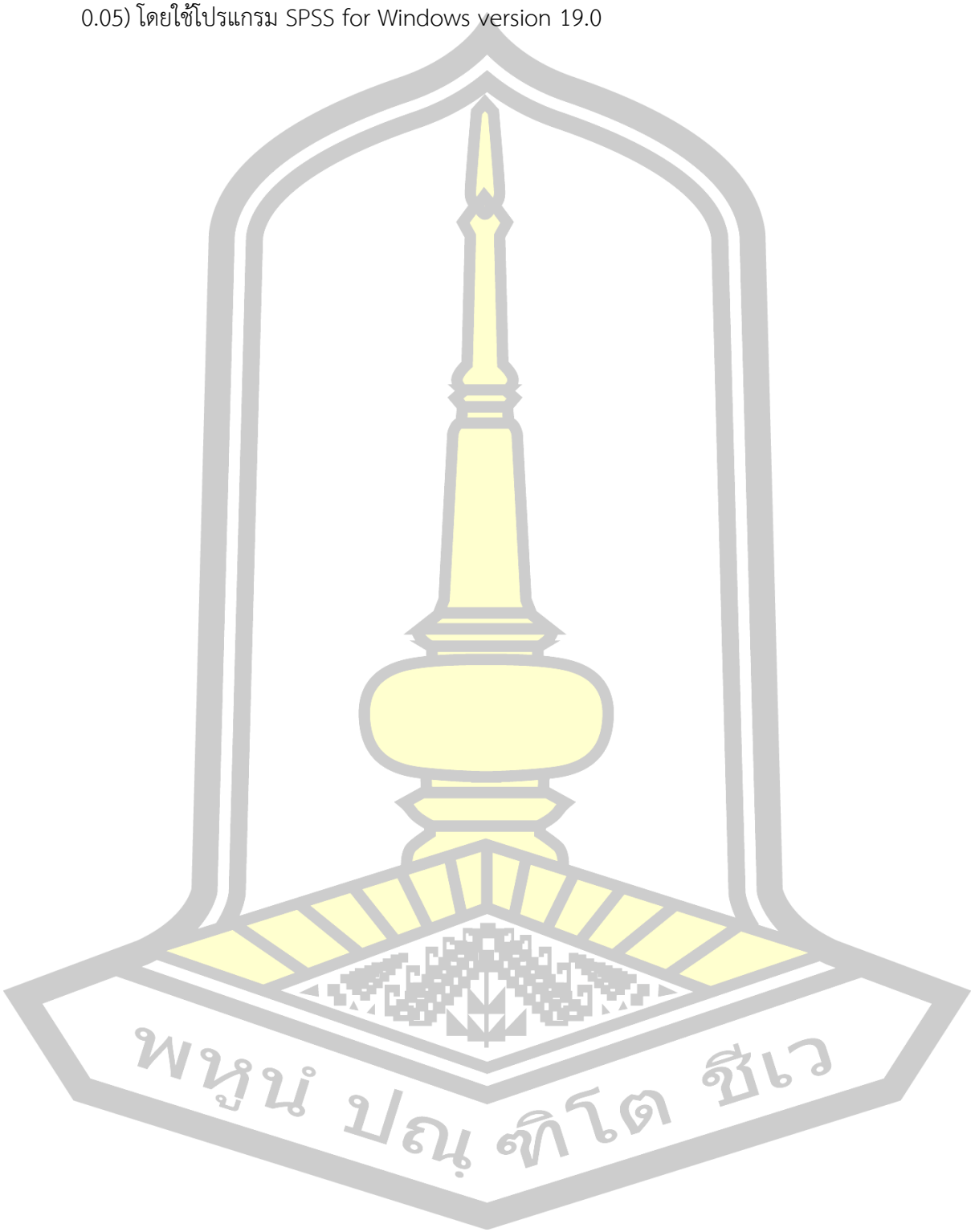
- ค่าเฉลี่ย

- ร้อยละ

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.5.2 สถิติที่ใช้สำหรับผลข้อมูลการวิจัยทางกายภาพและเคมีวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ส่วนข้อมูลทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design: RCBD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

ด้วยวิธี Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p value < 0.05) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows version 19.0



บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปราย

ผู้วิจัยได้เสนอการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายของข้อมูลเป็นลำดับขั้นดังนี้

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2 ลำดับขั้นในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

SD	แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard Deviation)
$\bar{x}$	แทนค่าเฉลี่ย
df	แทนระดับความเสรี (degrees of freedom)
F	แทนสถิติทดสอบที่ใช้พิจารณา F-distribution
P	แทนความน่าจะเป็นไปทางสถิติ (probability)

4.2 ลำดับขั้นในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดลองผู้ทดลองได้ดำเนินการเสนอผลการทดลองตามลำดับ ดังนี้

4.2.1 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของตัวอย่าง โดยใช้ข้าวเจ้าสายพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยใช้แปลงปลูกระบบอินทรีย์ ที่ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน คือ อายุข้าวหอมมะลิอินทรีย์ 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก (ดัดแปลงจาก สุภาวดี และพาขวัญ, 2555)

4.2.2 ศึกษาสูตรน้ำนมข้าวยาคู เพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ผลิตน้ำนมข้าว โดยนำรวงข้าวอ่อนมาแปรรูปเป็นน้ำนมข้าว โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำ : รวงข้าวอ่อน (5:1) (ดัดแปลงจาก สุภาวดี, 2555) จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการหาพัฒนาสูตรที่เหมาะสม เพื่อศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสม โดยการทดลองนี้ศึกษา 3 ปัจจัย คือ คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 90-95) น้ำตาลทรายออร์แกนิค (x2 = 0-5) และ โปรตีนถั่วเหลือง (x3 = 0-5) ร่วมกับการใช้สารปรุงแต่งและส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ เช่น เกลือ และสารเพิ่มความคงตัว แล้วให้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 80 °C นาน 10

นาที จากนั้นบรรจุขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที

4.2.3 ศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการและปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อนในการเอนแคปซูเลทน้ำมันงาขี้อน เพื่อเติมในน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้สารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน 72 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง 8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร และกำหนดความเข้มข้นของน้ำมันงาขี้ม้อน ร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักของแห้งทั้งหมด จากนั้นทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (Spray Drier) โดยกำหนดอุณหภูมิขาเข้าไว้ที่ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกไว้ที่ 85 ± 1 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบกับวิธีการฉีดพ่นด้วยการฉีดพ่นฝอยด้วยขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy spray) แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก นภาพร, 2561) จากนั้นเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เพื่อนำไปทำการประเมินค่าสี L*, a* และ b* ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ความสามารถในการละลายน้ำ ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังการห่อหุ้ม ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน โดยคัดเลือกสูตรที่ความสามารถในการละลายน้ำดีที่สุด และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหลังการห่อหุ้มน้อยที่สุด ไปเติมในน้ำนมข้าวยาคู

4.2.4 ศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกห่อหุ้มจะถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูที่ได้รับคัดเลือกจากการทดลองที่ 2 จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 โดยการทดลองนี้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 93-99) และน้ำมันงาขี้ม้อนที่ถูกเอ็นแคปซูเลท (x2 = 1-7) และเปรียบเทียบกับการเติมอิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน ไปในน้ำนมข้าวยาคูในอัตราส่วนเดียวกัน จากนั้นบรรจุขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที

4.2.5 ประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

4.2.6 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษา ในสภาวะอุณหภูมิห้อง และสภาวะเร่ง ที่อุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C เป็นเวลา 1 เดือน โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และด้านจุลินทรีย์

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวเจ้าสายพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยใช้แปลงปลูกระบบอินทรีย์ ที่ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน คือ อายุข้าวหอมมะลิอินทรีย์ 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวอ่อนหอมมะลิอินทรีย์บดละเอียด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต

องค์ประกอบ (%/100 g)	อายุข้าวหลังการออกดอก (วัน)			
	12	14	16	18
ความชื้น	37.57±0.20^{a}	36.09±2.14^{a}	32.21±0.42^{b}	30.06±0.19^{c}
โปรตีน	8.24±0.02^{d}	9.80±0.04^{c}	10.34±0.01^{b}	13.07±0.23^{a}
ไขมัน	13.17±0.03^{c}	13.18±0.02^{c}	13.32±0.05^{b}	13.46±0.02^{a}
เถ้า	4.14±0.33 ^{a}	2.94±0.16 ^{b}	2.79±0.01^{b}	2.37±0.08 ^{c}
คาร์โบไฮเดรต	36.88±0.54^{b}	37.99±1.99^{b}	41.34±0.45^{a}	41.04±0.42^{a}
% yield	28.60±0.85^{c}	47.96±1.37^{b}	57.20±0.44^{a}	58.73±0.68^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวอ่อนหอมมะลิอินทรีย์บดละเอียด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ดังตารางที่ 6 พบว่า ข้าวหอมมะลิที่ระยะ 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก มีค่าปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง (37.57-30.06) g/100 g โปรตีน อยู่ในช่วง (8.24-13.07) g/100 g ไขมัน อยู่ในช่วง (13.17-313.46) g/100 g เถ้า อยู่ในช่วง (4.14-2.37) g/100 g และคาร์โบไฮเดรต อยู่ในช่วง (36.88-41.04) g/100 g ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่ามีปริมาณเปอร์เซ็นต์ yield ของน้ำนมข้าวที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้น 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ yield ของน้ำนมข้าวที่ได้สูงที่สุด คือ 57.69% และ

58.73% ตามลำดับ ในขณะที่ 14 และ 12 วัน หลังการออกดอก มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ yield ของน้ำนมข้าวที่ได้ คือ 47.96% และ 28.60% ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content, TPC) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids, TFC) และตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และวิธี FRAP

องค์ประกอบ	**ระยะข้าวหอมมะลิหลังการออกดอก (วัน)**			
	12	**14**	**16**	**18**
TPC (mg GAE/g)	31.67±0.20^{a}	30.24±0.10^{b}	29.99±0.22^{b}	28.82±0.20^{c}
TFC (mg RE /g)	3.39±0.11^{a}	3.24±0.08^{ab}	3.18±0.02^{b}	2.90±0.09^{c}
DPPH (% inhibition)	90.88±0.09^{a}	89.07±0.10^{b}	88.51±0.14^{c}	86.55±0.13^{d}
FRAP (mmol FeSO4/g)	43.56±0.11^{a}	40.64±0.12^{b}	38.77±0.13^{c}	35.64±0.14^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c,d...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 7 วิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content, TPC) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids, TFC) และตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และวิธี FRAP ของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ พบว่าข้าวอ่อนทั้ง 4 ระยะ มี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC, Total phenolic compound) เท่ากับ 31.67-28.82 mg GAE /g DW ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC, Total flavonoid content) เท่ากับ 3.39-2.90 mg RE/g มีค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ(DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazy) เท่ากับ 90.88-86.55 % inhibition, FRAP:Ferric reducing antioxidant power เท่ากับ 43.56-35.64 mmol FeSO4/g DW ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Aguilar-Garcia et al.,2009) ซึ่งรายงานว่า ข้าวที่ยังไม่กะเทาะเปลือก ซึ่งยังมีรำข้าว และปลายข้าว มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 8 ปริมาณกรดฟีนอลิกของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในระยะการเจริญเติบโต 12, 14, 16 และ 18 วัน หลังการออกดอก

ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิก (µg./100g.DW)	**ระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ หลังการออกดอก (วัน)**			
	12	**14**	**16**	**18**
Gallic acid	108.10±2.049^{b}	114.51±0.62^{a}	110.44±0.56^{b}	115.24±1.51^{a}

Protocatechuic acid	4.71±0.06[b]	5.02±0.060[a]	4.61±0.03[c]	4.66±0.04[bc]
p-Hydroxybenzoic acid	4.88±0.02[a]	4.80±0.05[a]	4.70±0.08[c]	4.88±0.033[a]
Chlorogenicacid	4.01±0.01[b]	4.04±0.01[a]	3.93±0.00[c]	4.03±0.02[ab]
Vanillic acid	4.61±0.46[b]	5.33±0.03[a]	4.91±0.07[ab]	5.25±0.05[a]
Caffeic acid	4.75±0.02[a]	4.72±0.02[a]	4.59±0.00[b]	4.72±0.03[a]
Syrigic acidns	4.62±0.02[c]	4.96±0.01[b]	4.94±0.02[b]	5.19±0.01[a]
p-Coumaric acid[ns]	4.60±0.25	4.47±0.01	4.55±0.19	4.44±0.01
Ferulic acid	5.51±0.08[d]	4.46±0.05[c]	7.88±0.02[b]	8.93±0.08[a]
Synapic acid	4.72±0.01[b]	5.05±0.29[a]	4.72±0.01[b]	4.79±0.04[ab]
Total	150.53±1.32[c]	157.37±0.88[b]	162.14±4.46[a]	155.26±0.50[b]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c,d...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษากรดฟีนอลิก ของระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 12, 14, 16 และ 18 วันหลังการออกดอก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยข้าวหอมมะลิระยะ 16 วัน (หลังการออกดอก) มีปริมาณกรดฟีนอลิกโดยรวมสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวหอมมะลิระยะหลังการออกดอก 14, 18 และ 12 วัน ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณกรดฟีนอลิกรวมเท่ากับ 162.14, 157.37, 155.26 และ 150.53 (µg./100g.DW) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาชนิดของกรดฟีนอลิกทั้ง 10 ชนิด พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้น p-Coumaric acid ที่ไม่มีแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยภาพรวมของปริมาณกรดฟีนอลิก พบว่าข้าวหอมมะลิระยะ 16 วัน (หลังการออกดอก) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Butsat & Siriamornpun, 2010) ซึ่งรายงานว่า พบกรดฟีนอลิกในแกลบและน้ำมันรำข้าวหอมมะลิ 105 โดยเฉพาะส่วนที่เป็นแกลบที่มีความเข้มข้นของกรดฟีนอลิกสูงที่สุด และจากการทดลองได้คัดเลือกระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 16 วัน (หลังการออกดอก) เป็นระยะที่เหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำนมข้าวยาคูสูตรพื้นฐานต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ อริยาภรณ์ และคณะ (2550) ที่พบว่าระยะข้าว 16 วันหลังการออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เหมาะสมในการผลิตน้ำนมข้าวจากรวงข้าวอ่อน

4.3.2 ผลศึกษาสูตรน้ำนมข้าวยาคู เพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ผลิตน้ำนมข้าว

ตารางที่ 9 คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลอง โดยวิธี Mixture Design

Treatments	Parameters (n=3)					
	Viscosity (cP)	pH^{ns}	%TSS °Brix	Color L*	a*	b*
A1	35.20±0.21^{a}	6.33±0.03	13.88±0.03^{a}	34.48±0.02^{b}	-3.16±0.04^{b}	7.70±0.05^{c}
A2	33.45±0.41^{bc}	6.31±0.01	7.99±0.01^{b}	35.58±0.21^{a}	-3.07±0.06^{a}	8.72±0.14^{b}
A3	33.07±0.16^{c}	6.33±0.02	7.53±0.06^{c}	35.63±0.15^{a}	-3.07±0.05^{a}	8.71±0.13^{b}
A4	35.47±0.16^{a}	6.31±0.02	2.53±0.06^{d}	34.44±0.07^{b}	-3.18±0.02^{b}	7.94±0.07^{c}
A5	33.47±0.10^{bc}	6.32±0.01	13.93±0.06^{a}	34.13±0.03^{c}	-3.05±0.03^{a}	9.16±0.05^{a}
A6	33.63±0.16^{b}	6.32±0.01	13.92±0.03^{a}	35.61±0.18^{a}	-3.11±0.02^{ab}	8.84±0.02^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c,d ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns ....อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของน้ำนมข้าวยาคู พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำนมข้าวยาคูทุกสูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 9 โดยทั้ง 6 สูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.831-6.33 กล่าวคือการใช้ น้ำตาลทรายออแกนิค และโปรตีนถั่วเหลือง ในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็น กรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ค่าความหนืด ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำได้ และค่าสี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 33.07-35.47 เซนติพอยด์ มีค่าของแข็งที่ละลายในน้ำได้ อยู่ในช่วง 2.53-13.93 °Brix มีค่าสีความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 34.13-35.63 ค่าสีเขียว-แดง (a*) อยู่ในช่วง (-3.07)- (-3.18) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง อยู่ในช่วง 7.70-9.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสูตรที่มีปริมาณน้ำนมข้าวสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้และค่าความสว่างของสีผลิตภัณฑ์ลดลงเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคู

Treatments	Parameters (n=30)				
	Appearance^{ns}	Color^{ns}	Flavour	Texture	Overall
A1	5.43±1.17	5.67±0.55	6.03±0.41^{b}	5.73±0.58^{c}	6.00±0.64^{d}
A2	5.60±0.50	5.67±0.55	6.53±0.51^{a}	6.79±0.52^{a}	8.43±0.63^{a}
A3	5.43±0.50	5.53±0.57	6.07±0.25^{b}	6.08±0.58^{b}	7.30±0.75^{b}
A4	5.33±0.71	5.52±1.19	4.87±0.73^{d}	6.07±0.45^{b}	5.13±1.17^{e}
A5	5.33±0.66	5.60±0.56	5.73±0.52^{c}	5.77±0.57^{c}	6.20±0.89^{d}
A6	5.50±0.51	5.60±0.62	5.67±0.61^{c}	6.80±0.55^{a}	6.70±0.75^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c,d ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns ....อักษรที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสจากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวยาคู ทั้ง 6 สูตร ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ดังตารางที่ 10 พบว่าลักษณะปรากฏ และสี ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และได้ทำการคัดเลือกสูตรที่ A2 เป็นสูตรที่ดีที่สุด เนื่องจากได้รับคะแนนการยอมรับด้าน กลิ่นรส และ ด้านเนื้อสัมผัส อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ถึง ชอบปานกลาง และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด

4.3.3 ผลศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งและปริมาณการเอนแคปซูเลทน้ำมันงาขี้ม้อน เพื่อนำไปเติมในน้ำนมข้าวยาคู

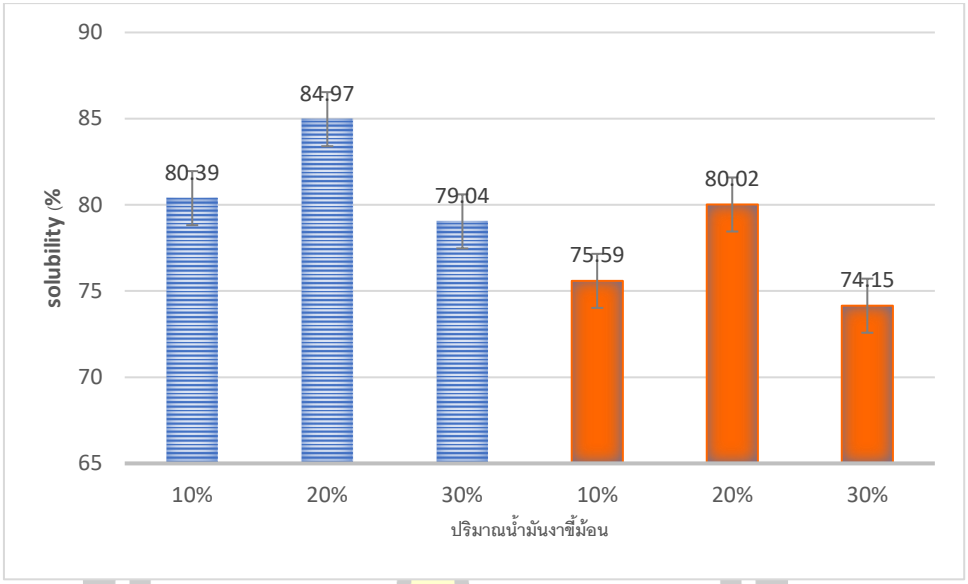
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ร่วมกับการฉีดพ่นฝอยด้วยขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy) เพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู

Parameters (n=3)	**ทำแห้งแบบพ่นฝอย** (น้ำมันงาขี้ม้อน (%))			**ทำแห้งแบบเตาอบลมร้อน ร่วมกับขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy spray)** (น้ำมันงาขี้ม้อน (%))		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
ความชื้น^{ns}	4.70±0.21	4.71±0.00	4.72±0.02	4.71±0.10	4.72±0.13	4.73±0.01

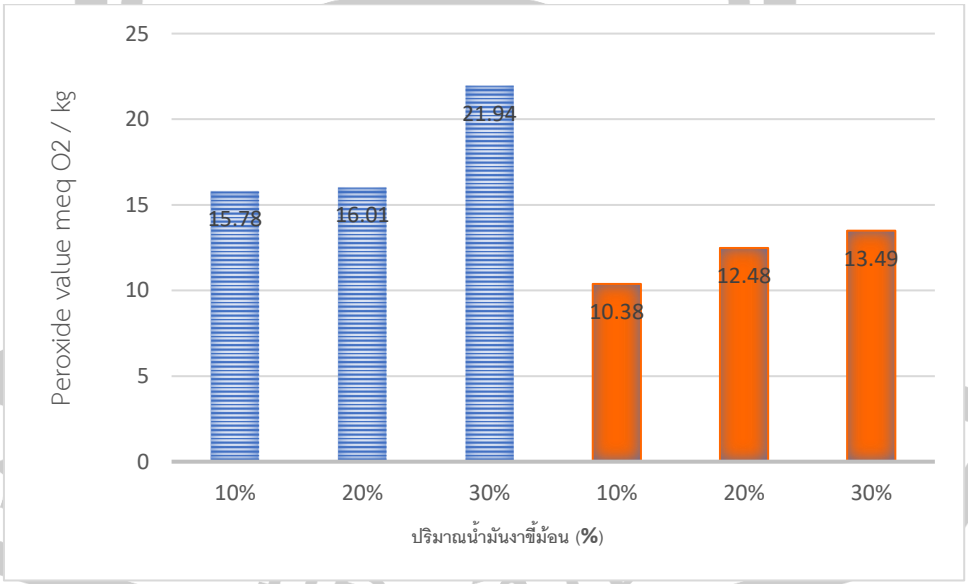
a_w^{ns}	0.31±0.01	0.31±0.00	0.32±0.01	0.31±0.00	0.32±0.00	0.33±0.02
ค่าสี						
L*	95.29±0.23^{a}	91.85±1.08^{a}	92.00±1.08^{a}	85.15±3.92^{b}	86.88±0.62^{b}	85.54±0.18^{b}
a*	-0.56±0.02^{b}	-0.57±0.01^{b}	-0.47±0.04^{a}	-0.51±0.06^{ab}	-0.45±0.01^{a}	-0.58±0.07^{b}
b*	9.17±0.17^{d}	9.89±0.32^{d}	12.18±0.63^{c}	13.85±2.12^{b}	14.96±0.19^{ab}	16.50±0.13^{a}
ประสิทธิภาพ						
การห่อหุ้ม (%)	80.47±0.15^{a}	80.73±0.21^{a}	79.90±0.40^{b}	57.90±0.61^{c}	57.97±0.31^{c}	53.57±0.40^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน a,b,c,d,e ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของน้ำนมข้าวยาคู ดังตารางที่ 11 พบว่าค่าปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมน้ำ (a_w) ของไมโครแคปซูลของทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.70-4.73 และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.31-0.33 ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามรายงานของ Jay M.James. 1998 และหนังสือบรรจุภัณฑ์อาหาร 2554 ระบุไว้ว่าคุณสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คืออาหารแห้ง เป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำ (low water activity food) มีค่า water activity น้อยกว่า 0.6 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งรายีสต์ และแบคทีเรีย ในขณะที่ค่าสี ค่าความสว่าง (L*) ของแต่ระดับน้ำมันงาขี้ม้อนของทั้งวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าทั้ง 2 วิธี มีค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่ ค่าสีเขียว-แดง และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ด้านประสิทธิภาพการห่อหุ้ม พบว่าวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มดีกว่าวิธีทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang และคณะ (2016) ที่พบว่าการการห่อหุ้มน้ำมันคาโนล่าด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มที่สูง



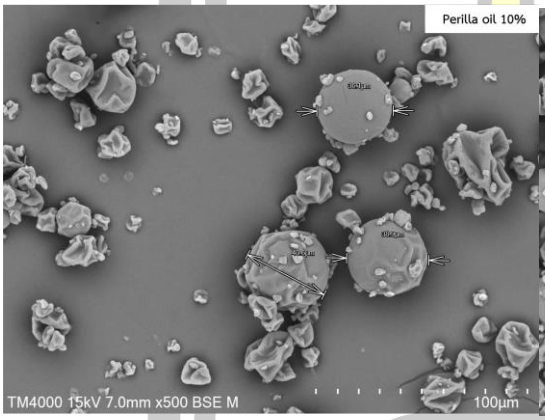
ภาพประกอบที่ 13 กราฟผลการทดสอบการละลายของผงไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ; ■ *คือ สูตรที่เอนแคปซูเลทด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย;* ■ *สูตรที่เอนแคปซูเลทแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน*



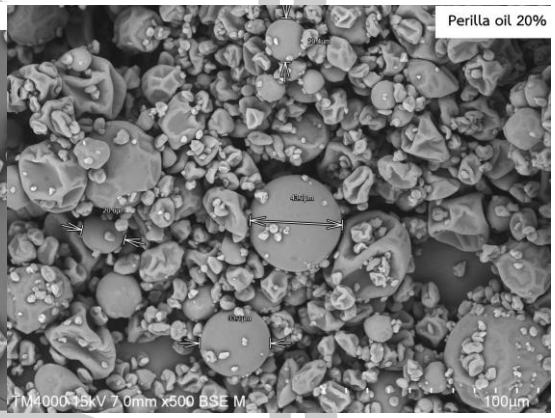
ภาพประกอบที่ 14 กราฟผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของผงไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ■ *คือ สูตรที่เอนแคปซูเลทด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย;* ■ *คือ สูตรที่เอนแคปซูเลทแล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน หลังการเก็บรักษาเป็นเวา 1 เดือน*

นอกจากนี้ยังพบว่าไมโครแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสามารถในการละลายในน้ำได้ดีกว่าวิธีที่ผ่านการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ดังภาพประกอบที่ 13 และมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าสูตรที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ดังภาพประกอบที่ 15 แต่ขณะเดียวกันสูตรวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าสูตรใช้การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ดังภาพประกอบที่ 14 ซึ่งอาจเกิดจากใช้อุณภูมิทำแห้งที่สูง ทำให้เร่งการเกิดออกซิเดชั่นในไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน และสูตรที่สามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดคือสูตรที่มีปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อน 20% และใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีความสามารถน้ำได้ดี 84.97% และยังมีค่าเปอร์ออกซิเดชั่นไม่เกิน ร้อยละ 20 meq Oxygen / kg.

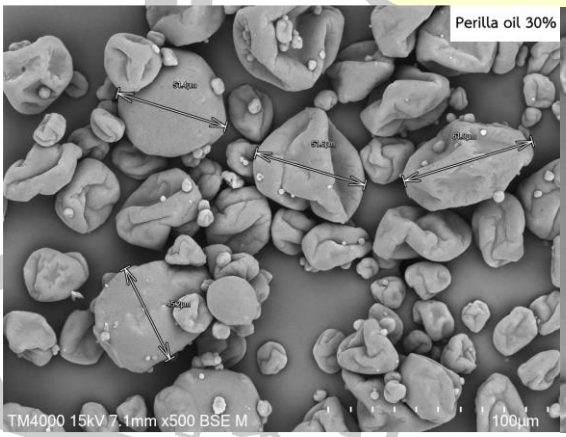
A



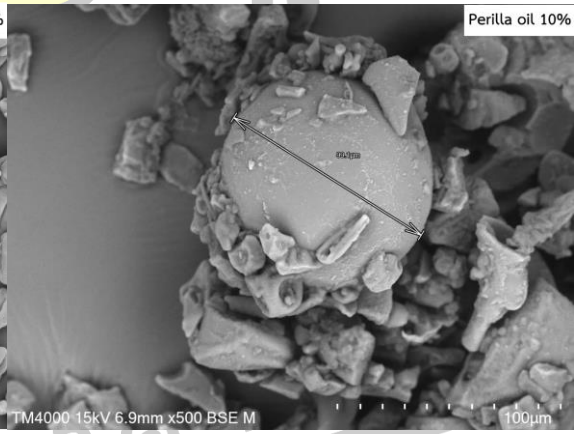
B



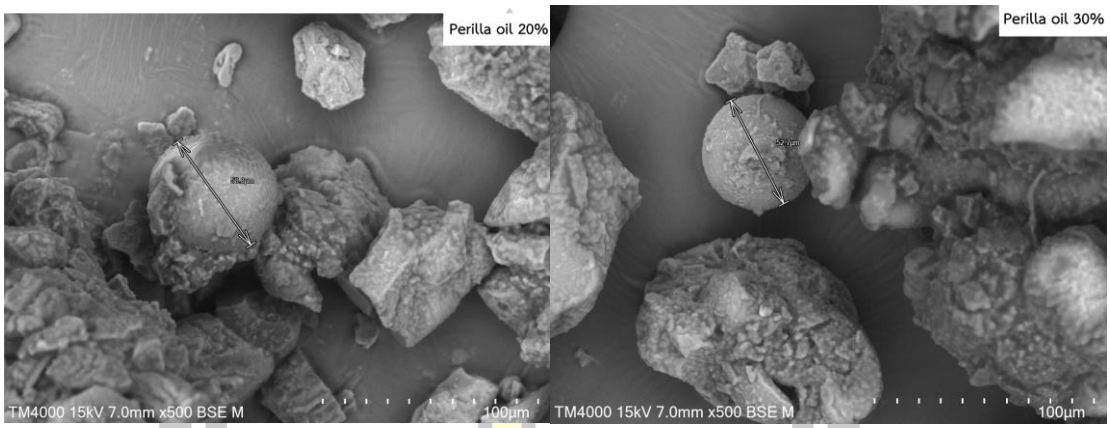
C



D



E F



ภาพประกอบที่ 15 ภาพแสดงอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 500x โดย A, B และ C คือ ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนที่วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย และ D E และ F ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนที่วิธีการฉีดพ่นฝอยด้วยขวดฉีดพ่นฝอยแล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อน 10 20 และ 30 % ตามลำดับ

4.3.4 ผลการศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์คุณค่าด้านกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน

Treatments	Parameters (n=3)					
	Viscosity (cP)	pH^{ns}	%TSS^{ns}	Color L*	a*	b*
***B1**	33.45±0.41^{e}	6.28±0.01	7.99±0.01	35.58±0.21^{d}	-3.07±0.06^{e}	8.72±0.14^{c}
B2	44.72±0.93^{b}	6.26±0.02	8.05±0.05	36.19±0.19^{d}	-2.24±0.04^{a}	9.49±0.12^{b}
B3	39.66±0.68^{d}	6.27±0.020	8.05±0.10	40.35±0.03^{a}	-2.97±0.03^{c}	8.91±0.05^{c}
B4	33.81±0.08^{e}	6.28±0.03	8.03±0.06	35.74±0.10^{d}	-3.05±0.08^{cd}	8.82±0.15^{c}
B5	46.04±0.08^{a}	6.25±0.01	8.35±0.39	39.69±0.10^{c}	-2.22±0.03^{a}	9.85±0.10^{a}
B6	41.10±0.92^{c}	6.26±0.02	8.16±0.05	36.99±0.16^{b}	-2.58±0.04^{b}	9.41±0.06^{b}

หมายเหตุ : Bx คือ สูตรในการผลิตน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design หน่วยเป็นร้อยละ, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c,d ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns ....อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)), X_1 = ปริมาณน้ำนมข้าวยาคู, X_2= ปริมาณไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน, *... = สูตรควบคุม

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของน้ำนมข้าวยาคู พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าของแข็งที่ละลายในน้ำของน้ำนมข้าวยาคูทุกสูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 12 โดยทั้ง 6 สูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.25-6.28 และค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ อยู่ในช่วง 8.99-8.16 °Brix กล่าวคือการเติมไมโครแคปซูลของน้ำมันงาขี้ม้อน ในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็น กรด-ด่าง และค่าของแข็งที่ละลายในน้ำของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ค่าความหนืด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 33.45-46.04 เซนติพอยด์ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว-แดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เติมไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนที่เติมในน้ำนมข้าวยาคู

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้าน ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 จากงาขี้ม้อน (สูตรเติมไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน)

Treatments	Parameters (n=50)				
	Appearance^{ns}	Color^{ns}	Flavour^{ns}	Texture	Overall
***B1**	6.00±0.64	6.08±0.57	6.38±0.93	6.34±0.47^{b}	7.24±1.04^{b}
B2	5.76±0.65	6.74±0.57	6.74±1.01	6.14±0.57^{c}	7.26±1.05^{b}
B3	6.06±0.65	6.02±0.55	6.86±1.03	6.66±0.53^{a}	8.06±0.71^{a}
B4	6.12±0.63	6.02±0.55	6.64±0.95	6.28±0.53^{b}	6.64±0.92^{c}
B5	6.10±0.58	6.04±0.54	6.22±0.93	6.12±0.97^{c}	6.64±0.92^{c}
B6	5.82±0.63	6.04±0.57	6.10±0.68	6.64±0.98^{a}	7.32±0.77^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c,d ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns ....อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)), *... = สูตรควบคุม

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสจากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 (สูตรเติมไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน) ทั้ง 6 สูตร ดังตารางที่ 13 ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น

รส ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะด้านเนื้อสัมผัส มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีเพียงสูตรที่ B4 และ B6 ที่ไม่พบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ($p > 0.05$) และด้านความชอบโดยรวม พบว่า สูตรที่ B2 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ($p > 0.05$) ในขณะที่สูตรอื่นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และสูตรที่ B3 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุด คะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงชอบมาก-ชอบมากที่สุด

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้าน ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 จากงาขี้ม้อน (สูตรเติมอิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน)

Treatments	Parameters (n=50)				
	Appearance^{ns}	Color^{ns}	Flavour^{ns}	Texture^{ns}	Overall
***B01**	6.20±0.55	6.21±0.45	6.07±0.58	6.80±0.71	7.53±0.68^{b}
B02	6.23±0.67	6.20±0.51	6.37±0.61	6.83±0.76	7.87±0.63^{b}
B03	6.27±0.68	6.24±0.50	6.40±0.62	6.85±0.78	8.02±0.72^{a}
B04	6.23±0.68	6.19±0.38	6.23±0.50	6.80±0.58	6.87±0.86^{cd}
B05	6.20±0.60	6.20±0.50	6.10±0.66	6.79±0.65	6.77±0.56^{cd}
B06	6.30±0.75	6.22±0.45	6.10±0.55	6.82±0.67	7.57±0.56^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c,d ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns ....อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)), *... = สูตรควบคุม

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสจากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 (อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) ทั้ง 6 สูตร ดังตารางที่ 14 ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะความชอบโดยรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และสูตรที่ B03 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุด คะแนนการยอมรับอยู่ในระดับชอบมาก

4.3.5 ผลศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บรักษาของน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

ตารางที่ 15 ผลศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน /อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรในท้องตลาด

องค์ประกอบ (%/100 g)	ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพ		
	สูตรเติมไมโครแคปซูล	สูตรเติมอิมัลชัน	สูตรในท้องตลาด
ความชื้น	79.67±0.21^{c}	81.61±0.09^{b}	86.37±0.16^{a}
โปรตีน	9.42±0.26^{a}	8.18±0.03^{b}	2.84±0.12^{c}
ไขมัน	1.58±0.59^{b}	1.12±0.12^{c}	2.80±0.02^{a}
ใยอาหาร	0.33±0.15^{a}	0.26±0.16^{b}	0.10±0.15^{c}
เถ้า	2.90±0.35^{a}	2.87±0.04^{a}	1.77±03^{b}
คาร์โบไฮเดรต	6.10±0.02^{a}	5.96±0.05^{b}	6.12±0.02^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c, ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (สูตรเติมไมโครแคปซูล และสูตรเติมอิมัลชั่น) และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรในท้องตลาด (ดังตารางที่ 15) พบว่า ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร มีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และเถ้า สูงกว่าผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรในท้องตลาด โดยมีปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 79.67-86.37 g/100g โปรตีน อยู่ในช่วง 2.84-9.42 g/100g ไขมัน อยู่ในช่วง 1.38-2.80 g/100g เส้นใยอาหาร (fiber) อยู่ในช่วง 0.10-0.33 g/100g เถ้า (ash) อยู่ในช่วง 1.77-2.90 g/100g และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) อยู่ในช่วง 5.96-6.12 g/100g ตามลำดับ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (สูตรเติมไมโครแคปซูล และสูตรเติมอิมัลชั่น) ยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลสระที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีปริมาณที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูในท้องตลาด ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC, Total phenolic compound) อยู่ในช่วง 2.08-2.14 (mg GAE /g DW) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC, Total flavonoid content) อยู่ในช่วง 1.24-1.28 (mg

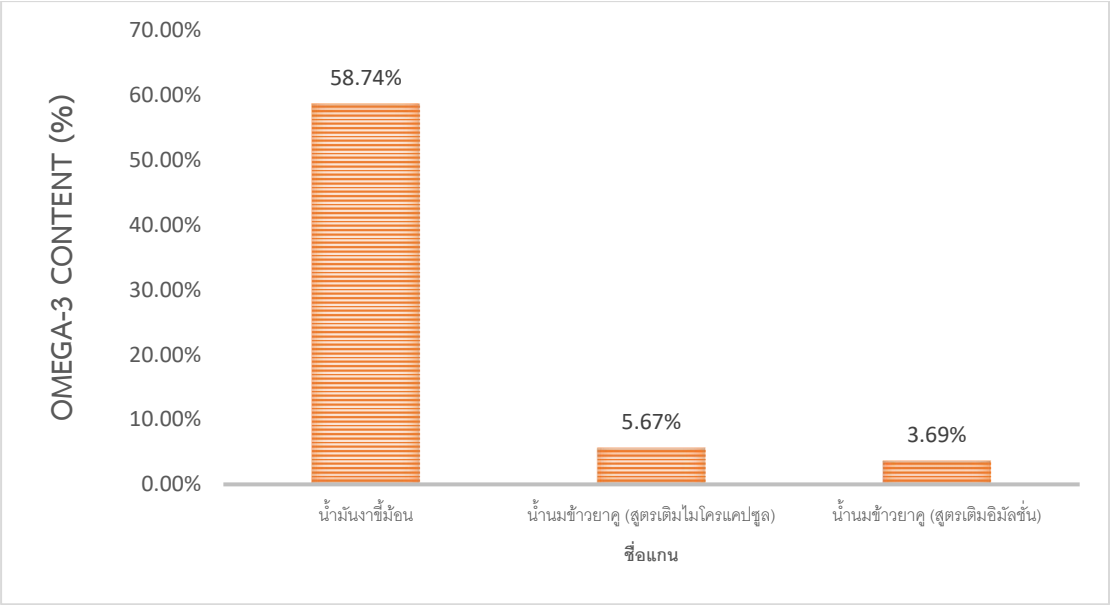
RE/g) ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ(DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazy) อยู่ในช่วง 12.31-12.55 (% inhibition), FRAP:Ferric reducing antioxidant power อยู่ในช่วง 3.94-4.35 (mmol FeSO4/g) ตามลำดับ ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน /อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรในท้องตลาด

องค์ประกอบ	**ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพ**		
	สูตรเติมไมโครแคปซูล	สูตรเติมอิมัลชั่น	สูตรในท้องตลาด
TPC (mg GAE/g)	2.08±0.03[a]	2.14±0.22[a]	1.19±0.04[b]
TFC (mg RE /g)	1.28±0.04[a]	1.24±0.04[a]	1.15±0.02[b]
DPPH (% inhibition)	12.55±0.05[a]	12.31±0.04[b]	11.15±0.05[c]
FRAP (mmol FeSO4/g)	4.35±0.04[a]	3.94±0.04[b]	3.32±0.08[c]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, a,b,c, ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 (Linolenic acid; 18:3 n-3) ในน้ำมันงาขี้ม้อน และผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน / อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) ดังภาพประกอบที่ 15 พบว่า น้ำมันงาขี้ม้อนมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 สูงถึง 58.74% และผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน /อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน) เท่ากับ 5.67% และ 3.69% ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อปริมาณที่ร่างกายควรได้รับ ซึ่งอยู่ที่ 0.5-1.6 กรัม/วัน (https://www.pobpad.com) และสอดคล้องกับวิจัยของ Siriamornpun, S., et al. (2006) และ Asif. M, (2011) ที่รายงานว่าพบกรดไขมัน omega-3 ในงาขี้ม้อน อยู่ในช่วง 54–64 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 16 ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำมันงาขี้ม้อน และผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน /อิมัลชั่นน้ำมันงาขี้ม้อน)

จากผลการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 45°C และ 55°C เป็นเวลา 1 เดือน ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (สูตรเติมไมโครแคปซูล และสูตรเติมอิมัลชั่น) ดังตารางที่ 17 พบว่าเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะห้อง และสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งยีสต์และรา ซึ่งนั่นหมายถึงผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมเมก้า-3 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเชื้ออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2557 และมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522

ตารางที่ 17 ผลการตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิห้อง และที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C เป็นเวลา 1 เดือน

อายุการเก็บรักษา (วัน)	**ปริมาณจุลินทรีย์**					
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/ml)			ยีสต์และรา (CFU/ml)		
	อุณหภูมิห้อง	45°C	55°C	อุณหภูมิห้อง	45°C	55°C
1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0

21	0.	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0.	0	0

หมายเหตุ: ถ้าปริมาณจุลินทรีย์ < 25 CFU/ml. ให้รายงานผลเป็น 0 CFU/ml.

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค โดยทำการศึกษาระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ระยะน้ำนมที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรพื้นฐาน โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวหอมมะลิ 105 ที่ปลูกในระบบอินทรีย์ จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านเหม้า อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ระยะการเจริญเติบโตหลังการดอก 12 14 16 และ 18 วัน เพื่อหาระยะข้าวที่เหมาะสมที่สุดในนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรพื้นฐาน จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design โดยการทดลองนี้ศึกษา 3 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 90-95) น้ำตาลทรายออแกนิค (x2 = 0-5) และ โปรตีนถั่วเหลือง (x3 = 0-5) ร่วมกับการใช้สารปรุงแต่งและส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปพัฒนาเป็นน้ำนมข้าวยาคูเสริโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนต่อไป จากนั้นศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งและปริมาณการเอนแคปซูเลทน้ำมันงาขี้ม้อน เพื่อนำไปเติมในน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อนที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 10 20 และ 30 ของน้ำหนักของแห้งทั้งหมด โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พร้อมเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design โดยการทดลองนี้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 93-99) และไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน (x2 = 1-7) แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที รวมทั้งประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส และศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

5.1 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

5.2 สมมติฐานของงานวิจัย

5.3 สรุปผล

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.1 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

5.1.1 เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของวัตถุดิบ (ข้าวอ่อน) ที่ระยะเวลาการเติบโตที่แตกต่างกัน

5.1.2 เพื่อศึกษาการห่อหุ้ม (Encapsulation) น้ำมันงาขี้ม้อนโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคู

5.1.3 เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมสารที่ห่อหุ้มกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

5.1.4 เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี-กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ การทดสอบทางประสาทสัมผัส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3

5.1.5 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

5.2 สมมติฐานของการวิจัย

5.2.1 ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของวัตถุดิบ (ข้าวหอมมะลิอ่อน) ที่ระยะเวลาการเติบโตต่างกัน จะมีปริมาณที่แตกต่างกัน

5.2.2 ได้สูตรพื้นฐานน้ำนมข้าวยาคู เพื่อนำไปพัฒนาในขั้นตอนเสริมสารที่ห่อหุ้มกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนได้

5.2.3 การห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อนสามารถเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในน้ำนมข้าวยาคูได้

5.2.4 ได้สูตรและกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนที่ผ่านการห่อหุ้ม ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

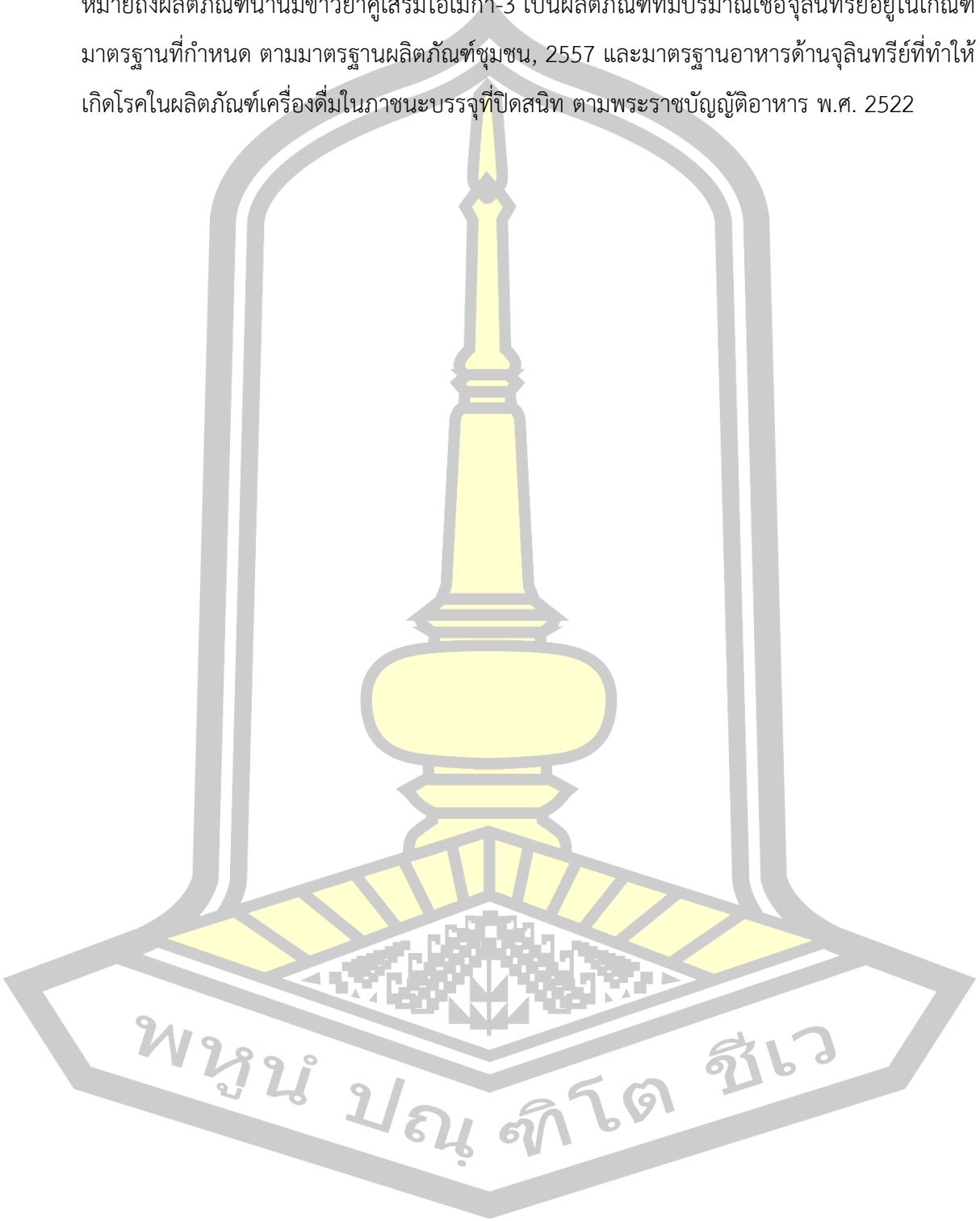
5.2.5 ได้ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิคที่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

5.3 สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค โดยทำการศึกษาระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ระยะน้ำนมที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรพื้นฐาน โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวหอมมะลิ 105 ปลูกในระบบอินทรีย์ ที่ระยะการเจริญเติบโตหลังการดอก 12 14 16 และ 18 วัน แล้วคัดเลือกระยะที่มีปริมาณสารต้านออกซิเดชั่นโดยรวมสูง และปริมาณน้ำนมข้าวสูงที่สุด ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูสูตรพื้นฐาน ซึ่งระยะหลังการดอกของข้าว 16 วัน เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-

Expert version 7 โดยการทดลองนี้ศึกษา 3 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 90-95) น้ำตาลทรายออแกนิค (x2 = 0-5) และ โปรตีนถั่วเหลือง (x3 = 0-5) ร่วมกับการใช้สารปรุงแต่งและส่วนผสมอื่น ๆ พบว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วนน้ำนมข้าว ร้อยละ 93.33 น้ำตาลทรายออร์แกนิค ร้อยละ 3.33 และโปรตีนถั่วเหลือง ร้อยละ 3.33 คือสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปพัฒนาเป็นน้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อนต่อไป เนื่องจากได้รับคะแนนการยอมรับด้าน กลิ่นรส และ ด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ถึง ชอบปานกลาง และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบมาก ถึงชอบมากที่สุด จากนั้นศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน โดยวิธีการทำแห้งและปริมาณการเอนแคปซูเลทน้ำมันงาขี้ม้อน เพื่อนำไปเติมในน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อนที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 10 20 และ 30 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พร้อมเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน พบว่า สูตรใช้ปริมาณน้ำมันงาขี้ม้อน ร้อยละ 20 ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสามารถในการละลายน้ำดีที่สุด ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปเติมในน้ำนมข้าวยาคูในต่อไป จากนั้นพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าวยาคู โดยใช้ Mixture Design ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7 เหมาะสม โดยการทดลองนี้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ น้ำนมข้าวยาคู (x1 = 93-99) และไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน (x2 = 1 -7) แล้วฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที พบว่า น้ำนมข้าวยาคู ร้อยละ 96.75 และไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ร้อยละ 3.25 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุด คะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงชอบมาก-ชอบมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (สูตรเติมไมโครแคปซูล และสูตรเติมอิมัลชั่น) มีปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 79.67-81.61 g/100g โปรตีน อยู่ในช่วง 8.18-9.42 g/100g ไขมัน อยู่ในช่วง 1.38-1.58 g/100g เส้นใยอาหาร (fiber) อยู่ในช่วง 0.26-0.33 g/100g เถ้า (ash) อยู่ในช่วง 2.87-2.90 g/100g และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) อยู่ในช่วง 5.96-6.10 g/100g ตามลำดับ และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC, Total phenolic compound) อยู่ในช่วง 2.08-2.14 (mg GAE /g DW) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC, Total flavonoid content) อยู่ในช่วง 1.24-1.28 (mg RE/g) ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazy) อยู่ในช่วง 12.31-12.55 (% inhibition), FRAP:Ferric reducing antioxidant power อยู่ในช่วง 3.94-4.35 (mmol FeSO4/g) ตามลำดับ และมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 เท่ากับ 5.67% และ 3.69% ตามลำดับ จากผลการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง, 45°C และ 55°C เป็นเวลา 1 เดือน ของผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 ทั้ง 2 สูตร (สูตรเติมไมโครแคปซูล และสูตรเติมอิมัลชั่น) พบว่าเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะห้อง และสภาวะ

เร่งที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งยีสต์และรา ซึ่งนั่นหมายถึงผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเสริมโอเมก้า-3 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2557 และมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมอนามัย. ตารางคุณทางโภชนาการอาหารไทย ส่วนที่กินได้ 100 กรัม กระทรวงสาธารณสุข 2001 กรุงเทพฯ : กองโภชนาการ

จุฑามาศ และเฉลิมพล. (2553). การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล Production of Healthy Beverage from “Homnil” Rice. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 43, ฉบับที่ 3. หน้า 395-402.

นภาพร วรรณรถ. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ. เล่มวิทยานิพนธ์. คณะเทคโนโลยี.มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร, 244 หน้า

นิศารัตน์ สุขเอม และ ปรัศนีย์ ทับใบแย้ม. 2552. การใช้หล่อฮั้งก๊วยแทนน้ำตาลมะพร้าวในผลติภัณฑ์วุ้นน้ำนมข้าวยาคู. สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร.

นิรนาม 1. 2557. ประโยชน์ของกรดไขมันโอเมกา-3 : Omega-3. สืบค้นจาก http://th.wikipedia.org/wiki/กรดไขมันโอเมกา-3.

มธุสร คัมมะกสิกิจ และ สรัญญา จิวประสาท. (2547). กระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำอ้อยสเตอริไลส์. โครงงานวิศวกรรมอาหาร: คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

วันเพ็ญ มีสมญา, เกศศิณี ตระกูลทิวากร, ไพลิน ผู้พัฒน์, และดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2004. การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากน้ำนมข้าวยาคูผง. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สุดาทิพย์ กองเพ็ชร. (2548). การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหอมมะลิ 105 และ ข้าว กข 15 ในเขตทุ่ง กุลาร้องไห้ ระหว่างการเก็บรักษา 3 เดือน และ 6 เดือน. รายงานปัญหาพิเศษ ปีการศึกษา 2548 . มหาสารคาม, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2560). แนวโน้มเศรษฐกิจโลก เศรษฐกิจไทย และภาวะการลงทุน ในปี 2560. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้ที่ http://www.kasikornasset.com/TH/MarketUpdate/Pages/Econ2017.aspx.

โอเมก้า 3 กินอย่างไรให้ดีและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ. สืบค้นจาก https://www.pobpad.com

AOAC. 2000. Official Method of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists,Washington D.C.

AOAC. Official methods of analysis 19th ed. Gaithersburg Maryland: Association of Official Chemists International, 2012.

Barbosa-Cánovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. and Yan, H. 2005 Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality. New York: Springer-Verlag, pp. 199-220.

Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Pablo, J. and Hong, Y. 2005. Encapsulation Process. Food Powder, 199-219.

Bhandari, B.R., Datt, N. and Howes, T. 1997. Problems associated with spay drying of sugar-rich foods. Drying Technology, 15(2): 671-684.

Carmen, S.S., Tapia, J.C. and Robert, P. 2009. Microencapsulation by spay drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Food Chemistry, 114: 616-622.

Chan, E. S. and Zhang, Z. 2002. Encapsulation of probiotic bacteria Lactobacillus acidophilus by direct compression. Food and Bioproducts Processing, 80, 78-82.

Gandhi AP. 2009. Review article on quality of soybean and its food products. International Food Research Journal 16:11-19.

Goodlife. 2018. รู้จัก ‘น้ำนมข้าวยาคู’ กับคุณประโยชน์เต็มๆ. สืบค้นจาก https://goodlifeforyou.com.

Jay M.James. 1998. *Modern Food Microbiology, An Aspen Publication*.

Karim, F.T., Ghafoor, K., Ferdosh, S., Al-Juhaimi, F., Ali, E., Yunus, K.B., Hamed, M.H., Islam, A., Asif, M. and Sarker, M.Z.I. 2017. Microencapsulation of fish oil using supercritical antisolvent process. Journal of food and drug analysis, 25: 654-666.

Khodke, S.U., Shinde, K.S. and Yenge, G.B. 2015. A study on storage of sterilized soymilk. International Journal of Farm Science 4(4): 166-179.

Kubola, J., and Siriamonpun, S. (2011). “Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng)”. Food Chemistry. 127, 1138-1145.

Madene, A., Muruek, J., Joel, S. and Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release-a review. International Journal of Food Science and Technology. 41: 1-21.

Öngen, G., Yilmaz, G., Jongboom, R. O. J. and Feil, H. 2002. Encapsulation of alpha-amylase in a starch matrix. Carbohydrate Polymers. 50: 1-5.

Reineccius, G. 2005. Flavor Chemistry and Technology. 2nd ed. New York: CRC Press. pp. 351-384.

Pobpad. 2016. โอเมก้า 3 (Omega 3). สืบค้นจาก https://www.pobpad.com.

Shahidi, F. and Han, X.Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 33(6): 501-547.

Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. Journal of Food Science, 63(3): 491-494.

Siew, Y.Q., Ngan, K.C. and Peter, S. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. Chemical Engineering and Processing, 46: 386-392.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก.1 การวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter)

วัดโดยใช้เครื่องวัดสี ยี่ห่อ Minotra รุ่น CR-300 เปิดเครื่องวัดสี โดยเทตัวอย่างลงใน ภาชนะวัดสี ให้มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร แล้ววางลงบนหัววัดสีและอ่านค่า แสดงผลการวัดในระบบ L* a* และ b* โดยการวัดค่าสีสุ่มวัดบนตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

เมื่อ L* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a* คือ ค่าสีแดง เมื่อ a* มีค่าบวก เป็นสีแดง เมื่อ a* มีค่าลบ เป็นสีเขียว

b* คือ ค่าสีเหลือง เมื่อ b* มีค่าบวก เป็นสีเหลือง เมื่อ b* มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก.2 การวัดความหนืดใช้เครื่องวัดความข้นหนืด (Viscometer)

ใช้เครื่องวัดความข้นหนืด(Brookfield Viscometer) ใช้หัววัดเบอร์ (spindle) 62 ที่ความเร็วรอบ (speed) 200 รอบต่อนาที (rpm) End แบบ ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างขณะวัดที่ 25°C รายงานในหน่วยเซนติพอยส์ (cP)

ก.3 การวัดความสามารถในการละลาย (solubility index) ตามวิธีของ A/S Niro Atomizer (1978)

1. เตรียมสารละลายผงไมโครแคปซูลให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
2. นำสารละลายนมผงไปให้ความร้อนที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที
3. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที
4. นำสารละลายไปเซนตริฟิวส์ที่ 700 g นาน 5 นาที
5. เติมนำ 20 มิลลิลิตรและเซนตริฟิวส์อีกครั้ง
6. อ่านปริมาณตะกอนที่ได้

ก.4 ค่าพีเอช ใช้ตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร วัดด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter) ที่ปรับ มาตรฐานก่อนใช้งานด้วยบัพเฟอร์ 4.0 และ 7.0

ก.5 การวัดประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมัน ใช้ไมโครแคปซูล 1 กรัม ลงในหลอด centrifuge 50 มล. และเติมเฮกเซน 15 มล. แล้วเขย่าเป็นเวลา 15 วินาทีเพื่อสกัดน้ำมันผิว จากนั้นตัวทำละลายจะถูกกรองสองครั้งผ่านกระดาษกรองเบอร์ 3 ด้วยตัวเฮกเซนในบีกเกอร์ 30 มล. และระเหยในตู้ดูดควันตลอดคืน จนเฮกเซนจะถูกกำจัดออกจนหมด โดยการให้ความร้อนในเตาอบลมร้อน ที่ 105 ºC เป็นเวลา 30 นาที น้ำมันบนผิวของไมโครแคปซูลถูกน้ามาค้านวณเพื่อหาประสิทธิภาพการกักเก็บ (EE) คำนวณโดยสูตรต่อไปนี (Anwar & Kunz, 2011):

$$EE = (\text{Total oil-Surface oil})/\text{Total oil} \times 100\%$$

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 ปริมาณความชื้น

นำชุด Moisture can เข้าอบในตู้อบ Hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 30 นาที นำมาใส่ Desicator ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่ง Moisture can พร้อมฝาบนเครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึงหน่วย มิลลิกรัม นำตัวอย่างใส่ Moisture can ประมาณ 3.000–5.000 กรัม แล้วปิดฝานำไปชั่งน้ำหนัก อย่างรวดเร็ว บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน หลังจากนั้นนำ Moisture can เปิดฝาใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำ Moisture can ออกจากตู้อบปิดฝาใส่ Desicator นาน 30 นาที หรือจนกระทั่งเย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ} = \frac{W1-W2}{W3} \times 100$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ข.2 ปริมาณเถ้า

นำถ้วย Crucible ก่อนใส่ตัวอย่างเผาในเตาเผา Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 30 นาที แล้วนำ Crucible ใส่ใน Desicator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่ง ตัวอย่างบนเครื่องชั่งละเอียดถึงหน่วยมิลลิกรัม ประมาณ 5.000 กรัม ลงในถ้วย Crucible เผาเถ้าให้ เป็นถ่านสีดำด้วย Hot plate ในตู้ควันโดยเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อยจนควันหมด จากนั้นเผาต่อในเตาเผา Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 °C นานข้ามคืน (อย่างน้อย 16 ชั่วโมง) แล้วนำเถ้าที่ได้ทิ้งให้เย็นใน Desicator แล้วนำไปชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า} = \frac{W2-W1 \times 100}{S}$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักถ้วย Crucible

W2 คือ น้ำหนักถ้วย Crucible และน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

S คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

ข.3 ปริมาณโปรตีน

ขั้นตอนการย่อย

ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1.000–3.000 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัม แล้วเติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20

มิลลิลิตร วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและ เครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 °C นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 °C ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น แล้วนำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอสังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{1.4007 \times N \times (A-B) \times F}{W}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ ค่าคงที่สำหรับอาหารหรือตัวอย่างอื่นๆ ที่ไม่ระบุเฉพาะ (6.25)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

ข.4 ปริมาณไขมัน

นำขวดกลมสำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งไว้ ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3-5 กรัม ห่อให้มิดชิดใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง จากนั้นนำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Soxhlet เติมสารตัวทำละลาย ปิโตรเลียม อีเทอร์ ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตา ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทช์ให้ความร้อน ปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลาย กลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออก จาก Soxhlet ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจาก Soxhlet ลงในขวดก้นกลมจนหมด ระเหยตัวทำละลายออกด้วย เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ แล้วนำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนแห้ง ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) $= \frac{W2 \times 100}{W1}$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ข.5 ปริมาณใยอาหาร

โดยการ ชั่งตัวอย่าง 10.000 กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน) (w_0) ใส่ ลงใน Crucible ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว และชั่ง Celite 545 อีก 1กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน) ตั้ง Crucible เข้ากบเครื่องวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยด้วยกรดกำมะถัน 1.25 % ประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ว หยด n-Octanol 2-3 หยด เพื่อลดฟอง แล้วต้มให้เดือดแล้วปรับเข็มควบคุมความร้อนที่เบอร์ 3 จนกระทั้งเวลาครบ 30 นาที กรองเอา Cold extraction ล้างด้วย Acetone 3 ครั้ง ๆละ 25 มิลลิลิตร นำไปอบแห้งที่ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (w1) เผาในเตาอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก (w2) แล้วนำไปวิเคราะห์ผล เปอร์เซ็นต์ปริมาณเยื่อใย = น้ำหนักแห้งของกาก – น้ำหนักเถ้า

ข.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยคำนวณจากค่า 100 หักด้วยค่าผลรวมที่ได้จาก การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยหยาบ และเถ้า เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต = 100 – [ความชื้น (%) +ไขมัน(%) +โปรตีน(%)+ เยื่อใย(%) + เถ้า(%)]

ข.7 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

1) การวิเคราะห์ปริมาณ Total Phenolic โดยวิธี Folin- Ciocalteus method (Zhou and Yu. 2004 : 1155-1162)

1.1) ปิเปตสารละลาย Gallic acid มาตรฐานในแต่ละความเข้มข้นอย่างละ 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารมาตรฐาน Folin-Ciocalteus reagent 0.5 ml ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติมสารละลาย sodium carbonate 20% (w/v) 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน Gallic acid

1.2) ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง อย่างละ 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารมาตรฐาน Folin- Ciocalteus reagent 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาเติมสารละลาย sodium carbonate 20% (w/v) 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้ง

ไว้ 15 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid เพื่อหาความเข้มข้นของ phenolic compound

2) การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยสารต้านอนุมูลอิสระเสถียร DPPH โดยใช้วิธี DPPH radical scavenging assay ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams, Cuvelier และ Berset. (1995 : 25-30)

เป็นวิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเบื้องต้น โดยดูถึงความสามารถในการจับ 2,2 diphemyl-1-picrylhydrazyl radical ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียร ถ้าสารสกัดสามารถจับกับ DPPH radical ได้สีของสารละลาย DPPH จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเป็นสีเหลือง ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 157 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

2.1) เตรียม 2,2 diphemyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล โดย 0.004 % DPPH ใน Ethanol แล้วนำไปผสมด้วยเครื่อง Vortex ปิดด้วยฟอยล์เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4℃

2.2) ทดสอบตัวอย่างสารสกัดโดยดูดสารสกัดอย่างละ 0.1 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง อย่างละ 3 หลอด จากนั้นปิเปิตสารละลาย DPPH ที่เตรียมไว้ใส่หลอดที่ใส่สารสกัดตัวอย่างไปแล้วหลอดละ 3 ml เพื่อให้ทำปฏิกิริยากัน แล้วทำการเขย่า ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

2.3) ทดสอบตัวอย่างโดยการดูดสารสกัดที่ทำการเตรียม และกรองแล้วมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นเป็น $5.00x10^{-2}$, $2.5x10^{-2}$, $1.25x10^{-2}$, $0.625x10^{-2}$,$03125x10^{-2}$ กรัม/มิลลิลิตร จากนั้นนำสารสกัดและ DPPH ที่เตรียมมาทำปฏิกิริยากัน โดยการปิเปตสารสกัดที่ทำการเจือจางแล้วอย่างละ 0.1 มิลลิลิตรโดยทำ 3 ซ้ำ แล้วดูดสาร DPPH หลอดละ 3 มิลลิลิตรผสมในหลอดทำปฏิกิริยา ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

2.4) ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารต้านอนุมลอิสระมาตรฐาน BHA ที่ทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระเสถียร (DPPH) ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร จะใช้ control คือสารละลายอนุมูลอิสระเสถียร (DPPH) และ blank คือ เอทานอล

2.5) คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ในแต่ละความเข้มข้น แต่ละตัวอย่างแล้วนำมาแทนค่าในสูตรหาประสิทธิภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในพืชตัวอย่าง ที่นำมาทดสอบ

$$\%\ \text{radical scavenging} = \frac{(A_{DPPH} - A_{SAMPLE}) \times 100}{A_{DPPH}}$$

เมื่อ A_{DPPH} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง

A_{SAMPLE} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

นำเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระทั้ง 5 ความเข้มข้นในแต่ละตัวอย่างไปทำ Standard curve เพื่อคำนวณหาค่า IC_{50} ของแต่ละตัวอย่าง

3) การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric reducing/antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงจากวิธีของ Benzie และ Strain (1996 : 70–76)

เป็นวิธีการวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีหลักการว่าสารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่โดยการให้อิเล็คตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระเป็นความสามารถร่วมในการรีดิวซ์ วิธีนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+} - TPTZ (ferric tripyridy triazine) เป็นสารทดสอบ อะตอมนี้จะถูกรีดิวซ์ โดยสารต้านอนุมูลอิสระ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+}-TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (โอภา วัชระคุปต์. 2549 : 62) โดยนำสารละลาย FRAP reagent ซึ่งเตรียมได้จากการนำ acetate buffer ความเข้มข้น 300 มิลลิโมล (pH 3.6) จำนวน 100 มิลลิลิตร สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมล จำนวน 10 มิลลิลิตร สารละลาย $FeCl_3 \cdot 6\ H_2O$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมล ในอัตราส่วน 10:1:1 และ เติมน้ำกลั่น 12 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์เริ่มจากการนำสารละลาย FRAP reagent จำนวน 1.8 มิลลิลิตร น้ำกลั่น จำนวน 180 ไมโครลิตร และสารสกัดจำนวน 60 ไมโครลิตร หรือ สารละลายมาตรฐาน ใส่ในหลอดทดลองนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้สารละลาย FRAP reagent เป็น blank แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ เพื่อหาความสามารถในการออกฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การทำกราฟมาตรฐาน $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ นำสารละลาย FRAP reagent จำนวน 1.8 มิลลิลิตร น้ำกลั่น จำนวน 180 ไมโครลิตร ปิเปตสารละลาย $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ในแต่ละความเข้มข้น (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มิลลิโมล) อย่างละ 60 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

4) สารฟีนอลิค

4.1) การสกัดสารฟีนอลิค

ตัวอย่าง 50 กรัม ผสมกับ เมทานอล: กรดไฮโดรคลอลิค (100:1,v/v) ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ปั่นให้เข้ากัน ทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในที่มืด จากนั้นนำมากรองและ centrifuged ที่ 4000 rpm/min และนำส่วนของ supernatant มาระเหยด้วยเครื่องระเหย ที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ทำการชะด้วย น้ำ:เอทานอล (80:20) ปริมาณ25 มิลลิลิตร นำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยผ่าน anhydrous sodium sulfate จากนั้นนำไประเหยที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส และปรับปริมาตรด้วย เมทานอล: น้ำ (50:50, v/v) ให้มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำมากรองผ่าน เมมเบรนขนาด 0.45 ไมโครเมตร ก่อนนำตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

4.2) การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิคด้วยเครื่อง HPLC

การแยกสารประกอบด้วยเครื่อง HPLC โดยการใช้คอลัมน์ C18 ขนาด 4.6 x 150 mm, 5 μm ส่วนเฟสเคลื่อนที่(mobile phase) เป็นระบบ gradient เฟสเคลื่อนที่ A คือ น้ำประกอบด้วยกรดอะซิตริก 3 เปอร์เซ็นต์ เฟสเคลื่อนที่ B ประกอบด้วย กรดอะซิตริก 3 เปอร์เซ็นต์ อะซีโตไนไตร 25 เปอร์เซ็นต์ และ น้ำ 72 เปอร์เซ็นต์ ในระบบ gradient ใน นาทีที่ 0-40 เฟสเคลื่อนที่ A 30% เฟสเคลื่อนที่ B 70% อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที นาทีที่ 40-45 เฟสเคลื่อนที่ A 20% เฟสเคลื่อนที่ B 80% อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที นาทีที่ 45-55 เฟสเคลื่อนที่ A 15% เฟสเคลื่อนที่ B 85% อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที นาทีที่ 55-57 เฟสเคลื่อนที่ A 10% เฟสเคลื่อนที่ B 90% อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ระบบการปฏิบัติงาน อุณหภูมิคอลัมน์ 20 องศาเซลเซียส ปริมาตรในการฉีด 20 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย UV –diode array detector ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ภาคผนวก ค
การยอมรับทางประสาทสัมผัส

การยอมรับทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน เป็นนิสิตและ บุคลากรในคณะเทคโนโลยี 50 คน ประเมินความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมด้วยแบบทดสอบ 9-point hedonic scale (1=ไม่ชอบมากที่สุด และ 9=ชอบมากที่สุด)

ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามความชอบของผู้บริโภคของน้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค

ชุดที่.....

ชื่อ..... วันที่.....ผลิตภัณฑ์.....

ตอนที่ 1 แบบประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 Point-Hedonic Scaling เพื่อใช้ในการทดสอบความชอบและการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

คำแนะนำ : โปรดทดสอบผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) ขอให้ท่านประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย √ ในช่อง ☐ ที่กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังแสดงด้านล่างนี้ตามความรู้สึกของท่าน ขอให้ท่านดื่มน้ำทุกครั้งก่อนทดสอบชิมตัวอย่างต่อไป

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

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะความชอบ				
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ยอมรับโดยรวม

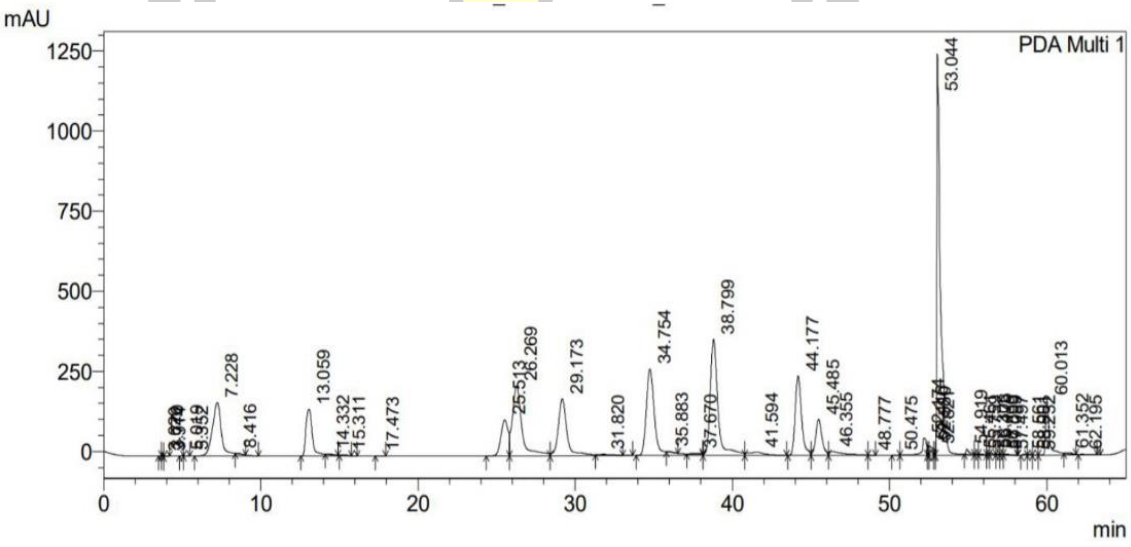
ข้อเสนอแนะ.....

.....

ขอบคุณทุกท่านที่ได้สละเวลา และให้ความร่วมมือเต็มที่ในการทดสอบครั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค

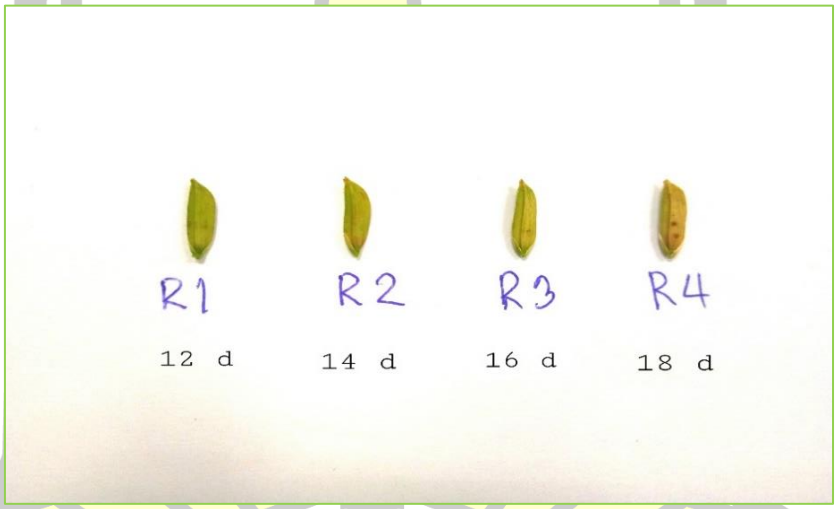
ภาคผนวก ง

ภาพประกอบการวิจัย



ภาพประกอบที่ 17 โครมาโตแกรมของ Standard phenolic acid วิเคราะห์โดยใช้ HPLC

ภาพประกอบที่ 18 ข้าวหอมมะลิ (อินทรีย์) ระยะการออกดอก



ภาพประกอบที่ 19 เมล็ดข้าวหอมมะลิ ในระยะ 12, 14, 16, และ 18 วันหลังข้าวออกดอก

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบที่ 20 ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค ในขั้นตอนการเสริมโอเมก้า-3 จากน้ำมันงาขี้ม้อน

ภาพประกอบที่ 21 ผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวยาคูเพื่อสุขภาพจากข้าวออร์แกนิค

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาว ฤทัยวรรณ วงค์ตลาด
วันเกิด	วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2537
สถานที่เกิด	อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	92 หมู่ 3 ตำบลโคกกกม่วง อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด 45110
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2560 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2564 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท 2562 และ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านเหม้า จังหวัดร้อยเอ็ด
ผลงานวิจัย	-

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว