

การผลิตน้ำทุเรียนที่มีปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์สูง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF DURIAN DRINK WITH HIGH FRUCTOOLIGOSACCHARIDE CONTENT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2022
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตน้ำทุเรียนที่มีปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์สูง
โดย	น.ส.นันทชพร ไชยชนะ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา พ่วงประพันธ์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครกุล)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิดา โชติช่วง)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)	

นันทชัยพร ไชยชนะ : การผลิตน้ำทุเรียนที่มีปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูง. (PRODUCTION OF DURIAN DRINK WITH HIGH FRUCTOOLIGOSACCHARIDE CONTENT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.กิติพงษ์ อัครกุล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเอนไซม์ Pectinex® Ultra SL-L ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียนเข้มข้น 15% w/w โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และแปรรยะเวลาในการบ่ม 2, 4, 8, 24 และ 48 ชั่วโมง ศึกษาผลของการเติมนมต่อความคงตัวของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดสารห่อหุ้ม (มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อย, มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกับกัมอาระบิก และกัมอาระบิก) และอุณหภูมิเข้า (140 และ 160 องศาเซลเซียส) โดยผลการทดลองพบว่าการใช้เอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียนมีปริมาณลดลงและมีปริมาณ fructooligosaccharide (FOS) เพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาการบ่มไม่ส่งผลต่อปริมาณ FOS อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และเลือกระยะเวลาบ่มที่เวลา 2 ชั่วโมง ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป และจากผลการศึกษาคงตัวของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียนพบว่าน้ำทุเรียน น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ น้ำทุเรียนผสมนม และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์ มีปริมาณน้ำตาลซูโครสและ FOS ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา มีปริมาณเพิ่มขึ้นน้อยกว่า $4 \log \text{CFU/mL}$ โดยน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีค่าพีโรโอติกแอกทิวิตีมากที่สุด และเลือกน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ไปใช้ในการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย จากการทดลองพบว่าทุกปัจจัยในภาวะการผลิตผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าผงไมโครแคปซูลมีสีเหลืองสว่างปนเขียวอ่อน มีร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง $48.94 \pm 0.90\%$ ถึง $64.50 \pm 1.86\%$ มีความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 6% และ 0.3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง $81.53 \pm 4.65\%$ ถึง $94.21 \pm 5.58\%$ มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารต้านอนุมูลอิสระในช่วง $88.63 \pm 0.20\%$ ถึง $97.28 \pm 0.14\%$ และผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าผงไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้มมีลักษณะรูปร่างทรงกลม พื้นผิวเรียบมากกว่าสารห่อหุ้มชนิดอื่น ในขณะที่ผงไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิกและกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบและมีรอยบุบโดยรอบ เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มและมีอุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ $38.03 \pm 1.66 \text{ mg GAE/100g db}$, $198.06 \pm 11.3 \text{ mM TE /g db}$ และ $129.44 \pm 6.33 \text{ mM TE/g db}$ ตามลำดับ งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตและเก็บรักษาผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่มีพีโรโอติกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงเพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพต่อไป

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6372009623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD: Durian, fructooligosaccharide, FOS, encapsulation, antioxidant activity

Nantachaporn Chaichana : PRODUCTION OF DURIAN DRINK WITH HIGH FRUCTOOLIGOSACCHARIDE CONTENT. Advisor: Assoc. Prof. KITIPONG ASSATARAKUL, Ph.D.

The objectives of this research were; 1) to study effects of Pectinex® Ultra SP-L enzyme on reduction of sucrose content and an increase in prebiotic (fructooligosaccharide or FOS) of 15% (w/w) durian drink by varying incubation period of 2, 4, 8, 24 and 48 h at 55 °C, 2) to study effects of milk addition on stability of antioxidant properties in durian drink during storage for 15 days at 4 °C, and 3) to investigate the effects of encapsulation by spray drying on physical and chemical properties and antioxidant properties by varying coating material (resistant-maltodextrin, resistant-maltodextrin mixed with gum Arabic and gum Arabic) and inlet temperature (140 and 160 °C) The results showed that using Pectinex® Ultra SP-L enzyme was able to reduce sucrose content in durian drink and also increase FOS with no significant differences among incubation periods ($p>0.05$). The optimal incubation time (2 h) was chosen for further experiment. Milk addition caused reduction in the sucrose content, FOS content, total phenolic compound and antioxidant activity as storage period increased ($p>0.05$) while the total plate count and yeast and mold count increased with less than 4 log CFU/mL at the end of storage. In addition, sample treated with addition of enzyme to durian drink with milk showed the highest prebiotic activity and this sample was chosen for encapsulation by spray drying experiment. According to encapsulation experiment, the results showed that coating material and inlet temperature significantly affected the physical and chemical properties and antioxidant activity ($p\leq 0.05$) of durian drink microcapsule. The sample was bright yellow and light green. The yield (%) ranged from 48.94±0.90 to 64.50±1.86%. Moisture content and water activity were below 6% and 0.3, respectively. Water solubility ranged from 81.53±4.65 to 94.21±5.58% and encapsulation efficiency ranged from 88.63±0.20 to 97.28±0.14%. The results from scanning electron microscope (SEM) showed that using resistant-maltodextrin as a coating material had a spherical shape and smoother than other coating materials while microcapsule from resistant-maltodextrin mixed with gum Arabic and gum Arabic alone had rough surface with surrounding dents. Microcapsules from gum Arabic with inlet temperature of 140 °C had the highest total phenolic content (38.03±1.66 mg GAE/100g db) and antioxidant activity by DPPH (198.06±11.3 mM TE /g db) and FRAP (129.44±6.33 mM TE/g db) assays. In conclusion, this research could be used a guideline for development of functional drink with high prebiotic and antioxidant activity.

Field of Study: Food Technology

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” และโครงการ “กลยุทธ์เชิงเศรษฐกิจหมุนเวียนสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงต่างๆ จากผลทุเรียน” ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ อัครตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ และคอย ชี้แนะข้อบกพร่องแก้ไขต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มงานวิจัยจนสิ้นสุดงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา พวงประพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิดา โชติช่วง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังให้ คำแนะนำแก่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณบัณฑิตศึกษาวิทยาลัย และภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้สนับสนุนทุนอุดหนุนการศึกษา "วิทยบัณฑิต" สำหรับค่าเล่าเรียนตลอด 4 ภาค การศึกษา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน สำหรับให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อน ๆ ทั้งในและนอกหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต พี่ ๆ หลักสูตรปริญญาดุขภูมบัณฑิต ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจเสมอมา

นันท์ชพร ไชยชนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 ทูเรียน (Durian).....	3
2.1.1 ทูเรียนพันธุ์หมอนทอง (Monthong Durian).....	4
2.2 Pectinex Ultra SP-L®.....	6
2.3 Fructooligosaccharide (FOS).....	7
2.4 เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (Functional drink).....	9
2.5 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds).....	10
2.6 อนุมูลอิสระ (free radical).....	11
2.6.1 Oxygen-centered radicals.....	12
2.6.2 Carbon-centered radicals.....	12
2.6.3 Nitrogen-center free radicals.....	12
2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant).....	12
2.8 กลไกการต้านอนุมูลอิสระ.....	13
2.8.1 การดักจับอนุมูลอิสระ (free radical scavenging).....	13

2.8.2	ยับยั้งการทำงานของ (singlet oxygen quenching (1O_2)).....	13
2.8.3	การจับกับโลหะที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelating).....	13
2.8.4	ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibitor).....	14
2.8.5	หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking).....	14
2.8.6	การเสริมฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ (synergism).....	14
2.9	การวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ	15
2.10	เอนแคปซูลชัน (Encapsulation technology).....	15
2.10.1	Simple microcapsule	16
2.10.2	Matrix encapsulation หรือ Multi-core.....	17
2.10.3	Multi-wall หรือ control release.....	17
2.10.4	มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อย (resistant maltodextrin)	18
2.10.5	กัมอาระบิก (gum arabic)	20
2.11	การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)	22
บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย	25
3.1	การเตรียมตัวอย่างน้ำทุเรียน.....	27
3.2	การศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียน	27
3.3	การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำทุเรียน.....	27
3.4	การศึกษาผลของการเติมนมต่อคุณภาพและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำทุเรียนใน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเย็น.....	28
3.5	การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย	28
3.6	การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	29
บทที่ 4	ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	30
4.1	การศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียน	30

4.1.1 ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS).....	30
4.2 การศึกษาผลของการเติมนมต่อคุณภาพและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียน.....	32
4.2.1 ค่าสี L*, a* และ b* ของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษา	32
4.2.2 ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ในน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษา.....	34
4.2.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำทุเรียน	37
4.2.5 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำทุเรียน	39
4.2.6 สมบัติความเป็นพรีไบโอติกของน้ำทุเรียน	41
4.3 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	42
4.3.1 ร้อยละผลผลิต (%yield).....	42
4.3.2 ปริมาณความชื้น (%moisture content) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a _w).....	44
4.3.3 ค่าสี L*, a* และ b*	46
4.3.4 ความสามารถในการละลายน้ำ (% solubility)	47
4.3.5 ประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%Encapsulation Efficiency, %EE).....	48
4.3.6 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	50
4.3.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compound).....	54
4.3.8 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP.....	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	58
ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก	72
ก.1 ปริมาณความชื้น (%moisture content) ตามวิธีของ AOAC (2000)	72

ก.2 ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) ตามวิธีของ AOAC (2000)	72
ก.3 ค่าสี ระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง Chroma meter	72
ก.4 ผลผลิตร้อยละที่ได้ (%encapsulation yield) ดัดแปลงจากวิธีของ Ramakrishnan และ คณะ (2018).....	72
ก.5 ประสิทธิภาพการกักเก็บของสารต้านอนุมูลอิสระ (%Encapsulation Efficiency, %EE) ดัดแปลงจากวิธีของ Saénz และคณะ (2009).....	73
ก.6 ความสามารถในการละลาย (%solubility) ดัดแปลงวิธีจาก Wang และคณะ (2020)	73
ก.7 ลักษณะรูปร่างภายนอกของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	74
ภาคผนวก ข	75
ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry ดัดแปลงจากวิธี Slinkard และคณะ (1997).....	75
ข.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ดัดแปลงตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995).....	77
ข.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงวิธีจาก Benzie และ Strain (1996)	80
ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ด้วยเทคนิค HPLC- ELSD ดัดแปลงตามวิธีของ Pinsorn และคณะ (2018)	83
ภาคผนวก ค	87
ค.1 การวิเคราะห์สมบัติการเป็นพรีไบโอติก (prebiotic activity) ของ fructooligosaccharide (FOS) ดัดแปลงวิธีจาก Huebner และคณะ (2007)	87
ค.2 การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด.....	88
ค.3 การตรวจนับปริมาณยีสต์และรา.....	89
ภาคผนวก ง.....	90
ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม.....	90
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองสุก หนัก 100 กรัม.....	5
ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับต่างๆของการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย .29	29
ตารางที่ 3 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของน้ำทุเรียนวันที่ 0 และวันที่ 15	33
ตารางที่ 4 ค่า ΔE^* ของน้ำทุเรียนเปรียบเทียบวันที่ 0 และวันที่ 15.....	34
ตารางที่ 5 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน	40
ตารางที่ 6 ค่าพีอีไปโอติกแอกทิวิตีของน้ำทุเรียน.....	42
ตารางที่ 7 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	47
ตารางที่ 8 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox.....	78
ตารางที่ 9 วิธีเตรียมสารละลายมาตรฐาน $FeSO_4$ ความเข้มข้นต่างๆ.....	82

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ลักษณะของผลและเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง.....	4
ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของพรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จากชูโครส.....	7
ภาพที่ 3 การสร้างพรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จากชูโครสโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและทรานส์พรักโทซิลชัน.....	8
ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีหลักของสารประกอบฟีนอลิก.....	10
ภาพที่ 5 กลไกการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารกลุ่มฟีนอลิก.....	10
ภาพที่ 6 การทำงานของวิตามินอีในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน.....	14
ภาพที่ 7 โครงสร้างอนุภาคของไมโครแคปซูล.....	16
ภาพที่ 8 ไมโครแคปซูลชนิด simple microcapsule.....	16
ภาพที่ 9 ไมโครแคปซูลชนิด Matrix encapsulation หรือ Multi-core.....	17
ภาพที่ 10 ไมโครแคปซูลชนิด Multi-wall หรือ control release.....	17
ภาพที่ 11 โครงสร้างเคมีของมอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อย (resistant maltodextrin).....	19
ภาพที่ 12 กัมอาระบิกจากต้นอากาเซีย.....	20
ภาพที่ 13 โครงสร้างทางเคมีของกัมอาระบิก.....	21
ภาพที่ 14 เทคนิคการเอนแคปซูลเลชันโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dry technology).....	22
ภาพที่ 15 ประเภททิศทางการไหลของตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่องและอากาศลมร้อน (Type of spray dryers).....	23
ภาพที่ 16 พื้นที่ใต้กราฟของน้ำตาลชูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ในน้ำทุเรียนที่เติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ที่บ่มด้วยระยะเวลาต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC-ESLD.....	30
ภาพที่ 17 ปริมาณของน้ำตาลชูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ในน้ำทุเรียนที่เติมและไม่เติมเอนไซม์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง.....	31
ภาพที่ 18 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำทุเรียนระหว่างเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน.....	36

ภาพที่ 19	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน.....	37
ภาพที่ 20	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน.....	38
ภาพที่ 21	ร้อยละผลผลิตทั้งหมด (% yield) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	44
ภาพที่ 22	ปริมาณความชื้น (% moisture content) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน	45
ภาพที่ 23	ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	46
ภาพที่ 24	ความสามารถในการละลายน้ำ (% solubility) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	48
ภาพที่ 25	ประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%EE) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	50
ภาพที่ 26	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า (ซ้ายไปขวาตามลำดับ) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตจาก a) มอลโตเด็กเต็กซ์ตรินต้านทานการย่อย b) มอลโตเด็กเต็กซ์ตรินต้านทานการย่อยผสมกับอาระบิก และ c) กัมอาระบิก ที่อุณหภูมิขาเข้า 140 องศาเซลเซียส.....	52
ภาพที่ 27	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า (ซ้ายไปขวาตามลำดับ) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตจาก a) มอลโตเด็กเต็กซ์ตรินต้านทานการย่อย b) มอลโตเด็กเต็กซ์ตรินต้านทานการย่อยผสมกับอาระบิก และ c) กัมอาระบิก ที่อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส.....	53
ภาพที่ 28	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน	55
ภาพที่ 29	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	56
ภาพที่ 30	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	56
ภาพที่ 31	กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu.....	77
ภาพที่ 32	กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH).....	80
ภาพที่ 33	กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP).....	83

ภาพที่ 34 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส.....	84
ภาพที่ 35 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลฟรักโทส.....	84
ภาพที่ 36 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส	85
ภาพที่ 37 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลคีโตส.....	85
ภาพที่ 38 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลนีโอโทส.....	86
ภาพที่ 39 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อร้อยละผลผลิต (%yield) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน	90
ภาพที่ 40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	90
ภาพที่ 41 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อปริมาณความชื้น (moisture content) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน	91
ภาพที่ 42 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย (%solubility) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	91
ภาพที่ 43 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่าสี L^* ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน	92
ภาพที่ 44 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่าสี a^* ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	92
ภาพที่ 45 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่าสี b^* ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน	93
ภาพที่ 46 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%Encapsulation Efficiency, %EE) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน	93
ภาพที่ 47 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	94
ภาพที่ 48 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน.....	94

ภาพที่ 49 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารท่อนุ่มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของผงไม้ไคร้แคปซูลน้ำทุเรียน.....95



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากลักษณะการใช้ชีวิตที่ต้องแข่งขันกับเวลา มีความเร่งรีบ รวมถึงการเน้นความสะดวกรวดเร็ว ส่งผลให้การออกกำลังกายและใส่ใจในสุขภาพของผู้บริโภคน้อยลง จึงให้ความสำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่นอกจากรับประทานเพื่อให้อิ่มและมีรสชาติที่แล้ว ยังต้องสามารถส่งเสริมสุขภาพด้วย เครื่องดื่มฟังก์ชัน (functional drink) หรือเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ มีการเติมคุณค่าทางโภชนาการที่มีประโยชน์ต่อร่างกายลงไป เพื่อเสริมสร้างสุขภาพ บำรุงร่างกาย หรือป้องกันการเกิดโรคต่างๆ

ทุเรียน (Durian) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Durio zibethinus* Murray เป็นผลไม้เขตร้อนชื้น เจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการปลูกทุเรียนจำนวนมาก โดยทั่วไปทุเรียนจะมีลักษณะกลมหรือรีขนาดใหญ่มากตามแต่ละสายพันธุ์ ทุเรียนได้รับการขนานนามว่าเป็นราชาแห่งผลไม้ (King of fruit) เนื่องจากมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการบริโภค อีกทั้งทุเรียนยังเป็นหนึ่งในผลไม้เศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย โดยในปี 2564 ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีปริมาณในการส่งออกไปยังต่างประเทศมากกว่าผลไม้ชนิดอื่น ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกทุเรียนสูงถึง 3.5 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา และมีอัตราการขยายตัวของการส่งออกทุเรียนสูงถึงร้อยละ 68 โดยมีตลาดเศรษฐกิจหลักคือ ประเทศจีน ฮองกง และเวียดนาม (จิตติมา และ วิศวานันท์, 2565)

ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (Monthong Durian) เป็นทุเรียนสายพันธุ์หนึ่งที่เป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศไทย มีกลิ่นหอมและรสชาติหวานมันเป็นเอกลักษณ์ เนื้อของผลทุเรียนมีปริมาณน้ำตาล คุณค่าทางโภชนาการและให้พลังงานสูง อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุ และพบสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น พอลิฟีนอล (polyphenol) สารต้านอนุมูลอิสระ ที่ช่วยป้องกันการเกิดไขมันอุดตันในเส้นเลือดและต่อต้านการทำลายของอนุมูลอิสระ และป้องกันการเกิดโรค เป็นต้น

การแปรรูปเนื้อทุเรียนให้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำตาลเป็นสำคัญ เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจต่อสุขภาพและเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ส่งเสริมสุขภาพ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มได้มีการใช้เทคโนโลยีการลดปริมาณน้ำตาลในน้ำผลไม้ด้วยการใช้เอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็น fructooligosaccharide (FOS) ซึ่ง FOS จัดเป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลที่มีรสชาติคล้ายกัน อีกทั้งยังให้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับน้ำตาลกลูโคส นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์ภายในลำไส้ที่ช่วยส่งเสริมให้มีสุขภาพดี

เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชันเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยรักษาและป้องกันสารสำคัญที่อาจเกิดการสูญเสียออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ โดยเฉพาะสารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีความไวต่อสภาพสิ่งแวดล้อม จึงต้องมีกระบวนการในการกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กลิ่น และสีไว้ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและมีการสูญเสียเกิดขึ้น โดยสารสำคัญที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ชั้นบาง ๆ ที่สามารถป้องกันสารสำคัญหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสภาพแวดล้อมภายนอกหรืออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม และปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาได้เมื่อต้องการที่อยู่ในรูปของไมโครแคปซูล โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลชันมักอยู่ในรูปของของเหลว ดังนั้นจึงมีการนำกระบวนการทำแห้งเข้าร่วมในการผลิตด้วยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพ มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น อีก

ทั้งยังง่ายและสะดวกในการขนส่ง การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งเป็นการกักเก็บสารสำคัญในรูปแบบผง และสามารถปกป้องสารสำคัญหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดี มีความเสถียร และละลายน้ำได้ดี

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียนและเพิ่มปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide, FOS) ศึกษาผลของการเติมนมต่อคุณภาพและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียน และศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูล (encapsulation) น้ำทุเรียนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) โดยแปรชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้า



บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

2.1 ทูเรียน (Durian)

ทูเรียน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Durio zibethinus* Murray อยู่ในวงศ์ Bombacaceae มีลักษณะเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนและมีความชื้นเหมาะสม มีทรงพุ่มแผ่กว้าง ใบเป็นใบเดี่ยวที่กระจายทั่วกิ่ง ไม่มีการผลัดใบเมื่อเปลี่ยนฤดูกาล ดอกเป็นลักษณะช่อเป็นดอกสมบูรณ์เพศ รูปร่างดอกคล้ายระฆัง โดยทั่วไปทูเรียนจะออกผลเมื่อมีอายุต้น 4-5 ปี ผลเป็นชนิดผลเดี่ยว ที่เปลือกมีหนามแหลม เมื่อแก่ผลจะมีสีเขียวและเมื่อสุกจะมีสีน้ำตาลอ่อน โดยเนื้อในผลจะมีลักษณะแยกเป็นส่วนเรียกว่าพู มีสีเหลืองอ่อนจนถึงเหลืองอมส้ม ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ เมื่อผลอ่อนจะมีเนื้อที่แข็งและเมื่อสุกจะมีลักษณะนิ่ม มีรสหวาน เมล็ดมีเยื่อหุ้ม กลมรี เปลือกหุ้มมีสีน้ำตาลผิวเรียบ เนื้อด้านในเมล็ดมีสีขาวสามารถนำไปขยายเพาะพันธุ์ต่อไป (จิราภรณ์ และคณะ, 2561) แหล่งปลูกทูเรียนในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี จังหวัดตราด จังหวัดระยอง จังหวัดชุมพร และจังหวัดสุราษฎร์ธานี (ทรงพล, 2531)

ในประเทศไทยมีสายพันธุ์ทูเรียนที่ได้รับการปลูกหลากหลายสายพันธุ์ โดยมีทั้งหมด 6 กลุ่ม จำแนกตามลักษณะของใบและผล ดังนี้

1. กลุ่มกบ มีลักษณะรูปทรงใบเป็นรูปไข่ ปลายใบแหลมโค้ง ผลมีลักษณะกลม กลมรี และกลมแป้น ตัวอย่างสายพันธุ์ทูเรียนในกลุ่มนี้ เช่น กบแม่เผ่า กบพิกุล กบพวง
2. กลุ่มลวง มีลักษณะรูปทรงใบเป็นป้อมกลางใบ ปลายใบเรียวแหลม ผลมีลักษณะทรงกระบอก และรี ตัวอย่างสายพันธุ์ทูเรียนในกลุ่มนี้ เช่น ชะนี ชะนีก้านยาว ลวงทอง
3. กลุ่มก้านยาว มีลักษณะรูปทรงใบเป็นป้อมปลายใบ ปลายใบเรียวแหลม ผลมีลักษณะกลม และรูปไข่กลับ ตัวอย่างสายพันธุ์ทูเรียนในกลุ่มนี้ เช่น ก้านยาว ก้านยาวพวง ชมภูบาน
4. กลุ่มกำป่น มีลักษณะรูปทรงใบยาวเรียว ปลายใบเรียวแหลม ผลมีลักษณะขอบขนาน ตัวอย่างสายพันธุ์ทูเรียนในกลุ่มนี้ เช่น หมอนทอง กำป่นขาว กำป่นเหลือง กำป่นแดง
5. กลุ่มทองย้อย มีลักษณะรูปทรงใบแบบป้อมปลายใบ ปลายใบเรียวแหลม ผลมีลักษณะรูปไข่ ตัวอย่างสายพันธุ์ทูเรียนในกลุ่มนี้ เช่น ทองย้อยเดิม ทองย้อยฉัตร ฉัตร
6. กลุ่มเบ็ดเตล็ด เป็นกลุ่มที่มีลักษณะไม่แน่ชัด อาจเหมือนกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 5 กลุ่มแรก หรือมีลักษณะที่แตกต่างออกไป ตัวอย่างสายพันธุ์ทูเรียนในกลุ่มนี้ เช่น พวงมณี ทองนพคุณ เม็ดในก้านยาว

ทูเรียนสายพันธุ์ที่ได้รับการส่งเสริมจากภาคการเกษตร ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคส่งผลให้มีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมากเพื่อจำหน่ายทั้งภายในและส่งออกนอกประเทศ จนกลายเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย ได้แก่ ทูเรียนสายพันธุ์หมอนทอง ทูเรียนสายพันธุ์ก้านยาว ทูเรียนสายพันธุ์ชะนี และทูเรียนสายพันธุ์กระดุม (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2565)

2.1.1 ทูเรียนพันธุ์หมอนทอง (Monthong Durian)

ทูเรียนพันธุ์หมอนทอง (Monthong Durian) เป็นทูเรียนสายพันธุ์หนึ่งที่เป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศไทย อยู่ในกลุ่มกำป่น มีรูปร่างทรงผลยาว มีเปลือกบาง เนื้อของทูเรียนมีขนาดหนา พูมีลักษณะชัดเจน (ภาพที่ 1) และทูเรียนมีราคาสูงเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีผลผลิตตามฤดูกาล มีระยะในการจำหน่ายผลผลิตที่จำกัด ทำให้ทูเรียนหมอนทองจึงมีราคาสูง



ภาพที่ 1 ลักษณะของผลและเนื้อทูเรียนพันธุ์หมอนทอง

ที่มา: ฐานข้อมูลออนไลน์ สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2565 จาก

<https://farmchannelthailand.com/main/ผักสลัด/หมอนทอง.html>

เนื้อของทูเรียนมีกลิ่นหอมและรสชาติหวานมันเป็นเอกลักษณ์ เนื้อของผลทูเรียนมีคุณค่าทางโภชนาการ และให้พลังงานสูง ดังแสดงในตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีประเภทคาร์โบไฮเดรตในทูเรียน พบเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประเภทที่ไม่ละลายน้ำและไม่สามารถย่อยได้ในระบบย่อยอาหารซึ่งจัดเป็นใยอาหารที่ช่วยส่งเสริมในระบบขับถ่าย และยังมีโปรตีนที่มีผลต่อกลิ่นที่เป็นสารระเหยมีกลิ่นหอมเฉพาะของทูเรียน เช่น เอสเทอร์ (ester) ไธโออีเทอร์ (thioether) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) และ ไดเอทิลไดซัลไฟด์ (diethyl disulfide) เป็นต้น (ภักวดี, 2556) และผลต่อรสชาติของเนื้อทูเรียนที่มีรสชาติหวานมัน โดยการเปลี่ยนแปลงของทูเรียนดิบเป็นทูเรียนสุกด้วยกลไกการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นโปรตีน (ภักวดี, 2556) ทูเรียนอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุ ได้แก่ โพแทสเซียม (potassium) แคลเซียม (calcium) แมกนีเซียม (magnesium) เป็นต้น (Heruenkit และคณะ, 2007) พบสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น พอลิฟีนอล (polyphenol) ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารที่คล้ายคลึงวิตามินอี (vitamin E analogues) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นต้น (Isabelle และคณะ, 2010)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองสุก หนัก 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย
พลังงาน	163	กิโลแคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	31.2	กรัม
น้ำตาล	21.3	กรัม
ไขมัน	3.3	กรัม
โปรตีน	2.1	กรัม
ใยอาหาร	3.8	กรัม
โพแทสเซียม	436	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	39	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	30	มิลลิกรัม
แคลเซียม	6	มิลลิกรัม

ที่มา: สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2563)

จากการศึกษาในสัตว์ทดลองที่ได้มีการเติมทุเรียนหลายสายพันธุ์ผสมอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูงให้กับหนูของ Leontowicz และคณะ ใน 2008 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระดับปริมาณค่าไขมันในหลอดเลือดที่ลดลงอาหารที่เติมทุเรียนสายพันธุ์หมอนทองมีปริมาณระดับค่าไขมันในหลอดเลือดต่ำที่สุด และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมื่อเทียบกับอาหารที่ผสมกับทุเรียนพันธุ์อื่น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Gorinstein และคณะ ในปี 2010 ที่พบว่าในเนื้อทุเรียนหมอนทองจากประเทศไทยมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกสูงไม่แตกต่างกับอะโวคาโด (avocado) และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง ในการศึกษาของ Haruenkit และคณะ ในปี 2010 ที่รายงานว่าทุเรียนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่ามังคุดและระกำ ซึ่งสารชีวโมเลกุลที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่พบในทุเรียน คือ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และในการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในทุเรียนทั้ง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ หมอนทอง ชะนี ก้านยาว พวงมณี และกระดุม ที่ระยะการสุกเดียวกันพบว่าทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและมีคุณสมบัติฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (Toledo และคณะ, 2008) เมื่อเปรียบเทียบระดับความสูงของเนื้อทุเรียนจากการศึกษาของ Arancibia-Avila และคณะ ในปี 2008 พบว่าทุเรียนสุกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าทุเรียนดิบ เนื่องจากทุเรียนมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังที่ไม่ติดต่อ เช่น ไขมันอุดตันในเส้นเลือด อัลไซเมอร์ และต่อต้านการทำลายของอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ในเนื้อทุเรียนยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ ทริปโทแฟน (tryptophan) ที่นอกจากจะมีส่วนช่วยเพิ่มการผลิตของฮอร์โมนเมลาโทนิน (melatonin) ที่ช่วยให้ควบคุมการนอนหลับได้ดีมากขึ้นและเป็นสารตั้งต้นของเซโรโทนิน (serotonin) ที่สามารถช่วยให้รู้สึกมีความสุขและผ่อนคลาย อีกทั้งเนื้อทุเรียนมีปริมาณเส้นใยสูงที่สามารถช่วยลดปริมาณไขมันและยังมีส่วนช่วยในระบบขับถ่ายทำให้ขับถ่ายได้สะดวกขึ้น แต่เนื่องจากทุเรียนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลสูง ควรมีการบริโภคแต่พอดีเพื่อให้ได้รับประโยชน์และคุณค่าทางสารอาหารที่เหมาะสม โดยสำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2563) ได้

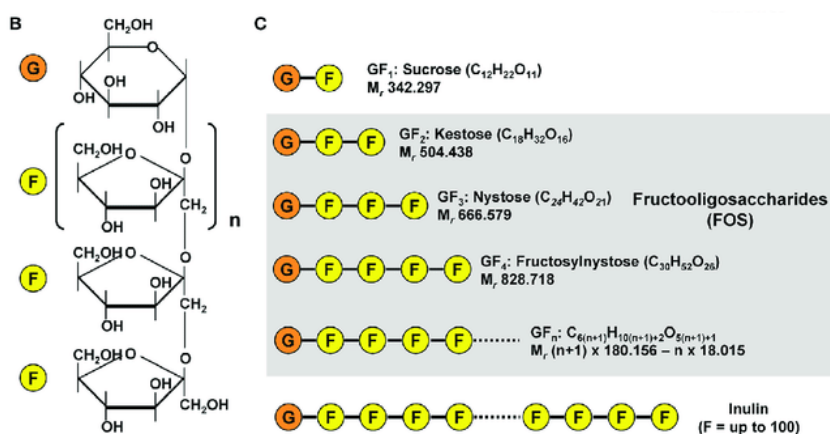
ให้คำแนะนำว่าปริมาณทุเรียนที่ควรรับประทานในหนึ่งวัน ควรรับประทานเพียง 1 พู หรือประมาณ 100 กรัม ควรลดอาหารกลุ่มข้าวแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตและของหวานในมื้อที่รับประทานทุเรียน อีกทั้งผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจและความดัน ควรระวังระวังในการรับประทานทุเรียน สามารถรับประทานได้แต่อยู่ในปริมาณน้อยกว่าบุคคลปกติทั่วไปและไม่บ่อยครั้ง เพราะเนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่ได้รับจากการรับประทานทุเรียน อาจส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลและไขมันในเลือดของผู้มีโรคประจำตัวเหล่านี้ได้ และมีข้อแนะนำไม่รับประทานทุเรียนร่วมกับการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เพราะจะทำให้เอนไซม์ aldehyde dehydrogenase มีปริมาณที่ลดลง โดยเอนไซม์ชนิดนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนสารประกอบ aldehyde ที่เป็นสารพิษที่ได้จากการกระบวนการเผาผลาญแอลกอฮอล์ให้เป็นพลังงานให้กลายเป็นสารประกอบอื่นก่อนที่จะขับออกจากร่างกายออกไป ซึ่งเมื่อปริมาณเอนไซม์ลดลงส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสม aldehyde ภายในร่างกาย อาจทำให้มีอาการตัวร้อน ไม่สบายตัว อาจรุนแรงถึงระดับเกลือแร่ในร่างกายผิดปกติ อาจมีอาการคลื่น จมูกซีม อาเจียน คลื่นไส้ จนถึงหมดสติและหากนำส่งโรงพยาบาลไม่ทันอาจเสียชีวิตได้ ดังนั้นการรับประทานทุเรียนควรรับประทานในปริมาณที่เหมาะสม และออกกำลังกายเพื่อช่วยเผาผลาญพลังงานส่วนเกินที่ร่างกายได้รับ

2.2 Pectinex Ultra SP-L®

Pectinex Ultra SP-L® เป็นเอนไซม์ทางการค้าที่มีการผสมเอนไซม์หลายชนิด มีลักษณะเป็นของเหลว สีน้ำตาล มีกลิ่นหมักเล็กน้อย โดยผลิตได้จากการหมักเชื้อรา *Aspergillus aculeatus* ในอาหารเหลวแล้วทำการแยกโปรตีนของเอนไซม์ออกมาก่อนจะนำไปทำให้บริสุทธิ์ โดยมีแอกทิวิตีอยู่ที่ 3,800 PGNU/mL ซึ่ง Pectinex Ultra SP-L® ประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกลาแลกทูโรเนส (polygalacturonase) เพกตินเนส (pectinase) เฮมิเซลลูเลส (hemilcellulase) เบต้ากลูคาเนส (β -glucanase) และฟรักโททรานเฟอเรส (fructotranferase) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้อย่างมากในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมน้ำผลไม้โดยนิยมใช้เพื่อให้ผลไม้มีลักษณะอ่อนนุ่ม คั้นน้ำได้เพิ่มขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผลไม้ที่มีลักษณะใส ไม่ขุ่น

ในภาพที่ 2 แสดงถึงปฏิกิริยาที่เอนไซม์สามารถย่อยสลายโมเลกุลของน้ำตาลซูโครส (sucrose) ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ได้น้ำตาลกลูโคส (glucose) และน้ำตาลฟรักโทส (fructose) และเกิดปฏิกิริยาทรานส์ฟรักโทซิลเลชัน (transfructosylation) ที่เป็นการถ่ายโอนหมู่ฟรักโทสของซูโครส เกิดการเชื่อมต่อกันของกลูโคสและฟรักโทสเป็นสายสั้นๆ เรียกว่า fructooligosaccharide (FOS) (นารีนาล, 2559) ในการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์มีปัจจัยหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ต่อการสลายพันธะ ถ่ายโอนหมู่ฟรักโทส และสร้างปริมาณของ FOS ที่เพิ่มขึ้น เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลา ปริมาณซูโครสที่เป็นสารตั้งต้น ความเข้มข้นหรือความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ เป็นต้น จากงานวิจัยของ Ghazi และคณะ ในปี 2005 ศึกษาผลของอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการทำงานของเอนไซม์ พบว่าเอนไซม์ให้ปริมาณของ FOS สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 62% เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ที่ 5.6 ซึ่งในปี 2006 Ghazi และคณะ ได้ศึกษาการผลิตฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จากน้ำเชื่อมและกากน้ำตาลปีทุเรียนด้วยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L® พบว่า

เอนไซม์สามารถทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในอุณหภูมิช่วง 55 – 60 องศาเซลเซียส ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4.5-7.5 ซึ่งปริมาณของ FOS ที่ได้จากการใช้น้ำเชื่อมบีทรูทที่มีความเข้มข้นสูงสุดถึง 56% และ 49% จากกากน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rehman และคณะ ในปี 2016 ได้มีการศึกษาการผลิตฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จากเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L[®] โดยใช้กากน้ำตาลที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วเป็นสารตั้งต้น พบว่ามีร้อยละผลผลิตของ FOS ผลิตได้มากถึง 63% จากปริมาณของน้ำตาลซูโครสที่มีอยู่ 89%



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จากซูโครส

ที่มา: Lambertz และคณะ (2017)

2.3 Fructooligosaccharide (FOS)

ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructooligosaccharide : FOS) เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) ที่สามารถพบได้ในในผักและผลไม้ตามธรรมชาติ เช่น กัญชง หัวหอม แคนตาลูป และ Jerusalem atichoke ซึ่งมีโครงสร้างเป็นน้ำตาลเชิงซ้อน ที่ประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทสเชื่อมต่อกันน้อยกว่า 10 โมเลกุล นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากหลากหลายกระบวนการ หนึ่งในนั้นคือใช้ปฏิกิริยาถ่ายโอนหมู่ฟรักโทส (transfructosylation) ที่เกิดจากเอนไซม์ฟรักโททรานเฟอเรส (fructotranferase) เร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายพันธะของโมเลกุลน้ำตาลซูโครสที่เป็นสารตั้งต้นและเกิดการถ่ายโอนหมู่ฟรักโทสของซูโครส (ดาวประกาย และคณะ, 2563, Sangeetha และคณะ, 2005) โดยมีปฏิกิริยา 2 รูปแบบ ดังภาพที่ 3

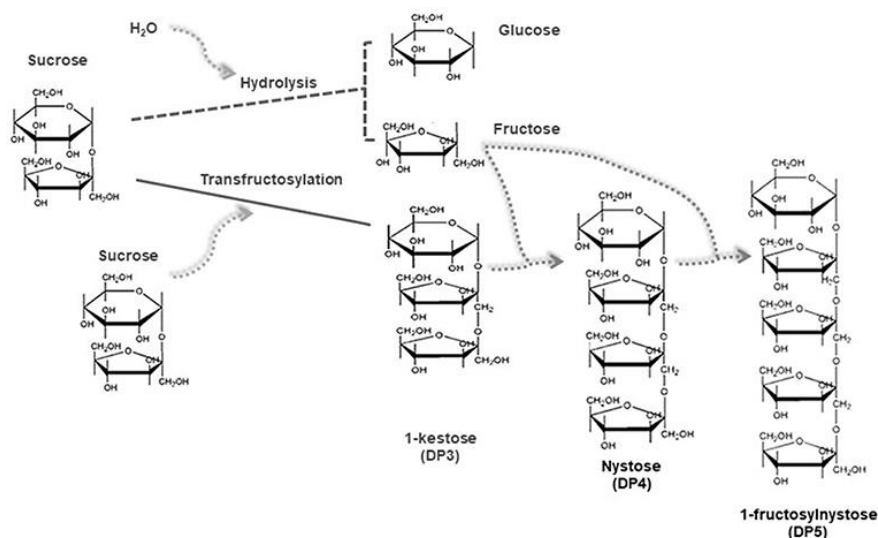
1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

ย่อยสลายน้ำตาลซูโครสโดยเอนไซม์ฟรักโททรานเฟอเรส (fructotranferase) เร่งปฏิกิริยาที่พันธะ 2,1-ไกลโคซิดิก (β -2,1-glycosidic bond) ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรักโทส

2. ปฏิกิริยาทรานส์ฟรักโทซิเลชัน (transfructosylation)

หลังจากโมเลกุลน้ำตาลซูโครสที่ถูกย่อยสลายพันธะซึ่งจะทำหน้าที่บริจาคหมู่ฟรักโทสให้กับน้ำตาลซูโครสอีกหนึ่งโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นผู้รับแล้วเกิดการเชื่อมต่อกันเป็นสายสั้นๆ ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ คีสโทส (kestose, GF₂), นีสโทส (nystose, GF₃) และ 1-ฟรักโทซิลนีสโตส (fructosylnystose, GF₄) ที่หมายถึงการต่อกัน

ของกลูโคส 1 โมเลกุลและฟรักโทส 2, 3 และ 4 โมเลกุล ตามลำดับ (Sanchez และคณะ, 2008) ซึ่งทั้ง 2 ปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นพร้อมกันได้ (Picazo และคณะ, 2019)



ภาพที่ 3 การสร้างฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จากซูโครสโดยโดยปฏิกริยาไฮโดรไลซิสและทรานส์ฟรักโทซิลชัน
ที่มา Martins และคณะ (2019)

FOS เป็นสารที่มีประโยชน์มากมาย มีลักษณะเป็นผงสีขาว ให้พลังงานต่ำมีค่าเท่ากับ 1.5 kcal/g เมื่อเทียบกับน้ำตาล hexose (Chow, 2002) และให้ความหวานน้อยกว่าประมาณ 40 % เมื่อเทียบความหวานกับน้ำตาลซูโครส นิยมใช้เป็นสารทดแทนให้ความหวานแทนน้ำตาล สามารถละลายน้ำได้ดี มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง ไม่ส่งผลข้างเคียงต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสหลังจากรับประทาน (จินต ภูมินาถ, 2555) นิยมใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานและผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วมีความสามารถทนต่อการย่อยด้วยกรด เอนไซม์ และน้ำย่อย ทำให้ร่างกายไม่สามารถย่อยและไม่ถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร จัดว่ามีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) โดยสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในลำไส้ที่มีประโยชน์ (วรรณคล, 2556) ที่ช่วยส่งเสริมระบบการย่อยอาหาร บรรเทาอาการท้องผูกเนื่องจากเป็นใยอาหารที่เป็นการเพิ่มพื้นที่ภายในลำไส้ที่ช่วยเกิดการกระตุ้นการเคลื่อนที่ของลำไส้ได้ดีขึ้น (Venter, 2006) ในขณะเดียวกันช่วยลดปริมาณแบคทีเรียชนิด *Clostridium perfringens* ที่เป็นแบคทีเรียก่อโรคและส่งเสริมการสร้างสารก่อมะเร็ง ลดระดับน้ำตาลในเลือด ความดันโลหิต และปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกาย จากรายงานพบว่าการนำ FOS มาใช้ทดแทนไขมันในอาหารได้หลายชนิด เช่น เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม สลัดครีม และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อช่วยควบคุมระดับไขมันในเลือด ช่วยเพิ่มการดูดซึมของร่างกาย (Cho และคณะ, 1999) ช่วยเสริมสร้างการดูดซึมของแร่ธาตุบางชนิด เนื่องจาก FOS ไม่ได้ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของร่างกายจึงทำให้เกิดการหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดการดูดซึมไขมันชนิดสายสั้นเพิ่มขึ้น ซึ่งความเป็นกรดภายในลำไส้จะช่วยในการเพิ่มการดูดซึมของแคลเซียม แมกนีเซียม สามารถป้องกันการเกิดโรคกระดูกพรุนได้ (Connie, 2005) ช่วยส่งเสริมกระตุ้นการทำงาน

ของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งมีเกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันต้านทานในลำไส้ ส่งเสริมความแข็งแรงของเซลล์เยื่อผิว ป้องกันการติดเชื้อ อีกทั้งยังป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ได้ด้วยจากการที่กรดไขมันสายสั้นจากกระบวนการหมักของพรีไบโอติกได้อีกด้วย

2.4 เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (Functional drink)

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากลักษณะการใช้ชีวิตที่มีต้องแข่งขันกับเวลา มีความเร่งรีบ รวมถึงอาหารที่รับประทานที่เน้นความสะดวกรวดเร็ว ผู้บริโภคมีการออกกำลังกายและใส่ใจในสุขภาพมีน้อยลง จึงให้ความสำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่นอกจากรับประทานเพิ่มให้อิ่มและมีรสชาติที่แล้ว ยังต้องสามารถส่งเสริมสุขภาพให้ดีมากยิ่งขึ้น เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพหรือ functional drink เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ เช่น น้ำผลไม้ นม กาแฟ เครื่องดื่มธัญพืช เครื่องดื่มสำหรับนักกีฬา เป็นต้น การเติมคุณค่าทางโภชนาการที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเข้าไปจากการรับประทาน อาหารและเครื่องดื่มในแต่ละวัน เพื่อเสริมสร้างสุขภาพ บำรุงร่างกาย หรือป้องกันการเกิดโรคต่างๆ โดยจำแนกออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่

1. Sport Drink

กลุ่มเครื่องดื่มประเภทกีฬา เพื่อช่วยนักกีฬาที่ต้องใช้ร่างกายในการฝึกฝนและแข่งขันอย่างหนักจนเกิดการสูญเสียน้ำและความสมดุลของอิเล็กตรอนในร่างกาย เพื่อช่วยหลีกเลี่ยงการเกิดอันตรายต่อร่างกาย เช่น ภาวะโซเดียมในเลือดต่ำ (hyponatremia) เป็นการเสริมสร้างทดแทนพลังงานที่สูญเสียไปด้วยการเติมเกลือแร่

2. Energy Drink

กลุ่มเครื่องดื่มประเภทชูกำลัง นิยมในกลุ่มคนที่ทำงานหนักหรือผู้ใช้แรงงาน เพื่อชดเชยความอ่อนเพลียที่เกิดจากการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน มีการเติมส่วนผสมที่มีฤทธิ์ในการตื่นตัว เช่น คาเฟอีน

3. Healthy Drink จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มเครื่องดื่มที่ผลิตจากผักและผลไม้ ที่แปรรูปอยู่ในรูปแบบเครื่องดื่ม ซึ่งประโยชน์และสารอาหารเกิดการสูญเสียทางโภชนาการได้น้อยที่สุด เหมาะสมกับผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกในการรับประทาน เช่น น้ำผักผลไม้คั้นสด หรือน้ำผักผลไม้จากการสกัดเย็น เป็นต้น

4. Herbal Drink

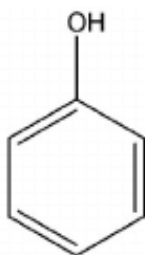
กลุ่มเครื่องดื่มที่มีการผลิตจากพืชสมุนไพรเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งสมุนไพรที่มีสรรพคุณที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพร่างกาย รวมถึงสามารถรักษาและป้องกันโรคได้ เช่น น้ำตะไคร้ น้ำกระชายดำ เป็นต้น

5. Enriched Drink

กลุ่มเครื่องดื่มที่มีการเติมส่วนผสมของสารอาหารเพื่อความงามและบำรุงผิวพรรณ รวมถึงสารอาหารที่มีส่วนช่วยส่งเสริมในการต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกาย ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเครื่องดื่มประเภทนี้มุ่งเน้นสุขภาพเป็นสำคัญ อีกทั้งยังมีโภชนาการและสารเติมแต่งต่าง ๆ ที่ดีต่อร่างกาย เช่น เครื่องดื่มผสมคอลลาเจน เครื่องดื่มผสมพรีไบโอติก เป็นต้น

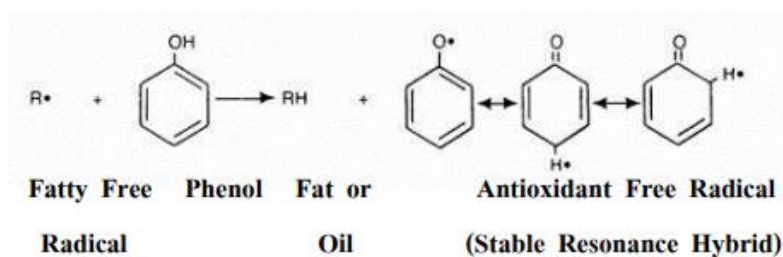
2.5 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่สามารถพบได้ในธรรมชาติหลายชนิด เช่น พืช ผัก ผลไม้ สมุนไพร ชา ธัญพืช เป็นต้น โดยมีโครงสร้างทางเคมีหลักคือ ฟีนอล (phenol) ที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีหลักของสารประกอบฟีนอลิก
ที่มา EL-Nass (2012)

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) สามารถจำแนกเป็นได้หลายกลุ่มหลายชนิด ซึ่งพอลิฟีนอล (polyphenols) เป็นหนึ่งในสารกลุ่มใหญ่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากพบได้ในธรรมชาติมากถึง 8,000 ชนิด ซึ่งมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกตามโครงสร้างและจำนวนของวงแหวนฟีนอลออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ไดเฟอรูโลอิลมีเทน (diferuloylmethane), สติลบีน (stilbenes), ฟลาโวนอยด์ (flavonoids), กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแทนนิน (tannin) โดยที่พอลิฟีนอลกลุ่มฟลาโวนอยด์สามารถพบได้มากที่สุด ในพืช ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถป้องกันโรคต่าง ๆ ได้ โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่ไปเร่งในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ ที่ไม่มีความเสถียรที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 กลไกการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารกลุ่มฟีนอลิก
ที่มา Chandra และ Arora (2018)

ในปี 2019 Aziz และ Jalil ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และประโยชน์ของทุเรียนในแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ ก้านยาว พวงมณี กระจุม และหมอนทอง พบว่าทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ด้วยวิธี DPPH และ FRAP) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุเรียนสายพันธุ์อื่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Toledo และคณะ ในปี 2008 ที่ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการของทุเรียน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ก้านยาว ชะนี พวงมณี กระจุม และหมอนทอง พบว่าทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ด้วยวิธี FRAP) สูงที่สุด อีกทั้งงานวิจัยของ Arsa และคณะ ในปี 2021 ที่ศึกษาคุณสมบัติของทุเรียนแตกต่างสายพันธุ์ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ หมอนทอง ชะนี และพวงมณี ซึ่งมีผลสอดคล้องกัน คือ ทุเรียนสายพันธุ์หมอนทองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด โดยในปี 2008 Arancibia-Avila และคณะ ได้ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของทุเรียนหมอนทองในระยะการสุกต่าง ๆ ได้แก่ ห้าม สุก และสุกมาก พบว่าทุเรียนหมอนทองในระยะสุกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ แอนโธไซยานิน สูงกว่าทุเรียนในระยะห้ามและสุกมาก โดยสารฟอลิฟินอลที่เป็นสารหลักสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระพบในทุเรียนสุกคือ เควอซิทิน (quercetin) และกรดคาเฟอิก (caffeic acid) แต่จากการศึกษาในปี 2011 ของ Leontowicz และคณะ รายงานว่าทุเรียนสุกมีปริมาณฟอลิฟินอล ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดในขณะที่เควอซิทิน กรดแอสคอบิก และแอนโธไซยานินส์ถูกพบมากในทุเรียนระยะสุก และแทนนินพบมากในทุเรียนระยะห้าม

2.6 อนุมูลอิสระ (free radical)

อนุมูลอิสระเป็นสารที่ก่อให้เกิดความเสื่อมแก่ร่างกาย ซึ่งเกิดในสภาวะที่ร่างกายมีความผิดปกติ เช่น ความเครียด การมีภาวะโรคต่าง ๆ การนอนหลับพักผ่อนไม่เพียงพอ การนอนติดต่อกันเป็นเวลานาน เกิดภาวะความเครียดจากออกซิเจน (oxidative stress) เป็นภาวะที่ร่างกายขาดความสมดุลระหว่างสารอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกาย หากเกิดขึ้นระยะเวลาสั้น ๆ จะไม่ส่งผลต่อสุขภาพมากนัก (Nimse และคณะ, 2015) แต่เมื่อหากมีภาวะดังกล่าวเป็นเวลานานทำให้ร่างกายมีความไม่สมดุลภายในร่างกายเกิดขึ้นส่งผลให้มีสารอนุมูลอิสระมากเกินไปต่อความสมดุลของร่างกาย อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถทำลายสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์ ทำลายเนื้อเยื่อต่าง ๆ เยื่อหุ้มเซลล์ รวมถึง DNA และอาจนำไปสู่การเกิดโรคไม่ติดต่อชนิดเรื้อรังและนำไปสู่ความเสื่อมของอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคได้ เช่น โรคในระบบหัวใจและหลอดเลือด มะเร็ง และโรคทางสมองและระบบประสาท ได้แก่ Parkinson และ Alzheimer และยังมีผลต่อระบบต่อมไร้ท่อต่าง ๆ รวมไปถึงมีผลต่อความยืดหยุ่นของผิวหนัง (Cornelli, 2009, Li และคณะ, 2013)

อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์ อนุมูลอิสระจะอยู่ในรูป Reactive Oxygen Species (ROS) และ Reactive Nitrogen Species (RNS) อนุมูลอิสระและไม่ใช่อนุมูลอิสระสามารถกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดอนุมูลอิสระตลอดเวลาและเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ในสิ่งมีชีวิตที่หายใจโดยใช้ออกซิเจน บทบาทสำคัญของ ROS และ RNS เกี่ยวข้องในกระบวนการอักเสบจากสาเหตุการติดเชื้อ (infection) การสูบบุหรี่ (smoking) หรือได้รับสิ่งกระตุ้นอื่น ๆ เช่น สารพิษ (toxin) โดยที่อนุมูลอิสระทั้งรูป ROS และ RNS สามารถทำลายโครงสร้างของลิพิดและโปรตีนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้

เกิดอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่องและเกิดความไม่สมดุลกับสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดภาวะ oxidative stress นำไปสู่การทำลายโครงสร้างของสารพันธุกรรมและเกิดการตายของเซลล์ (apoptosis) หรือเซลล์ถูกกระตุ้นให้เพิ่มจำนวนมากขึ้นจนเกิดมะเร็ง (อนงนาฏ, 2560) อนุมูลอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.6.1 Oxygen-centered radicals

อนุมูลอิสระชนิดนี้สร้างจากไมโทคอนเดรียโดยกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport chain, ETC) และระบบของหลอดเลือดที่มีความผิดปกติ (cardiovascular system) ซึ่งอนุมูลอิสระชนิดนี้จะอยู่ในรูปของ superoxide anion, hydrogen peroxide (H_2O_2), hydroxyl radical และ single oxygen เป็นต้น

2.6.2 Carbon-centered radicals

อนุมูลอิสระชนิดนี้ได้แก่ peroxy และ alkoxy radicals

2.6.3 Nitrogen-centered free radicals

อนุมูลอิสระชนิดนี้ได้แก่ nitric oxide (NO) และ by-product ของ nitric oxide เช่น nitrate (NO_3), nitrite (NO_2), peroxynitrite (ONOO), 3nitrotyrosine และ nitrogen dioxide (Mut-Salud และคณะ, 2015)

2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระคือโมเลกุลที่มีความสามารถป้องกัน ลดการทำงาน และชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิต ดังนั้นร่างกายจึงต้องสร้างสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาเพื่อกำจัดและลดความรุนแรงของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น โดยปกติแล้วการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายนั้นจะมีอย่างเพียงพอต่อการเกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในร่างกาย แต่หากมีสภาวะผิดปกติในร่างกาย เช่น ความเครียด การนอนติดต่อกันเป็นเวลานาน หรือสภาวะโรคต่าง ๆ อาจจะทำให้การสร้างอนุมูลอิสระมีปริมาณมากเกินไปจนเกิดความเสียหายของร่างกายจนเกิดเสียความสมดุล เกิดเป็นภาวะ oxidative stress อนุมูลอิสระที่ไม่ได้ถูกกำจัดจะไปทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อทำให้เป็นต้นเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายนั้นมีความสำคัญในการป้องกันการเกิดโรคและความเสื่อมของร่างกาย (อชิป, 2559) สารต้านอนุมูลอิสระควรจะต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้ร่วมด้วย

- ป้องกันการเกิดขึ้นของ ROS
- สามารถจับกับ ROS ที่เกิดขึ้นก่อนที่ ROS จะไปทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อต่างๆ
- ต้องเพิ่มความไวของอนุมูลอิสระหรือไม่เปลี่ยน ROS ที่มีความไวต่ำไปเป็น ROS ที่มีความไวสูง เช่น ไม่เปลี่ยนจาก super oxide ไปเป็น hydroxyl radical เป็นต้น
- ทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของ antioxidant enzyme หรือสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่น
- เพิ่มการแสดงออกของยีนที่ใช้สร้าง antioxidant enzyme และช่วยในการฟื้นฟูความเสียหายของเซลล์หรือเนื้อเยื่อจากการถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระ

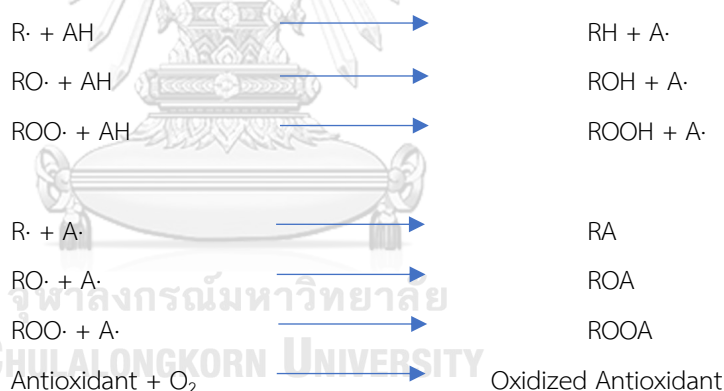
สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (Lobo และคณะ, 2010)

1. สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ (Enzymatic antioxidant) ได้แก่ superoxide dismutase, catalase, และ glutathione peroxidase เป็นต้น
2. สารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Nonenzymatic antioxidant) ส่วนใหญ่มักพบในพืชธรรมชาติ ได้แก่ ascorbic acid กลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) จำพวกฟีนอล (phenol) ฟีนอลิก (phenolic acids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แทนนิน (tannin) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) อัลคาลอยด์ (alkaloids) ลิกนิน (lignin) และอื่น ๆ

2.8 กลไกการต้านอนุมูลอิสระ

2.8.1 การดักจับอนุมูลอิสระ (free radical scavenging)

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระและทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น เมื่อสารต้านอนุมูลอิสระให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนไปแล้วจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ซึ่งมีความไว้น้อยกว่าอนุมูลอิสระเดิม อาจจะไปรวมตัวกับอนุมูลอิสระอีกโมเลกุลหนึ่งเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสถียร หรือมีสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นมาให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนเพื่อเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสถียรตามกลไกแสดงดังสมการที่ 2.7.1 โดยสารที่มีกลไกการออกฤทธิ์ผ่านกลไกนี้ เช่น butylated hydroxyl anisole (BHA) และ vitamin E (α -tocopherol) เป็นต้น



สมการที่ 1 กลไกการต้านอนุมูลอิสระแบบ Free radical scavenging (Silvia และคณะ, 2014)

2.8.2 ยับยั้งการทำงานของ (singlet oxygen quenching (1O_2))

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ออกฤทธิ์โดยยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen โดยการเปลี่ยน singlet oxygen (1O_2) ให้ไปอยู่ในรูป triplet oxygen (3O_2) และปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน สารที่ออกฤทธิ์ผ่านกลไกนี้ เช่น carotenoids 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับ singlet oxygen ได้ 1,000 โมเลกุล (Sies และคณะ, 1992)

2.8.3 การจับกับโลหะที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelating)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้มักเป็นสารประเภทที่สามารถจับกับโลหะหนักได้ โลหะหนักเช่น Fe^{2+}/Fe^{3+} และ Cu^{2+} เป็นสารที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ในร่างกาย โดยโลหะหนักเหล่านี้สามารถเร่งการเกิดอนุมูลอิสระหลายประเภท เช่น peroxy radical, hydroxyl radical และ alkyl radical รวมไปถึง singlet

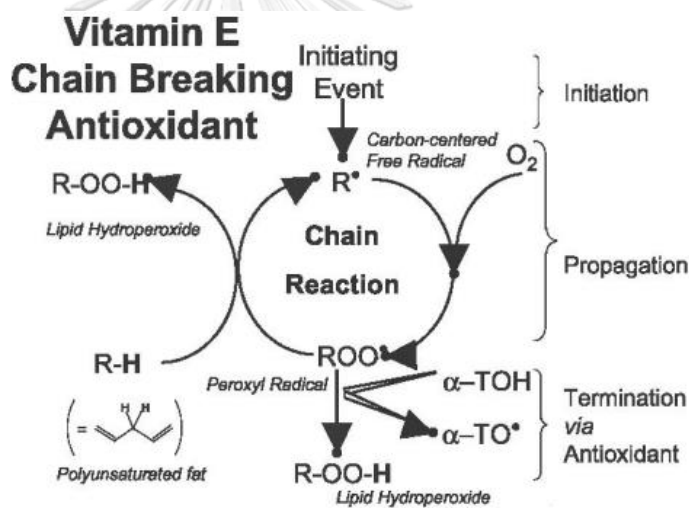
oxygen ดังนั้นการมีสารที่ไปจับกับโลหะเหล่านี้จะช่วยชะลอการเกิดอนุมูลอิสระภายในร่างกายได้ สารที่ออกฤทธิ์ผ่านกลไกนี้ได้แก่ flavonoids, phosphoric acid, citric acid และ ascorbic acid เป็นต้น

2.8.4 ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibitor)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระด้วยสารประกอบ phenolics บางชนิด เช่น flavonoids, phenolic acid และ gallates สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase โดยจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ ส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ (Puerta, 1999)

2.8.5 หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้สามารถยับยั้งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระได้ โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor antioxidants) เช่น วิตามินอี (vitamin E) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ที่ถูกทำลายเกิดการปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autooxidation) ซึ่งจะรับอิเล็กตรอนจาก peroxy (ROO·) (Burton และ Traber, 1990) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การทำงานของวิตามินอีในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน
ที่มา (Burton และ Traber, 1990)

2.8.6 การเสริมฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ (synergism)

สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระสามารถทำงานได้ดียิ่งขึ้น สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ เช่น การทำงานร่วมกันระหว่างวิตามินอี (α-tocopherol) กับวิตามินซี (ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในระบบ hydrophobic ได้ดีเหมือนกันวิตามินอี จึงมีการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลของวิตามินอี (α-tocopherol peroxy) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างวิตามินอีกับ peroxy และสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นวิตามินอีที่สามารถทำงานได้ (Frankel, 1980)

2.9 การวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ

2.9.1 DPPH radical scavenging assay (Hsu และคณะ, 2008, Mishra และคณะ, 2012)

โมเลกุลของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl มีลักษณะเป็น stable โดยมีลักษณะพิเศษคือ ละลายในเอทานอล มีสีม่วง และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เมื่อผสมตัวอย่างที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระกับสารละลาย DPPH สารต้านอนุมูลอิสระจะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปรีดิวซ์ ทำให้สารละลายจากสีม่วงของ DPPH radicals มีสีที่จางลง ดังสมการที่ 2



2.9.2 ABTS radical scavenging assay หรือ TEC assay (Perez-Jimenez และคณะ, 2005, Maisuthisakul และคณะ, 2007)

Trolox equivalent antioxidant capacity (TEC) คือ การวัดความสามารถในการยับยั้งของสารต้านอนุมูลอิสระจากค่าการดูดกลืนแสงของ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate) radicals (ABTS) ซึ่ง ABTS ละลายในเอทานอลและน้ำ มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร วิเคราะห์ความสามารถรวมของสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการไม่มีสีของ ABTS radicals ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้าง ABTS ให้มีโครงสร้างที่ทำให้มองเห็นเป็นสี เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ABTS และ potassium persulfate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) โดยสารละลายสีเขียวเข้มจะจางลง ซึ่งหมายถึงปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ ABTS ลดลง ดังสมการที่ 3



2.9.3 FRAP reducing antioxidant power assay หรือ FRAP (Griffin และคณะ, 2004; Gliszczynska-Swigto และคณะ, 2006)

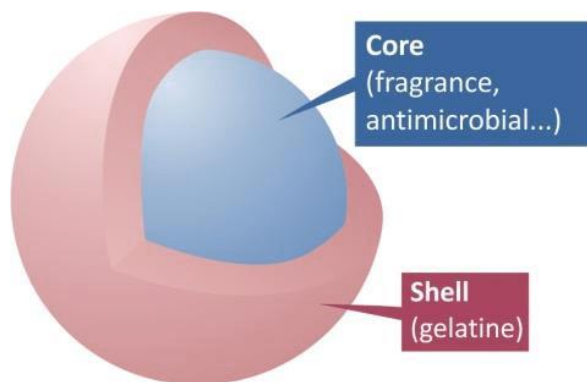
เป็นเทคนิคที่ใช้วัดความสามารถรวมของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถรีดิวซ์เหล็ก ferric โดยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างเหล็กและ tripyridyltriazine (TPTZ) เกิดเป็นสารสีน้ำเงินเมื่อเหล็กอยู่ในรูป ferrous ในภาวะที่เป็นกรด ดังสมการที่ 4 สามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร



2.10 เอนแคปซูลชัน (Encapsulation technology)

เทคโนโลยีเอนแคปซูลชันเป็นเทคโนโลยีเพื่อรักษาและป้องกันสารสำคัญที่อาจเกิดการสูญเสียสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญโดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีความไวต่อสภาพสิ่งแวดล้อม จึงต้องมีกระบวนการในการกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กลิ่น และสีไว้ไม่ให้เกิดการสูญเสียขึ้น โดยสารสำคัญที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ชั้นบาง ๆ ที่สามารถป้องกันสารสำคัญหรือสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากสภาพแวดล้อมภายนอกหรืออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม และปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาได้เมื่อต้องการที่อยู่ในรูปของไมโครแคปซูล หรือ คอร์ (core) และสารห่อหุ้มเรียกว่า วอลล์ (wall) ดังภาพที่ 7

(Rithmanee และคณะ, 2018) โดยไมโครแคปซูลหมายถึง อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1 – 1,000 ไมครอน โดยขนาดขึ้นอยู่กับชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้และการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งมีหลากหลายรูปร่าง อาจมีลักษณะกลมมน สี่เหลี่ยม หรือเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน

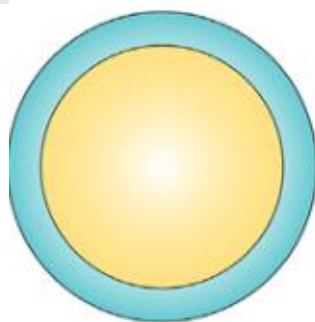


ภาพที่ 7 โครงสร้างอนุภาคของไมโครแคปซูล
ที่มา Palacios และคณะ (2016)

ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน

2.10.1 Simple microcapsule

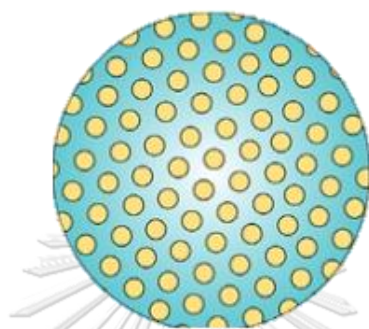
ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิค conacervation เป็นการเอนแคปซูเลทวิธีทางเคมี โดยใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดการเคลือบผิวของสารที่นำมาเอนแคปซูเลทด้วยสารเคลือบที่มีประจุต่างกัน โดยมีสภาวะประจุเป็นกลางและเคลือบอยู่บริเวณของผิวสารที่เป็นแกนกลาง ดังภาพที่ 8 ซึ่งมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก การเกิดการเคลือบของสาร (coacervative wall) และการแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย



ภาพที่ 8 ไมโครแคปซูลชนิด simple microcapsule
ที่มา Fiorotto และคณะ (2021)

2.10.2 Matrix encapsulation หรือ Multi-core

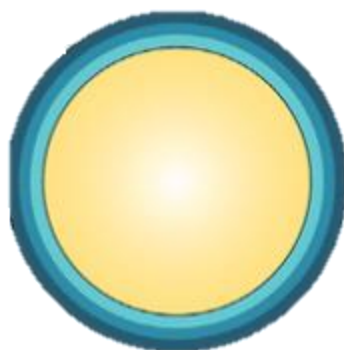
ลักษณะไมโครแคปซูลรูปแบบชนิดนี้เป็นการห่อหุ้มสารสำคัญที่ต้องการรักษาและจะกระจายอยู่ภายในสารห่อหุ้ม ดังภาพที่ 9 ซึ่งมักใช้ในการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรสที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) สเปรย์ชิลลิ่ง (spray chilling) สเปรย์คูลลิ่ง (spray colling) เอ็กทรูชัน (extrusion)



ภาพที่ 9 ไมโครแคปซูลชนิด Matrix encapsulation หรือ Multi-core
ที่มา Fiorotto และคณะ (2021)

2.10.3 Multi-wall หรือ control release

รูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวด้วยสารห่อหุ้มสองชั้น ดังภาพที่ 10 ซึ่งสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารในสภาวะที่ต้องการได้ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized bed ใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุ (bed) ทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง สามารถลดความชื้นลงได้อย่างรวดเร็ว เหมาะกับใช้ทำแห้งวัสดุที่เป็นเม็ดเล็กที่มีรูปทรงและขนาดสม่ำเสมอ



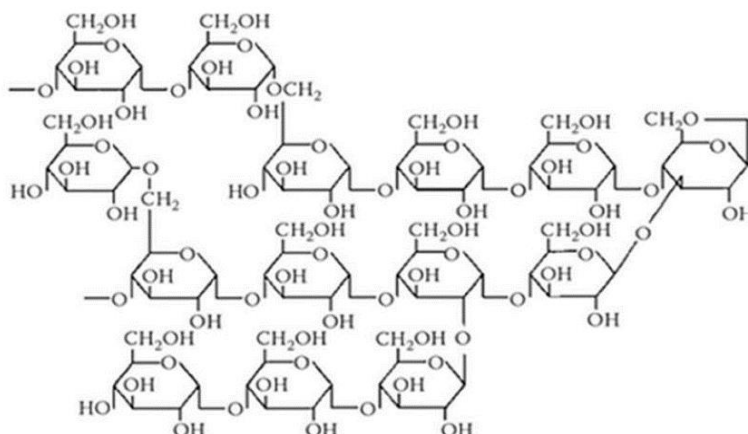
ภาพที่ 10 ไมโครแคปซูลชนิด Multi-wall หรือ control release
ที่มา Fiorotto และคณะ (2021)

ภายในไมโครแคปซูลของเทคโนโลยีเอนแคปซูลชั้น มี active agent หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ซึ่งเป็นสารที่อยู่เป็นแกนกลางของโมเลกุลและจะถูกห่อหุ้มด้วยสารอื่นเพื่อป้องกันสภาพแวดล้อมปัจจัยต่าง ๆ ที่กระตุ้นทำให้สารเกิดการเสื่อมสลายรวมถึงช่วยรักษาเสถียรภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ตัวอย่าง active agent เช่น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สารต้านอนุมูลอิสระ ไขมัน วิตามิน และพรีไบโอติก เป็นต้น

ภายนอกไมโครแคปซูล คือ สารห่อหุ้ม (coating material) เป็นสารที่ห่อหุ้มภายนอกสารที่ต้องการกักเก็บรักษาไว้ที่ภายในโมเลกุลแคปซูลเพื่อลดการเสื่อมสลายของสาร ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสำคัญและความคงตัวของไมโครแคปซูลไม่ให้เกิดการเสื่อมเสียหรือสูญเสียสารสำคัญระหว่างการเก็บรักษา มักจะเป็นสารที่นำมาใช้กับอาหาร (food grade) และมีการระบุว่าเป็น GRAS (Generally Recognized As Safe) ที่มีความปลอดภัย มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ไม่มีกลิ่นรสที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญ และไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค สามารถป้องกันสารที่ถูกห่อหุ้มจากปัจจัยต่าง ๆ ได้ดี เช่น ออกซิเจน ความชื้น และแสง ที่ส่งผลต่อการเสื่อมเสียและความคงตัวของสารสำคัญ อีกทั้งควรมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยสารในสถานะที่เหมาะสมหรือต้องการได้ดี การเป็นอิมัลชัน ความสามารถในการขึ้นรูปฟิล์ม มีความหนืดต่ำในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง และสามารถทำแห้งได้แม้ในสถานะที่มีความหนืดของสารละลายต่ำ (Gharsallaoui และคณะ, 2007, Reineccius, 1988) ชนิดของสารห่อหุ้มส่วนมากอาจใช้ชนิดเดียวหรือผสมรวมกันหลายชนิดก็ได้ ที่มักนิยมนำมาใช้จริงเป็นสารที่ได้มาจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัย สามารถใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหาร อีกทั้งยังมีความปลอดภัยสามารถป้องกันในด้านปัจจัยต่าง ๆ เช่น สารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เช่น มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) มอลโตเด็คซ์ตรินต้านทานการย่อย (resistant maltodextrin) นอกจากนี้ยังมีการใช้สารสกัดที่มาจากพืช เช่น กัมอาระบิก (gum arabic) และเพกทิน (pectin) เป็นต้น

2.10.4 มอลโตเด็คซ์ตรินต้านทานการย่อย (resistant maltodextrin)

มอลโตเด็คซ์ตรินต้านทานการย่อยเป็นสารที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว รสชาติจืด ได้มาจากการนำแป้งข้าวโพดหรือแป้งมันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างสารเคมีโดยมีการใช้ความร้อนและกรดเข้าร่วมในกระบวนการและมีการย่อยด้วยเอนไซม์ ทำให้เกิดการทำลายพันธะในโมเลกุลของแป้งและเกิดการจัดเรียงโมเลกุลสร้างพันธะใหม่เป็นสายพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ดังภาพที่ 11 ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์บริเวณลำไส้เล็กของระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ จึงกลายเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ จัดเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ถึง 70% เมื่อนำไปละลายน้ำแล้วมีความหนืดต่ำและมีลักษณะใส



ภาพที่ 11 โครงสร้างเคมีของมอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อย (*resistant maltodextrin*)

ที่มา Arilla และคณะ (2022)

ขั้นตอนการผลิตมอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อย (Hashizume และ Okuma, 2009)

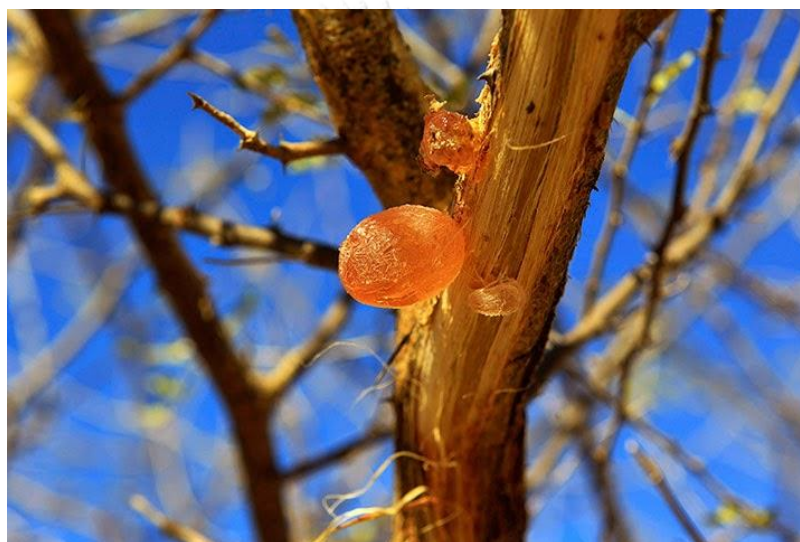
1. ทำให้โมเลกุลแป้ง (starch) เล็กลงด้วยการให้ความร้อนในสภาวะแห้งที่อุณหภูมิสูง 140 – 160 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้กรดเกลือหรือกรดกำมะถัน ทำให้เกิดการย่อยโมเลกุลของแป้งให้มีขนาดเล็กลงกลายเป็นเด็กซ์ตริน (dextrin)
2. ทำการย่อยเด็กซ์ตรินด้วยเอนไซม์อะมัยเลส (amylase)
3. กรองแยกกลูโคสออก
4. กำจัดสารสีออกด้วยถ่านกัมมันต์ (active carbon)
5. แลกเปลี่ยนไอออนด้วยการกรองผ่านเรซิน
6. นำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อยมีคุณสมบัติที่ระบบการย่อยอาหารของร่างกายไม่สามารถย่อยได้ เมื่อถูกส่งผ่านมายังลำไส้ใหญ่จะถูกหมักด้วยจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการกรดไขมันสายสั้น ๆ ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ (จิรนาถ, 2554) ช่วยลดการตอบสนองของคาร์โบไฮเดรตต่อภาวะน้ำตาลหลังมื้ออาหาร ทำให้มีปริมาณระดับน้ำตาลในเลือดลดลง รักษาระดับไขมันในเลือดและคอเลสเตอรอล จากการศึกษาในหนูทดลองที่บริโภคอาหารที่มีไขมันสูงร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อยของ Kishimoto และคณะ ในปี 2007 พบว่ามอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อยสามารถยับยั้งการดูดซึมไตรกลีเซอไรด์ในเส้นเลือดได้

ในปัจจุบันมีการนำมอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อยใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร หรือเป็นสารปรุงแต่งเสริมเพิ่มใยอาหาร นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำมอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อยมาใช้สำหรับเป็นสารทอหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลด้วยเทคโนโลยีเอนแคปซูลชัน เช่น ใช้เป็นสารทอหุ้มน้ำส้ม (Arilla และคณะ, 2021) ใช้เป็นสารทอหุ้มน้ำเกรปฟรุต เป็นต้น (Dhanajay และคณะ, 2015)

2.10.5 กัมอาระบิก (gum arabic)

กัมอาระบิกหรือกัมอากาเซีย (gum acacia) เป็นสารประกอบที่พบได้ในธรรมชาติชนิดหนึ่ง อยู่ในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดีและทำให้เกิดสารละลายลักษณะเป็นคอลลอยด์หรือเจล โดยกัมอาระบิกผลิตจากน้ำยางของพืชในกลุ่มอากาเซีย ได้แก่ *Acacia senegal* และ *Acacia seyal* ที่พบมากในทวีปแอฟริกา โดยน้ำยางจะไหลออกมาจากผิวเปลือกของลำต้น เกะกันเป็นก้อน ดังภาพที่ 12 เมื่อสัมผัสกับความร้อนจากแสงแดดจะทำให้น้ำยางเกิดการแห้งและแข็งตัวมีลักษณะใสคล้ายแก้วเกาะอยู่บริเวณลำต้นและกิ่งก้าน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของของเหลวที่มีความเหนียวแต่สามารถละลายน้ำได้ (Williams และ Phillips, 2009)

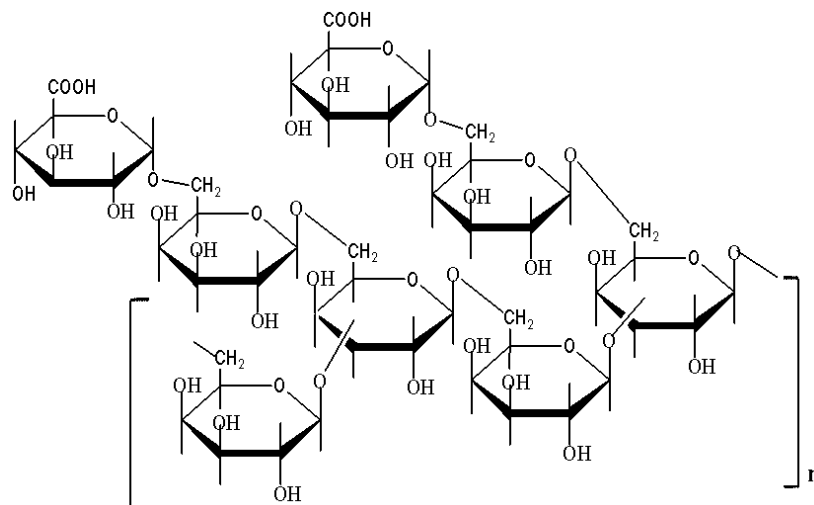


ภาพที่ 12 กัมอาระบิกจากต้นอากาเซีย

ที่มา: ฐานข้อมูลออนไลน์ สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2565 จาก

<http://wabillahi.blogspot.com/2016/07/kelebihan-mengamalkan-makan-al-manna.html>

กัมอาระบิกเป็นสารประกอบจากธรรมชาติที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นที่ขอร่างกาย ประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเล็กน้อย จึงทำให้มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เนื่องจากมีส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) คือ คาร์โบไฮเดรต และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) คือ โปรตีน อยู่ในโครงสร้างเดียวกัน ซึ่งจัดเป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) มีโครงสร้างที่ซับซ้อน ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) และอนุพันธ์ของน้ำตาลหลายชนิดต่อกัน เช่น กาแลคโตส (galactose) แรมโนส (ramnose) อะราบิโนส (arabinose) และกรดกลูโคนิก (gluconic acid) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 โครงสร้างทางเคมีของกัมอาระบิก
ที่มา Cissé และคณะ (2020)

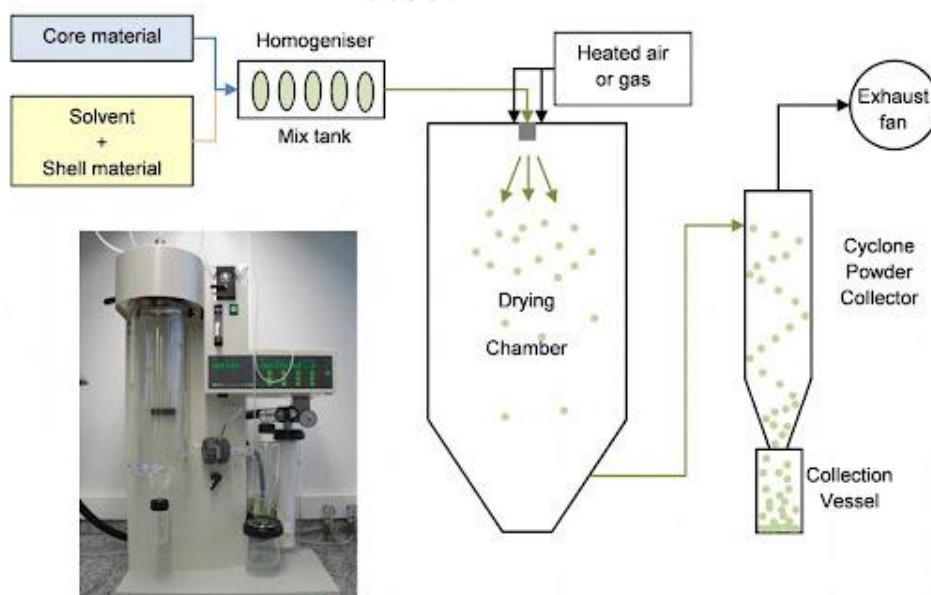
กัมอาระบิกมีความสามารถในการละลายสูง แต่เป็นสารที่มีความหนืดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกัมชนิดอื่น ซึ่งความหนืดขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น และความเป็นกรดและเบสที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าของกัมอาระบิก นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เพราะมีโครงสร้างที่มีส่วนเป็นกรดอะมิโนจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้ดี แข็งแรง และมีส่วนที่เป็น arabinogalactan ที่ช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนที่เป็นน้ำ ด้วยคุณสมบัติของกัมอาระบิกจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจาก เมื่อรับประทานกัมอาระบิกจะไม่เกิดการระคายเคืองหรือมีสิ่งตกค้างภายในปาก ไม่รู้สึกกระด้าง มีความสามารถในการย่อยได้น้อยมากในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์ จัดเป็นสารไม่ให้พลังงาน มักนิยมมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำเพื่อเสริมสุขภาพ และได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีเอนแคปซูลเลชันด้วยการนำมาเป็นสารห่อหุ้มเพื่อรักษาสารสำคัญภายใน จากการใช้เทคโนโลยีเอนแคปซูลเลชันสารสกัด Cagaita ของ Luis และคณะ ในปี 2017 โดยใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดกัน พบว่าการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีกว่าอินนูลิน และจากงานวิจัยของ Tran และคณะ ในปี 2018 ที่ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารห่อหุ้มที่ต่างกันต่อสารสกัดตะไคร้ พบว่ากัมอาระบิกมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีกว่ามอลโตเด็กซ์ทริน และมอลโตเด็กซ์ทรินผสมกัมอาระบิก โดยที่เมื่อมอลโตเด็กซ์ทรินได้มีการผสมกัมอาระบิกลงไปช่วยทำให้มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีมากขึ้น

เทคโนโลยีเอนแคปซูลเลชันนิยมใช้กับสารที่มีลักษณะเป็นของเหลว ซึ่งทำให้เกิดการขนส่งและการเก็บรักษาที่ลำบาก จึงมักมีกระบวนการอื่นมาใช้ร่วมด้วย ซึ่งวิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะตามที่ต้องการสามารถเก็บรักษาได้นานซึ่งมีเสถียรภาพสูง ขนส่งได้ง่าย และมีความสะดวกใน

การใช้งาน ได้แก่ เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และการทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) เป็นต้น

2.11 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

เป็นเทคนิคที่นิยมเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร หลักการทำงานคือ การแลกเปลี่ยนมวลและความร้อนระหว่างสารซึ่งเป็นของเหลวกับสภาพแวดล้อมที่เป็นก๊าซที่เป็นตัวกลางในการให้ความร้อน โดยระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน ความชื้นเกิดการระเหยออกจากสารผสมเกิดเป็นอนุภาคของแข็ง กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (Feed) ออกมาเป็นละอองขนาดเล็กผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 เทคนิคการเอนแคปซูลชันโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dry technology)

ที่มา Chavarri และคณะ (2012)

ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

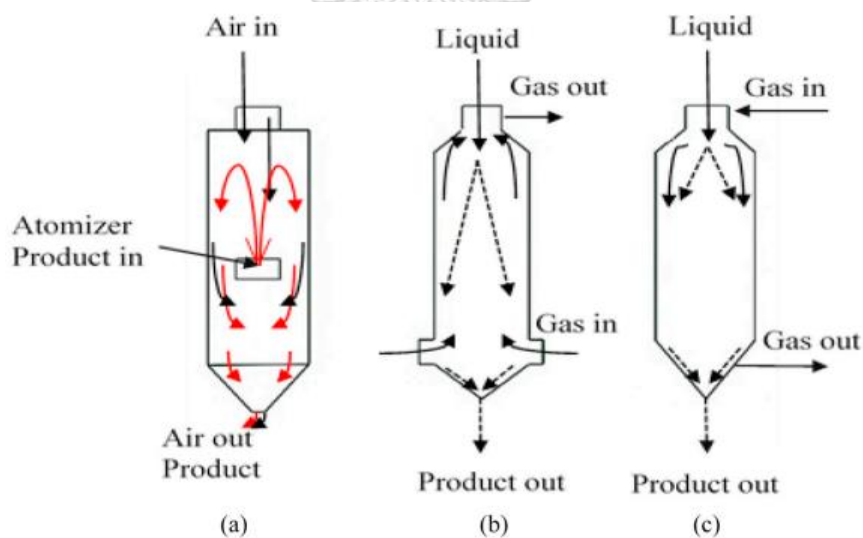
2.11.1 การทำให้ของเหลวที่มีอนุภาคขนาดเล็กหรือหยดของเหลว (Atomization) ซึ่งเป็นหลักสำคัญของการทำแห้งแบบพ่นฝอย ต้องมีการเลือกและควบคุมสภาวะในการฉีดพ่นฝอย โดยหัวฉีดที่ใช้มี 3 ชนิดคือ หัวฉีดแบบหมุน หัวฉีดแบบแรงดัน และหัวฉีดแบบสองของไหล ขึ้นอยู่กับประเภทและรุ่นของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ซึ่งหัวฉีดทั้งสามชนิดจะให้ลักษณะของอนุภาคเหมือนกัน เนื่องจากอนุภาคของเหลวมีแรงตึงผิวสูง ทำให้มีแรงเกาะติดกันระหว่างโมเลกุลมาก ดังนั้นต้องมีการควบคุมรูปร่างพื้นที่ผิวที่ส่งผลต่อปริมาณที่น้อยที่สุด คือ ทรงกลม

2.11.2 การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of Feed) เป็นกระบวนการทำให้ของเหลวพ่นฝอยกระจายตัวกลายเป็นละออง โดยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนให้ได้มากที่สุดที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคระหว่างลมร้อนกับสารผสม ถ้ามีพื้นที่ผิวสูงจะช่วยเพิ่มในการระเหยมากขึ้น สามารถระเหยน้ำออกจาก

อาหารได้รวดเร็ว และทำให้เกิดอนุภาคเล็ก ๆ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง รวมไปถึงความหนาแน่น เมื่อของเหลวมีขนาดเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนความร้อนได้มากขึ้น

2.11.3 การสัมผัสกันระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน ขั้นตอนนี้อุณหภูมิของของเหลวจะสัมผัสกับอากาศร้อนภายในถังอบแห้ง (drying chamber) เพื่อให้ น้ำในอาหารได้รับความร้อนกับอากาศ เกิดการระเหย น้ำขึ้นทันทีเมื่อสัมผัสกับลมร้อนในถัง ซึ่งการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ถ้ามีทิศทางการไหลของอากาศที่เหมาะสมจะทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยแบ่งได้ 3 แบบ ดังภาพที่ 15 คือ

- การไหลไปทิศทางเดียวกัน (Co-current flow) อาหารเหลวจะถูกพ่นออกไปในทิศทางเดียวกับอากาศร้อน เหมาะสมกับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน เนื่องจากมีการระเหยของน้ำได้อย่างรวดเร็ว ภายในระยะเวลาสั้น อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ
- การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow) อาหารเหลวถูกพ่นในทิศทางตรงกันข้ามกัน จากอุณหภูมิของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน โดยการไหลที่มีทิศทางสวนกันนี้จะมีการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมากในกระบวนการผลิต
- การไหลแบบผสมกัน (Mixed-flow) สารละลายและอากาศร้อนจะไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางพร้อม ๆ กัน



ภาพที่ 15 ประเภททิศทางการไหลของตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่องและอากาศลมร้อน (Type of spray dryers)

(a) mixed-flow (b) counter current (c) co-current

ที่มา Wisniewski (2015)

เมื่อเกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายในถังกับของเหลว ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ การระเหยเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ช่วงอัตราคงที่ (constant rate period)

ช่วงที่ความชื้นภายในอนุภาคของเหลวพ่นฝอยเท่ากับความชื้นที่ผิวหน้า อัตราการแพร่ผ่านของน้ำจาก ภายในอนุภาคมายังพื้นที่ผิวหน้ายังมีอัตราคงที่และเท่ากับการระเหยที่ผิวหน้า เมื่อระยะเวลาผ่านไปเมื่อความชื้น ลดลงจนทำให้ผิวหน้าของอนุภาคแห้งแข็ง เนื่องจากการลดลงของอัตราการระเหยส่งผลให้ความแห้งของผิวหน้า เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำแห้ง

ขั้นตอนที่ 2 ช่วงอัตราการทำให้แห้งลดลง (falling rate period)

หลังจากหยุดการระเหย อนุภาคจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิภายในของถังอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิ ส่งผลต่อความคงตัวของสารห่อหุ้ม การโป่งพองของอากาศ (ballooning) ทำให้เกิดการเร่งการสร้างตัวของผิวหน้า แข็งบริเวณรอบ ๆ ของผิวหน้าอนุภาค ซึ่งระยะเวลาและอุณหภูมิจะส่งผลถึงลักษณะพื้นผิวภายนอกของอนุภาคได้ โดยถ้าหากอุณหภูมิเข้าสูง อัตราการระเหยสูงทำให้ตัวอย่างมีผิวหน้าที่แข็งเนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว

2.11.4 หลังจากเกิดการระเหยอย่างสมบูรณ์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงถูกนำออกจากถัง อบแห้ง โดยที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิขาออก เพื่อลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์ ที่เกิดจากความร้อนได้น้อยลง ตัวผลิตภัณฑ์จะถูกแยกออกจากลมร้อนโดยการหมุนเวียนของลมร้อยในลักษณะคล้าย พายุหมุนแล้วตกลงมายังที่รอบถังผลิตภัณฑ์

การแปรรูปเนื้อทุเรียนให้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม มีการคำนึงถึงปริมาณน้ำตาลเป็นสำคัญ เนื่องจาก ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความห่วงใยต่อสุขภาพและเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพเพิ่มขึ้น ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มได้มีการใช้เทคโนโลยีการลดปริมาณน้ำตาลในน้ำผลไม้ด้วยการใช้เอนไซม์ทางการค้า Pactinex Ultra SP-L ที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็น fructooligosaccharide (FOS) ซึ่ง FOS จัดเป็นสารให้ความหวาน ทดแทนน้ำตาลที่มีรสชาติคล้ายกัน อีกทั้งยังให้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับน้ำตาลกลูโคส นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์ภายในลำไส้ ช่วยส่งเสริมให้มีสุขภาพดี และการนำเทคนิคเอนแคปซูเลชัน ร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีปัจจัยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ภาวะที่ดีที่สุดของ ร้อยละผลผลิต ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ขนาดของผงไมโครแคปซูล ประสิทธิภาพในการกักเก็บ คุณสมบัติ ทางกายภาพและเคมี โดยงานวิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำ ทุเรียนและเพิ่มปริมาณพรีไบโอติก (fructooligosaccharide, FOS) ศึกษาผลของการเติมนมต่อคุณภาพและฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษา และศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำ ทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้า

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

ทุเรียนอบแห้งแบบแช่แข็ง (จันทบุรี, ประเทศไทย)

มอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อย (Resistant Maltodextrin) (Fibersol ®-2, DE12) (Matsutani, Japan)

กัมอารบิก (Gum Arabic) (Agrigum, UK)

สารเคมี

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma Aldrich, USA)

2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) (Sigma Aldrich, USA)

6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma Aldrich, USA)

Ethanol (CH₃CH₂OH) (DEPTAL-AX, Thailand)

Folin-Ciocalteu reagent (Carlo Erba, France)

Gallic acid (C₇H₆O₅) (Fluka, Spain)

Glacial acetic acid (CH₃COOH) (A.R. grade, Qrec, New Zealand)

Glucose powder (Krungthepchemi, Thailand)

Hydrochloric acid 0.1 M (HCl) (Kemaus, Australia)

Iron (II) sulphate 7-hydrate (FeSO₄·7H₂O) (Kemaus, Australia)

Iron (III) chloride (FeCl₃) (POSH S.A., Poland)

Methanol (CH₃OH) (Fisher Scientific, UK)

Pectinex® Ultra SP-L (enzyme activity 3,800 PGNU/ml) (Novozymes, Bagsvaerd, Denmark)

Sodium acetate trihydrate (CH₃COONa·3H₂O) (Glentham, UK)

Sodium carbonate (Na₂CO₃) (A.R. grade, Ajax Finechem, Australia)

Sodium chloride (NaCl) (GHP, Thailand)

Sodium hypochlorite (NaOCl) (Loba, India)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

Lactobacillus MRS Agar (MRS Agar) (Hi-media, India)

Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth) (Hi-media, India)

M9 Minimal Medium Salt (5X) (Hi-media, India)

Plate Count Agar (Standard Methods Agar) (Hi-media, India)

Potato Dextrose Agar (Hi-media, India)

Tryptic Soy Broth (Hi-media, India)

Tryptic Soy Agar (Hi-media, India)

เครื่องมือ

กรวยแยกสาร (separatory funnel) (Arco, England)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope and energy dispersive x-ray spectrophotometer) (JEOL, รุ่น JSM-IT300, Japan)

เครื่องกวนผสมสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (hotplate stirrer) (SCILOGEX, รุ่น SCI550-S, USA)

เครื่องกวนสาร (overhead stirrer) (HT500X, รุ่น SKU-00166, Germany)

เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) (Onilab, รุ่น MX-S, USA)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance) (Mettler Toledo, รุ่น New Classic MF, Switzerland)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance) (Mettler Toledo, รุ่น MS304S, Switzerland)

เครื่องซีลสุญญากาศ (vacuum sealer) (Multivac, รุ่น A300/16, Germany)

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) (BUCHI, รุ่น mini spray dryer B-290, Switzerland)

เครื่องปั่นผสม (blender) (Tefal, รุ่น Blendforce glass BL317166, France)

เครื่องปั่นผสมแบบทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer Laboratory) (Ystral} รุ่น X10, Germany) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) (Hettich zentrifugen, รุ่น MIKRO 22R, Germany)

เครื่องวัด water activity (water activity analyzer) (AquaLab, รุ่น series3 TE, USA)

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (BioSpectrophotometer basic) (Eppendorf, USA)

เครื่องวิเคราะห์ความร้อนของสาร (differential scanning calorimeter : DSC) (NETZSCH, รุ่น 204 F1 Phoenix, Germany)

เครื่องวัดสี (chroma meter) (Konica Minolta, รุ่น CR-400, Japan)

เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (refractometer) (Master Refractometer ARAGO, รุ่น Master-M, Japan)

ตู้แช่แข็ง (freezer) (Panasonic, รุ่น SF-PC1497, Japan)

ตู้แช่เย็น (refrigerator) (Panasonic, รุ่น SBC-P2DSA, Japan)

ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (Mettler, รุ่น DO 6062, Germany)

ตู้อบ (Heraeus, รุ่น B6, Germany)

ตู้อบพร้อมเขย่า (Witeg, รุ่น WIS-30R, Germany)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำทุเรียน

ป่นทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ถูกเก็บในระยะเวลา 120 วันหลังดอกบาน รสสุกเป็นระยะเวลา 7 วัน ที่ทำแห้งแบบแช่แข็งให้ละเอียด แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงที่มีความกว้างขนาดของรู 50 mesh เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2 การศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียน

ผสมทุเรียนผงจากข้อ 3.1 กับน้ำเปล่า ด้วยเครื่องปั่นผสม ในอัตราส่วนผงทุเรียน 15 กรัม ต่อน้ำ 85 มิลลิลิตร (15% w/w) ด้วยความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที จนกระทั่งตัวอย่างมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใส่ตัวอย่างลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และนำไปเข้าเครื่องปั่นผสมแบบทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenizing mixer) ที่ความเร็ว 1,100 rpm เป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมเอนไซม์ Pectinex[®] Ultra SP-L (Novozymes, Bagsvaerd, Denmark) ที่มี enzyme activity 3,800 PGNU/mL ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าตู้ป่นพร้อมเขย่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 2, 4, 8, 24 และ 48 ชั่วโมง จากนั้นใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยมีน้ำทุเรียนที่ไม่ผสมเอนไซม์เป็นตัวอย่างควบคุม และเก็บตัวอย่างไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนการวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำทุเรียน

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำทุเรียนที่ผ่านการเติม Pectinex[®] Ultra SP-L จากข้อ 3.2 ดังนี้

3.3.1 ค่าสี ระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง chroma meter (ภาคผนวก ก.3)

3.3.2 ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ด้วยเทคนิค HPLC-ELSD ดัดแปลงตามวิธีของ Sangpong และคณะ (2021) (ภาคผนวก ข.4)

3.3.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry (Slinkard และคณะ, 1997) (ภาคผนวก ข.1)

3.3.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazal (DPPH) ดัดแปลงตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995) (ภาคผนวก ข.2)

3.3.5 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงวิธีจาก Benzie และ Strain (1996) (ภาคผนวก ข.3)

เลือกภาวะของการใช้เอนไซม์ในการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียนจำนวน 1 ภาวะ โดยพิจารณาจากปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.4 การศึกษาผลของการเติมนมต่อคุณภาพและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำทุเรียนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเย็น

ผสมทุเรียนผงจากข้อ 3.1 กับน้ำเปล่า ด้วยเครื่องปั่นผสมในอัตราส่วนผงทุเรียน 15 กรัม ต่อน้ำ 85 มิลลิลิตร (15% w/w) และเตรียมน้ำทุเรียนผสมนมโดยผสมทุเรียนผงจากข้อ 3.1 ในอัตราส่วน ผงทุเรียน 15 กรัม ต่อน้ำ 35 มิลลิลิตร และนมปริมาตร 50 มิลลิลิตร (15% w/w) ด้วยความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาทีจนกระทั่งมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และนำไปเข้าเครื่องปั่นผสมแบบทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenizing mixer) ที่ความเร็ว 1,100 rpm เป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L (Novozymes, Bagsvaerd, Denmark) ที่มี enzyme activity 3,800 PGNU/mL ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าตู้บ่มพร้อมเขย่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์

เก็บตัวอย่างในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างทุก ๆ 3 วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำทุเรียนและน้ำทุเรียนผสมนมที่ได้จากข้อ 3.2 ดังนี้

3.4.1 สมบัติตามข้อ 3.3

3.4.2 สมบัติการเป็นพรีไบโอติก (prebiotic acidity) ของ FOS ดัดแปลงจากวิธี Huebner และคณะ (2007) (ภาคผนวก ค.1)

3.4.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ค.2)

3.4.4 ปริมาณของยีสต์และรา (AOAC, 2020) (ภาคผนวก ค.3)

3.5 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ศึกษาภาวะการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ได้จากการเลือกในข้อ 3.2 โดยแปร 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของสารห่อหุ้ม (มอลโตเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อยและกัมอาระบิก) และอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (140 และ 160 องศาเซลเซียส)

เตรียมสารละลายของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดดังนี้ มอลโตเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อย (30% w/w) มอลโตเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก (30% w/w) และกัมอาระบิก (30% w/w) ด้วยเครื่องกวนผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นผสมน้ำทุเรียนกับสารละลายของสารห่อหุ้ม ในอัตราส่วนระหว่างสารสกัดต่อสารห่อหุ้ม (1:2 v/v) ด้วยเครื่องกวนผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายที่ผสมได้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมอัตราการไหลของตัวอย่างที่ 10 มิลลิลิตร/นาที ให้คงที่สำหรับในทุกการทดลอง โดยภาวะการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับต่างๆของการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ชนิดของสารห่อหุ้ม	ร้อยละความเข้มข้น ของสารห่อหุ้ม (w/w)	อุณหภูมิขาเข้าของเครื่อง ทำแห้งแบบพ่นฝอย (°C)
มอลโตเด็กซ์ทรินต้านทานการย่อย	30	140
		160
มอลโตเด็กซ์ทรินต้านทานการย่อยและ กัมอาระบิก (อัตราส่วน 1:1)	30	140
		160
กัมอาระบิก	30	140
		160

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนจากภาวะต่างๆ ดังนี้

3.5.1 สมบัติตามข้อ 3.3

3.5.2 ปริมาณความชื้น (%moisture content) (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ก.1)

3.5.3 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity, a_w) (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ก.2)

3.5.4 ผลผลิตร้อยละที่ได้ (%encapsulation yield) ดัดแปลงจากวิธีของ Ramakrishnan และคณะ (2018) (ภาคผนวก ก.4)

3.5.5 ประสิทธิภาพการกักเก็บของสารต้านออกซิเดชัน (%encapsulation efficiency, %EE) ดัดแปลงจากวิธีของ Saéenz และคณะ (2009) (ภาคผนวก ก.5)

3.5.6 ความสามารถในการละลาย (%solubility) ดัดแปลงจากวิธีของ Wang และคณะ (2019) (ภาคผนวก ก.6)

3.5.7 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) (ภาคผนวก ก.7)

3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการทดลองผลของการศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียนในการทดลองที่ 3.2 ออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ T-test ในขณะที่การทดลองที่ 3.4 การศึกษาผลของการเติมนมต่อความคงตัวของคุณสมบัติของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียน ออกแบบการทดลองแบบ 2x2 Factorial designs in Completely Randomized Design (CRD) และการทดลองที่ 3.5 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ออกแบบการทดลองแบบ 3x2 Factorial designs in Completely Randomized Design (CRD) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Turkey's (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

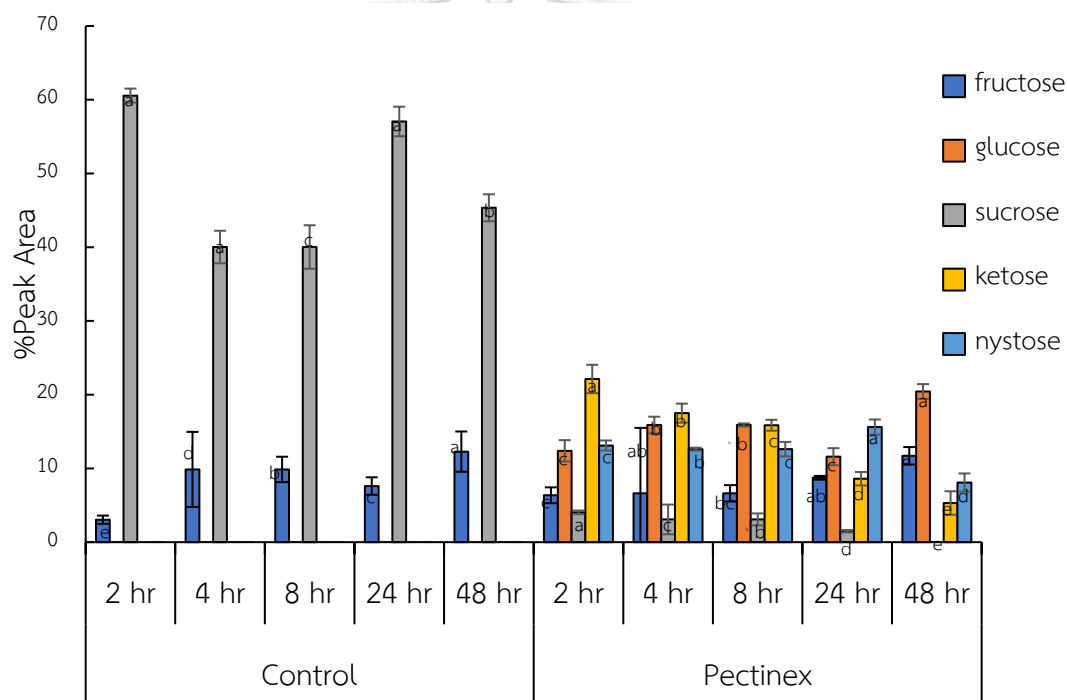
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียน

4.1.1 ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ของน้ำทุเรียนที่เติมเอนไซม์ โดยมีน้ำทุเรียนที่ไม่มีการเติมเอนไซม์เป็นตัวอย่างควบคุม (วิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC-ELSD ดัดแปลงตาม วิธีของ Sangpong และคณะ (2021) พบว่าตัวอย่างน้ำทุเรียนที่มีการเติมเอนไซม์แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2, 4, 8, 24 และ 48 ชั่วโมง (ภาพที่ 16) มีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่มีปริมาณน้ำตาลชนิดอื่น ได้แก่ กลูโคส ฟรักโทส คีส์โทส และนิสโทส มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโตแกรม

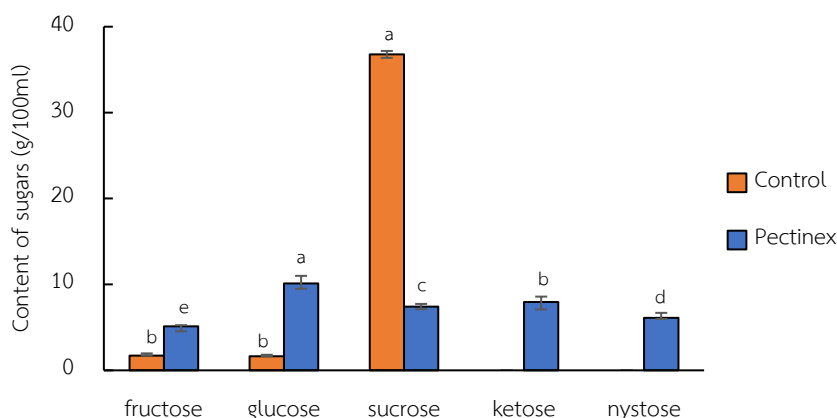


ภาพที่ 16 พื้นที่ใต้กราฟของน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ในน้ำทุเรียนที่เติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ที่บ่มด้วยระยะเวลาต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC-ESLD

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a-c) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ชนิดของน้ำตาล) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำพื้นที่กราฟไปคำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณปริมาณของน้ำตาลแต่ละชนิดในน้ำทุเรียนปริมาณ 100 มิลลิลิตร พบว่าตัวอย่างน้ำทุเรียนที่ไม่ได้เติมเอนไซม์มีน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรักโทส ในขณะที่การเติมเอนไซม์และนำตัวอย่างไปบ่มเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง (ภาพที่ 17) พบว่าน้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลง โดยน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส คีส์โทส และนิสโทส มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์สามารถย่อยโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส) ได้ อีกทั้งยังมีการสร้างน้ำตาลกลุ่มโอ

ลิโกลิแกนด์คาร์โบไฮเดรตอย่างน้ำตาลคีสโทสและนิสโทสเพิ่มขึ้น โดยการศึกษาของ Tanriseven และ Aslan ในปี 2005 รายงานว่าเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L[®] สามารถลดปริมาณน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้น 60% (w/w) โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำตาลซูโครสที่เป็นสารตั้งต้นมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาในการบ่มผ่านไป 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณของน้ำตาลซูโครสจะมีปริมาณคงที่ ในขณะที่เกิดการสร้าง FOS ทุกช่วงเวลาของการทดลอง แต่น้ำตาลซูโครสจะไม่ถูกเปลี่ยนเป็น FOS ทั้งหมดที่เดียวภายในระยะเวลาการบ่ม 24 ชั่วโมง เนื่องจากในการย่อยโมเลกุลของน้ำตาลซูโครส มีผลพลอยได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรักโทสที่จะไปแข่งขันกับน้ำตาลซูโครสในการจับกับสารตั้งต้นในการสร้าง FOS (Shecu และคณะ, 2002) ทำให้เมื่อระยะเวลาการบ่มผ่านไป 48 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสนั้นหมดไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kovács และคณะ ในปี 2020 ที่ได้ศึกษาการใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L[®] เปลี่ยนน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40% (w/w) เปอรเซ็นต์เป็นฟรักโทโอลิโกลิแกนด์ด้วยการเร่งปฏิกิริยาในถังกวน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4.5 ชั่วโมง โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาสังเคราะห์ฟรักโทโอลิโกลิแกนด์เพิ่มขึ้น น้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และมีการลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีระยะเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง แต่หลังจากที่ผ่านไป 4 ชั่วโมง น้ำตาลซูโครสมีปริมาณคงที่ ในขณะที่มีการสร้าง FOS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีระยะเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และมีแนวโน้มที่มีการผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ Hang และ Woodams ในปี 1996 ในการทดลองผลิตฟรักโทโอลิโกลิแกนด์จากน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 60% (w/v) ด้วยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L[®] ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 ชั่วโมง พบว่าปริมาณ FOS น้ำตาลกลูโคส เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระหว่าง 1-6 ชั่วโมง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีระยะเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลฟรักโทสมีปริมาณเพิ่มขึ้น หลังจากผ่านการบ่มด้วยน้ำตาลซูโครสไปเป็นระยะเวลา 14 ชั่วโมง เป็นต้นไป FOS น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรักโทสมีปริมาณที่เพิ่มเล็กน้อย



ภาพที่ 17 ปริมาณของน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ในน้ำทุเรียนที่เติมและไม่เติมเอนไซม์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a-e) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ชนิดของตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2 การศึกษาผลของการเติมนมต่อคุณภาพและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียน

4.2.1 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษา

ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่สายตามองเห็นเป็นสี สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ โดยค่า L^* แสดงถึงความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 หมายถึงสีดำ 100 หมายถึงสีขาว ส่วนค่า a^* แสดงถึงความเป็นสีเขียว ($-a^*$) และสีแดง ($+a^*$) และค่า b^* แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน ($-b^*$) และสีเหลือง ($+b^*$) จากการศึกษาผลของการเติมนมต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำทุเรียน พบว่าค่า L^* , a^* และ b^* มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 40.49 ± 0.60 ถึง 50.54 ± 0.56 , -0.93 ± 0.13 ถึง -0.31 ± 0.05 และ 10.57 ± 0.31 ถึง 13.14 ± 0.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างน้ำทุเรียน (DD) น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ (DDE) น้ำทุเรียนผสมนม (DM) และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์ (DME) มีค่า L^* และ b^* มีค่าลดลง เมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงความสว่างและความเป็นสีเหลืองมีค่าลดลง ในขณะที่ค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงความเป็นสีแดงที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างในวันเดียวกันแล้ว น้ำทุเรียนที่เติมนมจะมีค่า L^* มากกว่าน้ำทุเรียนที่ไม่ได้เติมนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากส่วนประกอบของนมที่มีลักษณะเป็นสีขาว จึงทำให้มีค่าสีที่สว่างกว่าน้ำทุเรียนไม่ผสมนม โดยในวันที่ 0 และวันที่ 15 น้ำทุเรียนที่มีการเติมนมมีค่าความสว่างสูงสุด (50.54 ± 0.56 และ 47.74 ± 0.43 ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำทุเรียนที่เติมเอนไซม์และไม่ได้เติมเอนไซม์ ในวันที่ 0 ค่าความสว่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาที่เป็นเวลา 15 วัน ความสว่างของน้ำทุเรียนผสมนมที่มีการเติมและไม่เติมเอนไซม์มีค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่น้ำทุเรียนผสมนมที่มีการเติมเอนไซม์มีความสว่างมากกว่า ในขณะที่น้ำทุเรียนและน้ำทุเรียนที่เติมเอนไซม์มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่า $+b^*$ และ $-a^*$ ของตัวอย่างน้ำทุเรียนได้รับอิทธิพลมาจากสีของตัวอย่างทุเรียนที่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการสุกของทุเรียน อีกทั้งตัวอย่างทุเรียนที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้เกิดการสูญเสียของน้ำภายในเนื้อทุเรียนสด จึงมีสีที่แสดงความเหลืองได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่าค่า $+b^*$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวันที่ 0 ตัวอย่างน้ำทุเรียนผสมนมที่มีการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์มีค่า $+b^*$ สูงที่สุด (50.18 ± 0.54 และ 50.54 ± 0.56 ตามลำดับ) ในขณะที่น้ำทุเรียนที่ไม่มีการเติมเอนไซม์มีค่า L^* น้อยที่สุด (43.36 ± 0.17) และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน พบว่าตัวอย่างน้ำทุเรียนผสมนมที่มีการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์และน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์มีค่า L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างในวันเดียวกัน ในวันที่ 0 และ 15 ตัวอย่างน้ำทุเรียนผสมและไม่ผสมนมมีค่า L^* ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่า a^* ที่แสดงถึงความเป็นสีแดงและสีเขียว เมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าค่า a^* ของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยในวันที่ 0 ตัวอย่างน้ำทุเรียนและน้ำทุเรียนผสมนมที่มีการเติมเอนไซม์มีค่าความเป็นสีเขียวมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ -0.48 ± 0.10 และ -0.40 ± 0.10 ตามลำดับ ในขณะที่ 15 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างน้ำทุเรียนผสมนมที่มีการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์มีค่า a^* สูงที่สุด

(-0.32 ± 0.02 และ -0.31 ± 0.05 ตามลำดับ) โดยเมื่อพิจารณาจากค่า b^* และ a^* แล้ว ตัวอย่างน้ำทุเรียนทั้ง 4 ตัวอย่างมีลักษณะสีเหลืองอ่อนปนเขียวเล็กน้อย

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า L^* และ b^* มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า a^* เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดชนิดไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ของน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (reducing sugar) อีกทั้งมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาที่มีน้ำตาลจากน้ำทุเรียนและนมทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ที่เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายพันธะของน้ำตาลซูโครสได้น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสที่มีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ซิง ที่จะส่งผลก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับกรดอะมิโนที่มีในนม ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นภายในผลิตภัณฑ์จากการสร้างเม็ดสีเมลานอยดิน (melanoidins) (Morales และ Jiménez Pérez, 2000) ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีระหว่างเก็บรักษา (Xiang และคณะ, 1998, Bassey และคณะ, 2013) และจากงานวิจัยของ Cortés และคณะ (2008) พบว่าน้ำส้มพาสเจอร์ไรซ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 อาทิตย์ พบว่าค่าสี L^* และ b^* มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า a^* เพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของน้ำทุเรียนวันที่ 0 และวันที่ 15

วันที่เก็บรักษา	ตัวอย่าง	ค่าสี		
		L^*	a^*	b^*
0	DD	$43.36 \pm 0.17^{B,b}$	$-0.93 \pm 0.13^{C,c}$	$10.57 \pm 0.31^{C,c}$
	DDE	$42.38 \pm 0.06^{B,b}$	$-0.47 \pm 0.03^{A,a}$	$12.36 \pm 0.02^{B,b}$
	DM	$50.18 \pm 0.54^{A,a}$	$-0.69 \pm 0.07^{B,b}$	$13.04 \pm 0.17^{A,a}$
	DME	$50.54 \pm 0.56^{A,a}$	$-0.44 \pm 0.05^{A,a}$	$13.14 \pm 0.10^{A,a}$
15	DD	$40.49 \pm 0.60^{C,c}$	$-0.85 \pm 0.10^{C,c}$	$10.94 \pm 0.48^{B,b}$
	DDE	$41.56 \pm 0.38^{C,c}$	$-0.51 \pm 0.08^{B,b}$	$11.99 \pm 0.40^{A,a}$
	DM	$47.74 \pm 0.43^{A,a}$	$-0.32 \pm 0.02^{A,a}$	$11.97 \pm 0.23^{A,a}$
	DME	$46.18 \pm 0.81^{B,b}$	$-0.31 \pm 0.05^{A,a}$	$12.82 \pm 0.03^{A,a}$

*DD = Durian drink, DDE = Durian drink treated with enzyme, DM = Durian drink with milk, DME = Durian drink with milk treated with enzyme

* ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (A^C) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ตามระยะเวลา) ของแต่ละแถวแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a^c) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ชนิดของตัวอย่าง) ของแต่ละแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ในการวัดความแตกต่างของสีสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างกันของค่า L^* , a^* และ b^* ในแต่ละตัวอย่างที่เปรียบเทียบกันระหว่างวันที่ 0 และวันที่ 15 โดยค่าความแตกต่างสีดังกล่าว คือ ค่าความแตกต่างสีรวม

ของ CIE (total color difference) ที่มีสัญลักษณ์แทนด้วย ΔE^* ซึ่งค่าความแตกต่างของสีนี้จะแสดงถึงความสามารถในการรับสีด้วยตาของมนุษย์ที่มองเห็นความแตกต่างกัน จากผลการทดลองค่าความแตกต่างของสีในแต่ละตัวอย่างที่เปรียบเทียบในวันที่ 0 และวันที่ 15 ดังตารางที่ 4 พบว่าตัวอย่าง มีค่า ΔE^* อยู่ระหว่าง 0.90 ± 0.26 ถึง 4.37 ± 0.19 โดยที่น้ำทุเรียนผสมนมเต็มเอนไซม์มีค่าความแตกต่างของสีสูงสุด (4.37 ± 0.19) ซึ่งหมายถึงสีของตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อมองด้วยสายตาของมนุษย์ (Finn, 2021) ในขณะที่ตัวอย่างน้ำทุเรียนผสมนมและน้ำทุเรียนมีค่าความแตกต่างของสีคือ 2.69 ± 0.44 และ 2.89 ± 0.41 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงสีของตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันพอสมควร ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมเอนไซม์มีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดคือ 0.90 ± 0.26 ซึ่งหมายถึงตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีในแต่ละตัวอย่างระหว่างวันที่ 0 และวันที่ 15 พบว่า น้ำทุเรียนผสมนมเต็มเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมนมและน้ำทุเรียนมีความแตกต่างของสีในระดับที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ ส่วนน้ำทุเรียนผสมเอนไซม์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4 ค่า ΔE^* ของน้ำทุเรียนเปรียบเทียบวันที่ 0 และวันที่ 15

ตัวอย่าง	ค่า ΔE^*
DD	2.89 ± 0.41^b
DDE	0.90 ± 0.26^c
DM	2.69 ± 0.44^b
DME	4.37 ± 0.19^a

*DD = Durian drink, DDE = Durian drink treated with enzyme, DM = Durian drink with milk, DME = Durian drink with milk treated with enzyme

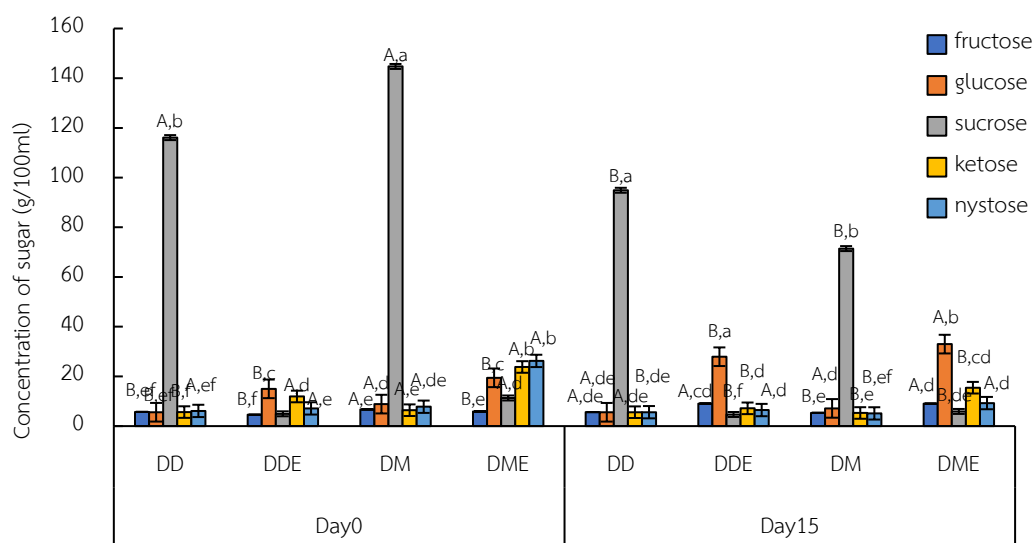
* ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a-c}) หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2.2 ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ในน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ของน้ำทุเรียน น้ำทุเรียนเต็มเอนไซม์ น้ำทุเรียนผสมนม และน้ำทุเรียนผสมนมเต็มเอนไซม์ โดยป่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าปริมาณน้ำตาลซูโครสและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์มีปริมาณลดลง ในขณะที่น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 18) เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของน้ำตาลซูโครสที่เป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดยการย่อยของน้ำตาลซูโครสที่เป็นสารตั้งต้นในการสร้างฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ในน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้เกิดการสร้างปริมาณของฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ลดลงด้วยเช่นกัน อีกทั้งมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่มีการนำน้ำตาลไปใช้เป็นแหล่ง

อาหารสำหรับการเจริญเติบโตที่สร้างความเครียดเพิ่มขึ้นให้กับผลิตภัณฑ์ โดยน้ำทุเรียนที่มีส่วนผสมของนมซึ่งมีไขมันและน้ำตาลแลคโทส เกิดการย่อยสลายของโปรตีนทำให้ได้กรดไขมันและกรดแลกติกที่ส่งผลให้น้ำทุเรียนมีความเครียดเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลง (Jouki และ Khazaei, 2012) อีกทั้งฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์สามารถเกิดการย่อยได้ง่ายเนื่องจากมีความไวสภาวะความเครียดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดการย่อยสลายทั้งหมดหรือเพียงเฉพาะบางส่วนของโมเลกุลส่งผลให้เมื่อมีระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จะมีสายที่สั้นลงและเกิดการผลิตกลูโคสและฟรักโทสเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์และน้ำตาลซูโครส (Courtin และคณะ, 2009) โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Renuka และคณะ (2009) ที่ศึกษาผลของการเติมฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ในเครื่องดื่มน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำสับปะรด น้ำมะม่วง และน้ำส้มพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยแบ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์มีปริมาณลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษาพบว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถลดการเสื่อมสลายของปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ดีกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และในการทดลองของ Cascades และคณะ (2021) ที่ศึกษาความคงตัวของฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ในน้ำสับปะรดเข้มข้นพาสเจอร์ไรซ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่าปริมาณน้ำตาลซูโครสและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์มีปริมาณลดลงและปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของน้ำตาลซูโครสที่เป็นสารตั้งต้นในการสร้างฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ลดลง ซึ่งส่งผลต่อปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีปริมาณลดลงด้วยเช่นกัน ในขณะที่ระหว่างการเก็บรักษาสามารถเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และการเกิดสภาวะความเครียดจากการย่อยสลายน้ำตาลของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์มีปริมาณลดลง และมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 18 ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) เมื่อระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

*DD = Durian drink, DDE = Durian drink treated with enzyme, DM = Durian drink with milk, DME = Durian drink with milk treated with enzyme

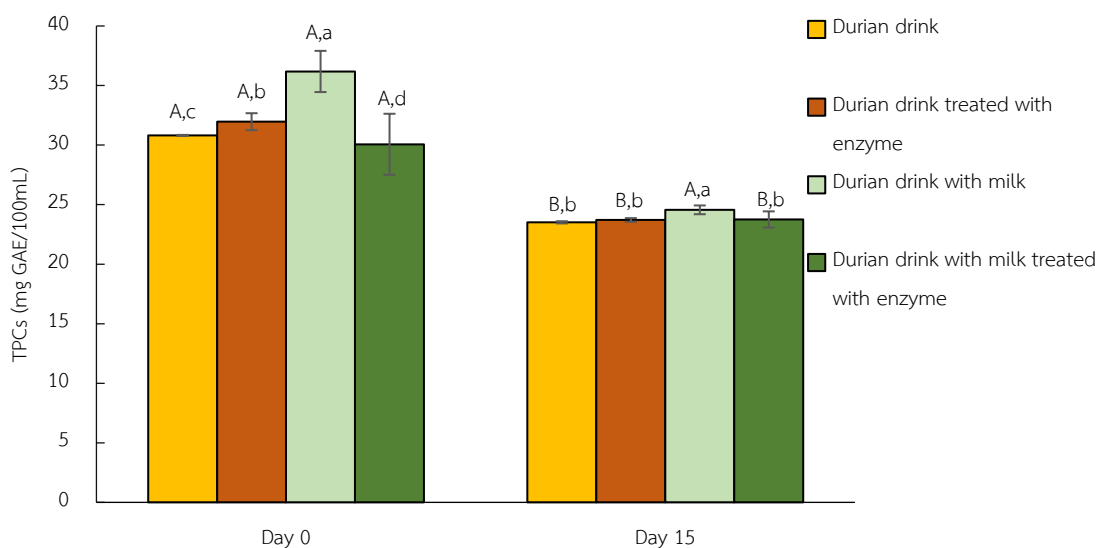
* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{A-C}) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ตามระยะเวลา) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a-c}) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ชนิดของตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษา

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่สามารถพบได้มากในผักและผลไม้ ซึ่งจัดเป็นสารที่มีการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลิกที่พบในทุเรียนหมอนทอง ประกอบด้วย ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) กรดฟีนอลิก (phenolic acids) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นต้น (Heruenkit และคณะ, 2007, Gorinestein และคณะ, 2011) จากการศึกษาผลของการเติมนมต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าระหว่าง 23.44 ± 0.37 ถึง 36.18 ± 0.71 mg GAE/100 mL (ภาพที่ 19)

เมื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างน้ำทุเรียนที่มีการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่างน้ำทุเรียน โดยน้ำทุเรียนผสมนมไม่เติมเอนไซม์มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากวันที่ 0 ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 36.18 ± 0.71 mg GAE/100 mL และปริมาณลดลงเหลือ 24.56 ± 0.15 mg GAE/100 mL ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแต่ละตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างน้ำทุเรียนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 30.06 ± 2.56 ถึง 36.18 ± 0.71 mg GAE/100 mL และในช่วง 23.44 ± 0.37 ถึง 24.56 ± 0.15 mg GAE/100 mL ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยน้ำทุเรียนผสมนมที่ไม่มีการเติมเอนไซม์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดเท่ากับ 24.56 ± 0.15 mg GAE/100 mL



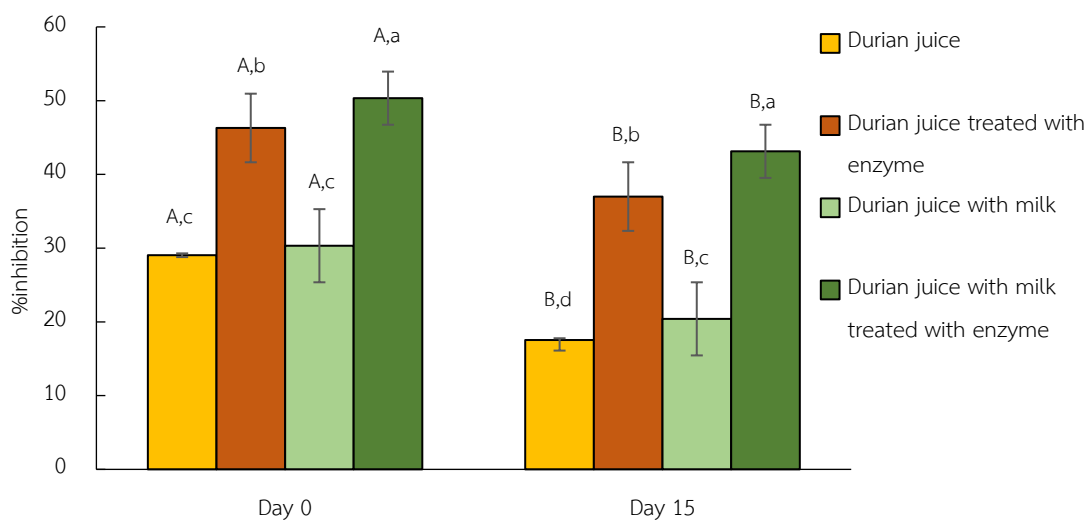
ภาพที่ 18 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{A-B}) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (เวลาเก็บรักษา) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a-c}) หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ชนิดของตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำทุเรียน

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-procylhydrazyl (DPPH) เป็นการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระ โดยที่ DPPH เป็นอนุมูลอิสระไนโตรเจนที่มีความเสถียร เมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลของอนุมูลอิสระอื่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทำให้ไม่มีฤทธิ์ในการเป็นอนุมูลอิสระอีก (Hou และคณะ, 2001) จากการศึกษาผลของการเติมนมต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน พบว่าน้ำทุเรียนมี %inhibition อยู่ในช่วง 17.54 ± 0.26 ถึง $50.33 \pm 0.40\%$ (ภาพที่ 20) %inhibition ของน้ำทุเรียนทุกตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำทุเรียนในวันที่ 0 และ วันที่ 15 พบว่าน้ำทุเรียนผสมนมมีค่า %inhibition ลดลงแตกต่างจากน้ำทุเรียนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างน้ำทุเรียนในแต่ละวัน พบว่า ในวันที่ 0 น้ำทุเรียนที่ผสมนมและน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มี %inhibition แตกต่างจากน้ำทุเรียนและน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ $50.33 \pm 0.40\%$ ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมนม น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ และน้ำทุเรียน มีค่า %inhibition เท่ากับ $30.33 \pm 0.26\%$, $46.29 \pm 2.71\%$ และ $29.05 \pm 1.43\%$ ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 15 วัน พบว่าตัวอย่างน้ำทุเรียนทุกตัวอย่างมี %inhibition แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด โดยมีค่า %inhibition เท่ากับ $43.13 \pm 0.74\%$ ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมนม น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ และน้ำทุเรียน มีค่า %inhibition เท่ากับ 36.99 ± 0.56 , 20.41 ± 0.62 และ $17.54 \pm 0.26\%$ ตามลำดับ

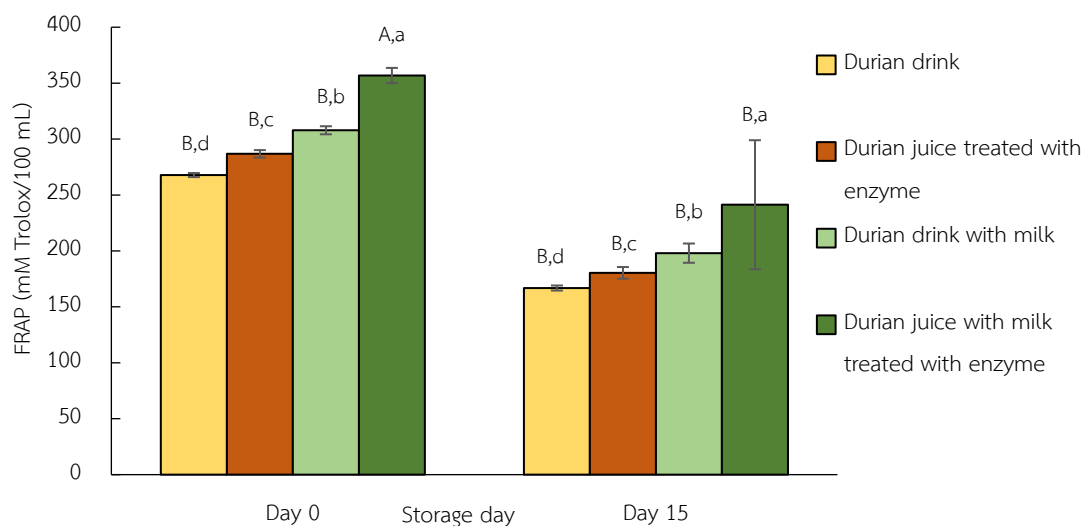


ภาพที่ 19 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{A-B}) หมายถึงค่าเฉลี่ย (เวลาเก็บรักษา) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a-d}) หมายถึงค่าเฉลี่ย (ชนิดตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) เป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการรับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระและทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน จากการศึกษาผลของการเติมนมต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ในน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มีค่าระหว่าง 166.86 ± 2.27 ถึง 376.07 ± 6.80 mM Trolox/100 mL (ภาพที่ 21) โดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของทุกตัวอย่างมีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ในวันที่ 0 และวันที่ 15 ของการเก็บรักษา พบว่าน้ำทุเรียนที่ไม่ได้มีการเติมเอนไซม์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ลดลงแตกต่างจากน้ำทุเรียนที่มีการเติมเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำทุเรียนในแต่ละระยะการเก็บรักษาพบว่า ในวันที่ 0 ตัวอย่างน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงที่สุด (376.07 ± 6.80 mM Trolox/100 mL) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมนม น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ และน้ำทุเรียนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 307.88 ± 3.33 , 286.81 ± 3.60 และ 267.82 ± 1.81 mM Trolox/100 mL ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างน้ำทุเรียนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาที่ 15 วัน โดยน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงที่สุด (241.30 ± 0.68 mM Trolox/100 mL) ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมนม น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ และน้ำทุเรียนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 198.03 ± 5.21 , 180.40 ± 8.61 และ 166.86 ± 2.23 mM Trolox/100 mL ตามลำดับ



ภาพที่ 20 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำทุเรียนระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{A-B}) หมายถึงค่าเฉลี่ย (เวลาเก็บรักษา) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a-d}) หมายถึงค่าเฉลี่ย (ชนิดตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีผลไปแนวทิศทางเดียวกัน คือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การ

ด้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เกิดสูญเสียได้ง่ายเนื่องจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ หลายปัจจัย เช่น แสงสว่าง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจน การทำงานของเอนไซม์ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Lao และ Giusti, 2007) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Londoño และคณะ (2017) ที่ศึกษาสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน และพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงเนื่องจากแสงและออกซิเจน โดยแสงและออกซิเจนส่งผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกได้ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บรักษา และส่งผลต่อการสูญเสียของสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างน้ำทุเรียนในการทดลองนี้ พบว่าน้ำทุเรียนที่มีการผสมนมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าน้ำทุเรียนที่ไม่ได้ผสมนม เนื่องจากนมมีโปรตีนเคซีน (casein) ที่เป็นโปรตีนสำคัญในน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระของไขมัน อีกทั้งโครงสร้างหลักของโมเลกุลเคซีนยังทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ (Suetsuna และคณะ, 2000) อีกหนึ่งส่วนประกอบในนมคือเวย์โปรตีน (whey protein) ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและจับกับโลหะหนัก (Erel ö, 2004) อีกทั้งยังมีเบต้าแคโรทีนอยด์ (β -carotenoid) ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สามารถจับโมเลกุลออกซิเจนที่ไม่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (singlet oxygen) และอนุมูลอิสระเพอรอกซิไดล์ที่สามารถเกิดขึ้นในนมได้ (Khan และคณะ, 2019)

4.2.5 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำทุเรียน

การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง โดยกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ โดยน้ำผลไม้เพื่อสุขภาพควรมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ระหว่าง $1,000$ ($3 \log_{10}$) ถึง $100,000$ ($5 \log_{10}$) แต่ไม่ควรมีปริมาณเกิน $6 \log \text{CFU/mL}$ (Lee และ Salmien, 1995) ในการวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ของน้ำทุเรียน น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ น้ำทุเรียนผสมนม และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์ พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา โดยมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่า $4 \log \text{CFU/mL}$ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 5) โดยตัวอย่างน้ำทุเรียน น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ น้ำทุเรียนผสมนม และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นในของวันเก็บรักษาเท่ากับ 1.48 ± 0.01 , 1.36 ± 0.07 , 1.30 ± 0.03 และ $1.54 \pm 0.04 \log \text{CFU/mL}$ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาในวันที่ 15 พบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 3.34 ± 0.02 , 3.66 ± 0.06 , 3.58 ± 0.05 และ $3.61 \pm 0.01 \log \text{CFU/mL}$ ตามลำดับ และปริมาณยีสต์และราของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเป็นไปทางเดียวกันโดยปริมาณยีสต์และราเริ่มต้นของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 1.30 ± 0.05 , 1.44 ± 0.02 , 1.58 ± 0.01 และ $1.85 \pm 0.02 \log \text{CFU/mL}$ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา (15 วัน) ตัวอย่างน้ำทุเรียนมีปริมาณยีสต์และราเพิ่มขึ้นเป็น 3.21 ± 0.03 , 3.30 ± 0.05 , 3.26 ± 0.01 และ $3.51 \pm 0.04 \log \text{CFU/mL}$ ตามลำดับ และพบว่าตัวอย่างที่เติมเอนไซม์มีปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์รามากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ เนื่องจากมีการสร้างพริกไทโอย์โกลแคชคิคาไรด์ซึ่งมี

คุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่สามารถช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี และน้ำทุเรียนที่มีการผสมนมมีปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์รามากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผสมนม เนื่องจากมีส่วนประกอบของนมที่เป็นแหล่งอาหารสำคัญที่ดีและเหมาะแก่การที่จุลินทรีย์นำมาใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chia และคณะ (2012) ที่ศึกษาสมบัติของน้ำสับปรดพาสเจอไรซ์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 13 อาทิตย์ โดยพบว่าน้ำสับปรดพาสเจอไรซ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยในระยะเวลาช่วง 2 อาทิตย์แรก มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 4 log CFU/mL และมีอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า 13 อาทิตย์ เนื่องจากการใช้ความร้อนในกระบวนการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมินี้สามารถทำลายและยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Asiam และ Quaye (2018) ที่ศึกษาสมบัติของน้ำทุเรียนเทศพาสเจอไรซ์ (*Annona muricata* L.) ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 อาทิตย์ โดยพบว่าน้ำทุเรียนเทศพาสเจอไรซ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ราเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยในช่วง 2 อาทิตย์แรกของการเก็บรักษา ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 2 log CFU/mL และมีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 3 log CFU/mL ซึ่งปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์ราส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการเสื่อมเสียและมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ เช่น สีเปลี่ยน เกิดรสเปรี้ยว มีกลิ่นเหม็นหรือกลิ่นเปรี้ยว เนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไป รวมถึงการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของน้ำทุเรียนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน

Treatment	Storage day	Microorganism's count	
		TPC (log CFU/mL)	YMC (log CFU/mL)
Durian drink	0	1.48±0.01	1.30±0.05
	3	1.54±0.03	1.88±0.01
	6	2.16±0.02	2.24±0.04
	9	2.28±0.01	2.63±0.02
	12	3.01±0.02	3.14±0.03
	15	3.34±0.02	3.21±0.03
Durian drink treated with enzyme	0	1.36±0.07	1.44±0.02
	3	1.95±0.04	1.92±0.02
	6	2.24±0.01	2.74±0.01
	9	3.01±0.02	3.11±0.05
	12	3.30±0.02	3.16±0.04
	15	3.66±0.06	3.30±0.05

	0	1.30±0.03	1.58±0.01
	3	1.69±0.02	2.02±0.01
Durian drink with milk	6	2.25±0.01	2.27±0.04
	9	2.74±0.01	2.85±0.02
	12	3.11±0.04	3.20±0.03
	15	3.58±0.05	3.26±0.01
	0	1.54±0.04	1.85±0.02
	3	1.81±0.03	2.24±0.02
Durian drink with milk treated with enzyme	6	2.54±0.03	2.62±0.03
	9	2.81±0.02	3.13±0.01
	12	3.22±0.01	3.25±0.01
	15	3.61±0.01	3.51±0.04

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.6 สมบัติความเป็นพรีไบโอติกของน้ำทุเรียน

พริกไทโพลิไกลแซกคาไรด์มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) เนื่องจากเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก แต่แบคทีเรียบางชนิดที่อยู่ภายในลำไส้ใหญ่สามารถใช้เป็นอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ (Gibson และ Roberfroid, 1995) ในการวิเคราะห์สมบัติความเป็นพรีไบโอติกของน้ำทุเรียน เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกของน้ำทุเรียน น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ น้ำทุเรียนผสมนม และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์ โดยวัดการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่ผสม 1% w/v ของน้ำทุเรียนชนิดต่างๆ และ MRS Broth ที่ผสม 1% กลูโคส และวัดการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* TISTR 117 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ M9 Minimal Salt (5X) ที่ผสม 1% w/v ของน้ำทุเรียนชนิดต่างๆ และอาหารเลี้ยงเชื้อ M9 Minimal Salt (5X) ที่ผสม 1% กลูโคส วัดการเจริญของเชื้อในชั่วโมงที่ 0 และ 24 เพื่อใช้ในการคำนวณค่าคะแนนพรีไบโอติกแอกทิวิตี (prebiotic activity score) ของตัวอย่างน้ำทุเรียน น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ น้ำทุเรียนผสมนม และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์ ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 6) จากผลการทดลองพบว่าน้ำทุเรียน น้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ น้ำทุเรียนผสมนม และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีค่า prebiotic activity score เท่ากับ 0.139 ± 0.001 , 0.324 ± 0.02 , 0.405 ± 0.01 และ 0.796 ± 0.04 ตามลำดับ โดยน้ำทุเรียนทุกตัวอย่างมีค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตีเป็นบวก ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างน้ำทุเรียนทุกตัวอย่างมีคุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติก (นัชชา และคณะ, 2019) น้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตีสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมนมและน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์มีค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำทุเรียนที่ไม่มีการเติมเอนไซม์และมีการเติมเอนไซม์ พบว่าน้ำทุเรียนที่มีการเติมเอนไซม์มีค่า prebiotic activity เพิ่มขึ้น ซึ่ง

สอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ในการใช้เอนไซม์สามารถลดปริมาณน้ำตาลซูโครสและเพิ่มปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำทุเรียนที่ผสมนมและไม่มีส่วนผสม พบว่าตัวอย่างน้ำทุเรียนผสมนมมีค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตีสูงเมากว่าน้ำทุเรียนไม่ผสมนม เนื่องจากในน้ำนมวัวอุดมไปด้วยโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีความสามารถในการทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติกได้ (Zivkovic และ Barile, 2011)

ตารางที่ 6 ค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตีของน้ำทุเรียน

ชนิดของตัวอย่างน้ำทุเรียน	ค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตี (prebiotic activity score)
Durian drink	0.139±0.001 ^c
Durian drink treated by enzyme	0.324±0.02 ^b
Durian drink with milk	0.405±0.01 ^b
Durian drink with milk treated by enzyme	0.796±0.04 ^a

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแถวแนวตั้ง (^{a-c}) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา และค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตี ของตัวอย่างน้ำทุเรียนชนิดต่างๆ พบว่าน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงและมีปริมาณ FOS เพิ่มขึ้น มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และค่าพรีไบโอติกแอกทิวิตีสูง ในขณะที่น้ำทุเรียนผสมนมและน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์ มีส่วนประกอบของนมซึ่งส่งผลให้เสื่อมเสียง่ายและมีลักษณะของการแยกชั้นผลิตภัณฑ์ เกิดตะกอนนมที่จับตัวเป็นก้อนอยู่บริเวณก้นขวด ดังนั้นจึงเลือกน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.3.1 ร้อยละผลผลิต (%yield)

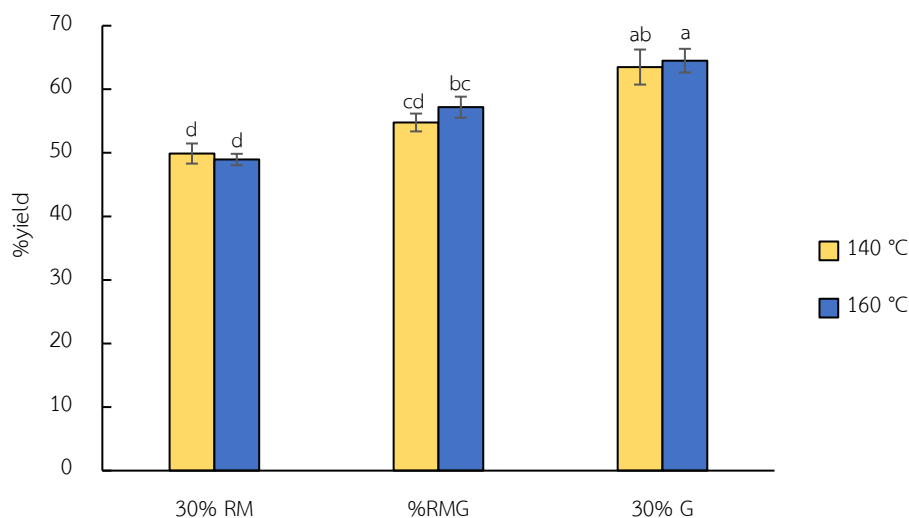
การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีหนึ่งของการเอนแคปซูลเลชันสารสำคัญ เช่น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พรีไบโอติก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสื่อมเสียหรือสูญเสียสารสำคัญระหว่างการเก็บรักษาจากสภาพแวดล้อมหลายปัจจัย เช่น ออกซิเจน แสง หรือความชื้น โดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยได้รับความนิยมอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องดื่ม อาหารเสริม และยา เป็นต้น จากการศึกษาผลของชนิดสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์และสารห่อหุ้ม 1:2 v/v ควบคุมอัตราการไหลของตัวอย่างเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยอยู่ที่ 10 มิลลิลิตร

ต่อมาที่พบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีร้อยละผลผลิต (% yield) ระหว่าง 48.94 ± 0.90 ถึง 64.50 ± 1.86 (ภาพที่ 22)

เมื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัย ได้แก่ ชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าต่อร้อยละผลผลิตของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน พบว่าชนิดของสารห่อหุ้มมีอิทธิพลต่อร้อยละผลผลิต ในขณะที่อุณหภูมิขาเข้าและปัจจัยร่วมทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยการศึกษาชนิดของสารห่อหุ้มในการผลิตผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน ที่อุณหภูมิขาเข้า 140 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้กัมอาระบิกให้ร้อยละผลผลิตมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 63.49 ± 2.76 ในขณะที่การใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิกและใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้ม มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 54.77 ± 1.40 และ 49.89 ± 1.58 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าจาก 140 เป็น 160 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการใช้กัมอาระบิกให้ร้อยละผลผลิตมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 64.50 ± 1.86 ในขณะที่ร้อยละผลผลิตของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตจากมอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิกมีค่าเท่ากับ 57.18 ± 1.66 แต่การใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ร้อยละผลผลิตมีค่าลดลงและมีค่าร้อยละผลผลิตเท่ากับ 48.94 ± 0.90

จากการศึกษาปัจจัยชนิดของสารห่อหุ้ม พบว่าการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มทำให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยและมอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม เนื่องจากกัมอาระบิกเป็นสารที่ประกอบด้วยสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน โดยไกลโคโปรตีนส่งผลต่อการสร้างลักษณะของชั้นสารห่อหุ้มบริเวณผิวหน้าของผงไมโครแคปซูล ทำให้สารห่อหุ้มเกิดการจับตัวกัน สามารถเกาะตัวสร้างชั้นพอลิเมอร์บริเวณพื้นที่ผิวภายนอกของผงไมโครแคปซูลได้ดี และมีความสามารถในการระเหยของของเหลวบริเวณผิวหน้าของสารห่อหุ้ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Agetha และคณะ (2021) ที่ศึกษาการผลิตผงไมโครแคปซูลคอมบูชาแก้วมังกรแดง และพบว่าการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มให้ปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม นอกจากนี้การใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มทำให้สารละลายผสมมีควมตึงผิวของของเหลวต่ำทำให้ลดการยึดเกาะของผงที่บริเวณภายในถังอบลมร้อนจึงส่งผลให้ได้รับร้อยละผลผลิตที่สูง (Tontul และคณะ 2017)

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจาก 140 เป็น 160 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นสำหรับตัวอย่างที่ผลิตจากกัมอาระบิกและมอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก เนื่องจากความร้อนภายในถังลมร้อนของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการถ่ายโอนความร้อนระหว่างลมร้อนกับของเหลวได้ดีมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tolun และคณะ (2016) ที่ศึกษาการผลิตผงไมโครแคปซูลจากกากองุ่นโดยใช้สารห่อหุ้มเป็นมอลโตเด็คซ์ตรินผสมกัมอาระบิก และพบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าร้อยละผลผลิตมากกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้ม



ภาพที่ 21 ร้อยละผลผลิตทั้งหมด (% yield) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

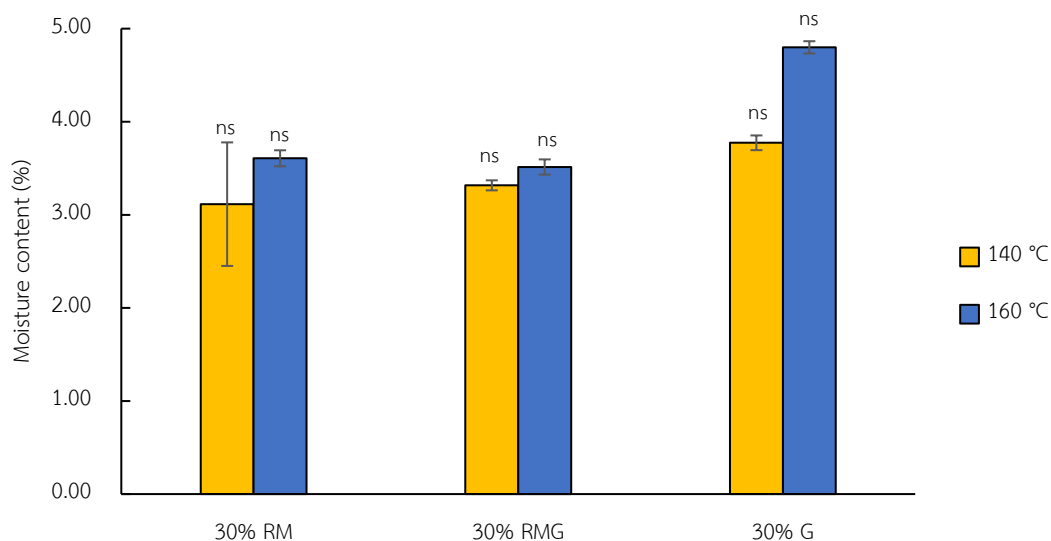
* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a-d) หมายถึงค่าเฉลี่ย (ชนิดตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.2 ปริมาณความชื้น (%moisture content) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w)

ความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของอาหารซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี ชีวเคมี จุลินทรีย์และอายุการเก็บรักษาของผงไมโครแคปซูล โดยปริมาณความชื้นคือปริมาณน้ำทั้งหมดในอาหารซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ น้ำที่จับกับสารอื่นหรือถูกใช้ในการสร้างพันธะ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก ซึ่งมีความคงตัวและความเสถียรสูง น้ำชนิดนี้มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ อีกหนึ่งส่วนเป็นน้ำอิสระ ซึ่งเป็นน้ำที่ไม่จับกับโมเลกุลใดในอาหาร มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยมาก ทำให้สามารถถูกแยกออกจากอาหารได้ง่าย และจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ ในการกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการถนอมอาหารด้วยการกำจัดน้ำที่เป็นหนึ่งปัจจัยในการทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพได้ จึงมักมีการระเหยหรือเติมเกลือ/น้ำตาลลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อกำจัดปริมาณน้ำอิสระ เพื่อให้ค่ากิจกรรมของน้ำมีปริมาณที่ลดลง โดยค่ากิจกรรมของน้ำมีค่าระหว่าง 0-1 ซึ่งผลิตภัณฑ์กลุ่มที่มีน้ำน้อย มีลักษณะเป็นอาหารแห้งหรือเป็นผงควรมีค่ากิจกรรมของน้ำน้อยกว่า 0.5 และมีปริมาณความชื้นน้อยกว่า 20% เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (%moisture content) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยแปรชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้า พบว่าชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณความชื้นของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อแยกพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยหรือปัจจัยเดี่ยว (ชนิดของ

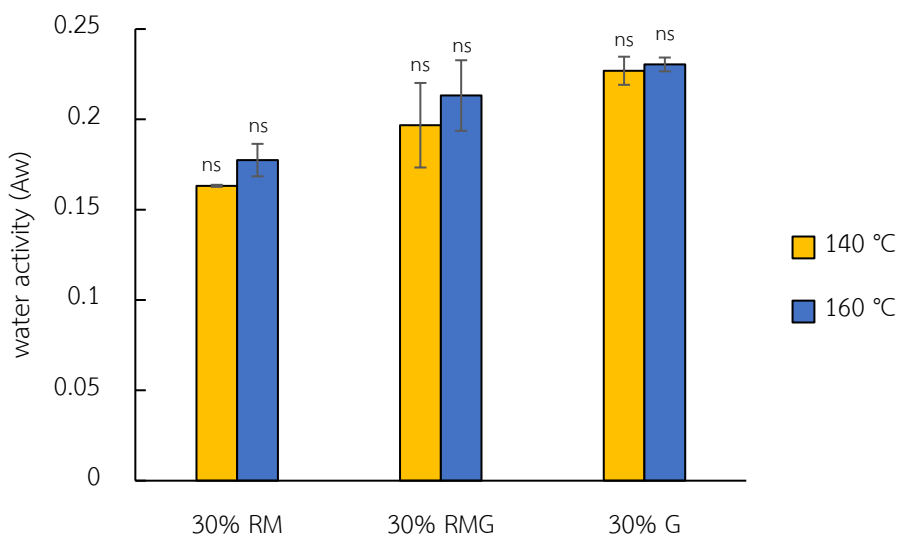
สารห่อหุ้มและอนุหุมิขาเข้า) พบว่าปัจจัยเดียวไม่มีส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกัน โดยผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีปริมาณความชื้นระหว่าง $3.12\pm 0.66\%$ ถึง $4.80\pm 0.07\%$ (ภาพที่ 23) และมีค่ากิจกรรมของน้ำในช่วง 0.16 ± 0.01 ถึง 0.23 ± 0.03 (ภาพที่ 24) ซึ่งปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนโดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงต้องปริมาณความชื้นไม่เกิน 8% และมีค่ากิจกรรมของน้ำไม่เกิน 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2563) จากภาพที่ 22 และ 23 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออนุหุมิขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้อนุหุมิที่สูงมากอาจทำให้เกิดการสร้างตัวบริเวณผิวด้านนอกของสารห่อหุ้มทันที ทำให้เกิดการแพร่ระเหยของของเหลวได้ยาก และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารห่อหุ้มพบว่ากัมอาระบิกส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำสูงที่สุด โดยผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตจากมอลโตเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิกและมอลโตเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อยมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำลดลงตามลำดับ เนื่องจากกัมอาระบิกมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่ามอลโตเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อย ทำให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีความสามารถในการดูดซับน้ำจากสภาพแวดล้อมเข้ามาภายในอนุภาคได้เร็วกว่ามอลโตเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อย จึงส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำมากกว่า (Montenegro และคณะ, 2012) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาการผลิตผงน้ำแบล็คเบอร์รี่ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินและกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม และพบว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กัมอาระบิกและสารห่อหุ้มผสมระหว่างมอลโตเด็กซ์ทรินและกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม (Ferrari และคณะ, 2013)



ภาพที่ 22 ปริมาณความชื้น (% moisture content) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

* ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)



ภาพที่ 23 ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

* ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

4.3.3 ค่าสี L^* , a^* และ b^*

จากการวิเคราะห์ค่าสีของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยแปรชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้ามืออิทธิพลร่วมกันต่อค่า L^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้าไม่มีผลต่อค่า a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีค่า L^* , a^* และ b^* อยู่ในช่วง 86.41 ± 0.02 ถึง 91.40 ± 0.26 , -3.05 ± 0.06 ถึง -1.43 ± 0.12 และ 6.43 ± 0.04 ถึง 16.91 ± 0.59 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) จากผลการทดลองพบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนทุกตัวอย่างมีค่าไปทางสีเหลืองสว่างปนเขียวอ่อน ซึ่งค่า a^* และ b^* ในทุกตัวอย่างมีค่าเป็นลบและบวก ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความเป็นสีเขียวและสีเหลือง และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารห่อหุ้มในการผลิตผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนพบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้มมีค่าความสว่างและสีเหลืองมากกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกับอาระบิกและกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม เนื่องจากมอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยมีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อนำไปละลายน้ำพบว่ามีลักษณะสีเหลืองสว่างใส ในขณะที่กัมอาระบิกมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อนเมื่อนำไปละลายน้ำที่ในอัตราส่วนเดียวกันพบว่ามีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม จึงทำให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินผสมกับอาระบิกและกัมอาระบิกชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้มมีค่า L^* และ b^* ที่น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 140 เป็น 160 องศาเซลเซียส พบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนในทุกตัวอย่างมีค่า ค่า L^* ที่ลดลง ในขณะที่ค่า a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้น

เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่มีความเข้มและมีสีเหลืองมากขึ้น (Troise และ Fogliano, 2013)

ตารางที่ 7 ค่าสี (L*, a* และ b*) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

อุณหภูมิเข้า (°C)	ชนิดของสารทอหุ้ม (30% w/w)	ค่าสี		
		L*	a*	b*
140	มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อย	91.41 ^a ±0.26	-3.08 ^b ±0.04	14.99 ^b ±0.04
	มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก	90.99 ^a ±0.71	-1.95 ^a ±0.01	6.43 ^d ±0.04
	กัมอาระบิก	90.93 ^a ±0.08	-1.62 ^a ±0.02	6.54 ^d ±0.04
160	มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อย	91.36 ^a ±0.49	-3.05 ^b ±0.06	16.91 ^a ±0.59
	มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก	88.20 ^b ±0.22	-1.43 ^a ±0.12	13.25 ^b ±0.11
	กัมอาระบิก	86.41 ^c ±0.02	-1.47 ^a ±0.01	9.33 ^c ±0.01

* ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแถวแนวนิ่ง (^{a-d}) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

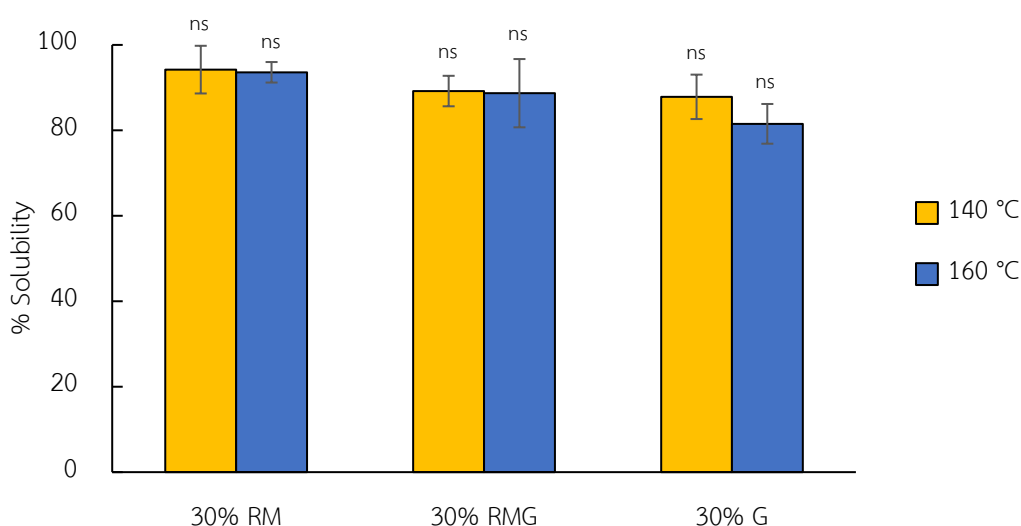
4.3.4 ความสามารถในการละลายน้ำ (% solubility)

ความสามารถในการละลายน้ำของผงไมโครแคปซูลสามารถใช้ในการบ่งบอกคุณภาพได้ หากมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีแสดงว่าส่งผลต่อการปลดปล่อยของสารสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหากมีความสามารถในการละลายน้ำได้ไม่ดีอาจทำให้เกิดการปลดปล่อยของสารสำคัญได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ จากการศึกษาชนิดของสารทอหุ้มและอุณหภูมิเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความสามารถในการละลายน้ำของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน พบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีความสามารถในการละลายน้ำอยู่ในช่วง 81.53±4.65% ถึง 94.21±5.58% (ภาพที่ 25)

จากผลการทดลองพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมของแต่ละปัจจัยร่วมกันต่อความสามารถในการละลายน้ำของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน และเมื่อพิจารณาอิทธิพลแต่ละปัจจัย (ชนิดของสารทอหุ้มและอุณหภูมิเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย) พบว่าไม่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยเป็นสารทอหุ้มมีความสามารถในการละลายสูงกว่า 90% โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 93.59±2.40% ถึง 94.21±5.58% แต่เมื่อมีการผสมกัมอาระบิกหรือการใช้กัมอาระบิกเป็นสาร

ห่อหุ้มเพียงสารเดียวส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีความสามารถในการละลายลดลงเหลือประมาณ 80% โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $81.53 \pm 4.65\%$ ถึง $89.20 \pm 3.57\%$

การใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกันส่งผลต่อความสามารถในการละลายของน้ำ เนื่องจากลักษณะขององค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน การใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีความสามารถในการละลายที่มากกว่า เนื่องจากมอลโตเด็คซ์ตรินมีโครงสร้างที่เกิดจากการตัดแปรมาจากมอลโตเด็คซ์ตริน ทำให้โครงสร้างมีการแตกแขนงของน้ำตาลเชื่อมกันในโครงสร้างโมเลกุลมากขึ้น จึงมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการละลายน้ำได้ดี (Astina และ Sapwarobl, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pudziuvelyte และคณะ (2019) ในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัด *Elsholtzia ciliate* โดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อย โซเดียมเคซีเนต นมพว่องมันเนย เบต้าไซโคลเด็คซ์ตริน และกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม และพบว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลมีความสามารถในการละลายสูงที่สุด ในขณะที่การใช้กัมอาระบิกที่เป็นสารที่มีโครงทางเคมีที่ซับซ้อน และมีโปรตีนชนิดไกลโคโปรตีนเป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง และมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ส่งผลทำให้ตัวอย่างมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Du และคณะ (2014) ที่ศึกษาการผลิตไมโครแคปซูลจากเนื้อลูกพลับและพบว่าผงไมโครแคปซูลที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีความสามารถในการละลายได้น้อยกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม



ภาพที่ 24 ความสามารถในการละลายน้ำ (% solubility) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

* ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

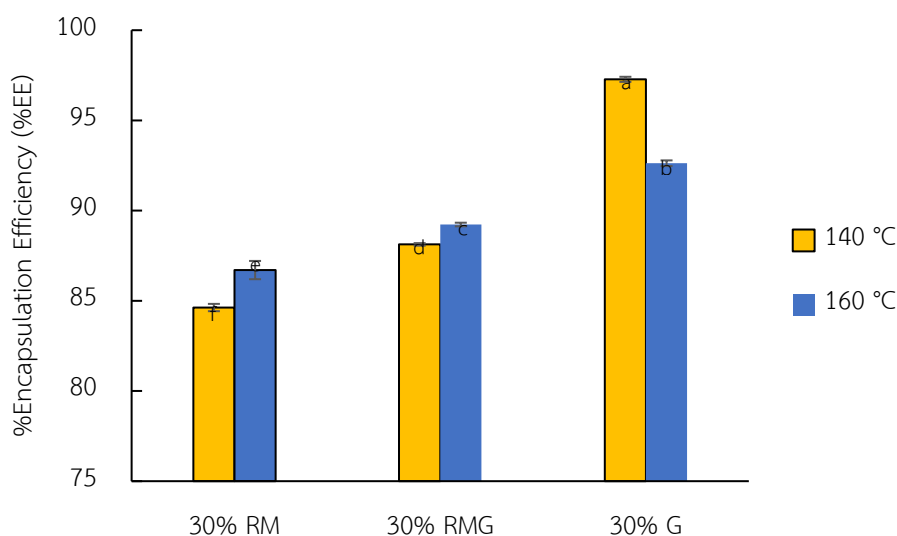
4.3.5 ประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%Encapsulation Efficiency, %EE)

ประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%Encapsulation Efficiency, %EE) คือประสิทธิภาพของสารห่อหุ้มที่ทำหน้าที่กักเก็บสารสำคัญไว้ภายในไมโครแคปซูล หากมีประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้าน

อนุโมลอิสระได้น้อยแสดงถึงความสามารถในการป้องกันของสารทอหุ้มได้ไม่ดี ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุได้ เช่น มีรอยแตกร้าวบริเวณผิววนอกของสารทอหุ้ม ทำให้เกิดการสูญเสียของสารสำคัญภายในจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ออกซิเจน ซึ่งประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสารทอหุ้ม อัตราส่วนระหว่างสารทอหุ้มและของเหลว ความเข้มข้นของสารทอหุ้ม เป็นต้น ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีค่าอยู่ระหว่าง $84.63 \pm 0.20\%$ ถึง $97.28 \pm 0.14\%$ โดยการใช้กัมอาระบิกเป็นสารทอหุ้มและอุณหภูมิเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 140 องศาเซลเซียสในการผลิตผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ $97.28 \pm 0.14\%$ (ภาพที่ 26)

จากการศึกษาพบว่ามียุทธพลร่วมกันของปัจจัย 2 ปัจจัย คือชนิดของสารทอหุ้มและอุณหภูมิเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อย และมอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิกเป็นสารทอหุ้ม และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้าจาก 140 องศาเซลเซียส เป็น 160 องศาเซลเซียส พบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีประสิทธิภาพในการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระได้ดีเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้กัมอาระบิกเป็นสารทอหุ้มและอุณหภูมิเข้าในการผลิตผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระที่ลดลง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลแยกในแต่ละปัจจัย พบว่าชนิดของสารทอหุ้มส่งผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของสารทอหุ้มแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งกัมอาระบิกมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) จึงมีคุณสมบัติที่เป็นสารทอหุ้มในการสร้างชั้นบริเวณสารทอหุ้มได้ดีกว่า ส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้กัมอาระบิกและมีกัมอาระบิกเป็นส่วนผสมของสารทอหุ้ม มีประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุโมลอิสระได้ดีกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยเป็นสารทอหุ้ม



ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%EE) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a-f) หมายถึงค่าเฉลี่ย (ชนิดตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.6 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง

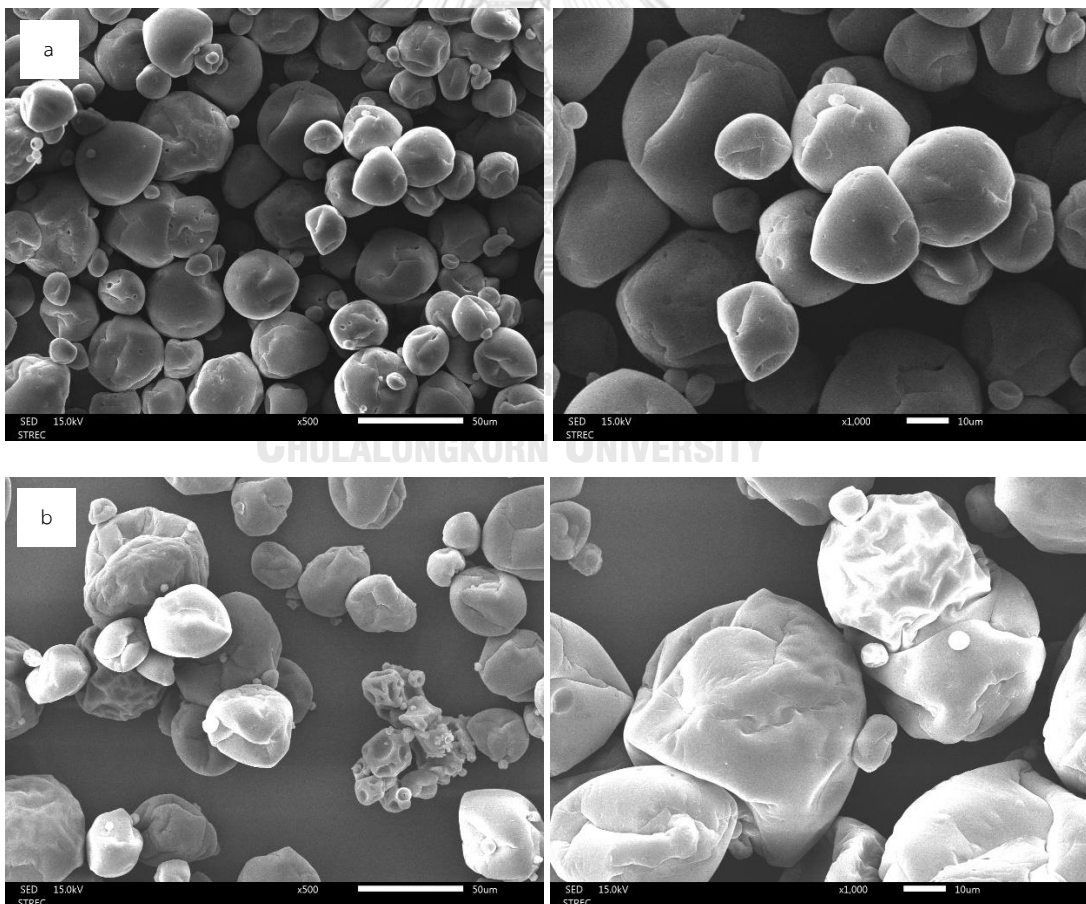
จุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

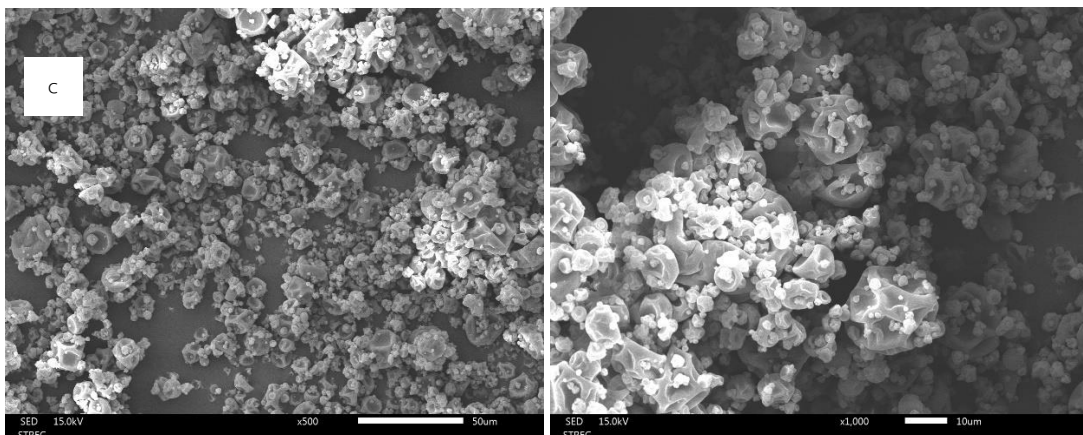
การศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นการศึกษา ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวบริเวณรอบนอกของอนุภาคผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน โดยรูปร่างของอนุภาคไมโครแคปซูลจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูล เช่น ชนิดของสารห่อหุ้ม ความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มและของเหลว อุณหภูมิเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย อัตราการไหลเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สามารถส่งผลต่อลักษณะปรากฏของอนุภาคไมโครแคปซูล เช่น รูปร่างกลม มีรอยแตก หรือรอยพับจีบ เป็นต้น (Alves และคณะ, 2016)

จากภาพที่ 27 (a-c) และ 28 (a-c) แสดงลักษณะรูปร่างภายนอกของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตด้วยอุณหภูมิเข้า 140 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า โดยพบว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินต้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้ม ส่งผลให้อนุภาคของผงไมโครแคปซูลมีรูปร่างทรงกลม พื้นผิวค่อนข้างเรียบ มีรอยพับและบุบเล็กน้อย ในขณะที่การผสมมอลโตเด็คซ์ตรินต้านทานการย่อยกับกัมอาระบิกและการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้พื้นผิวอนุภาคผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีรอยย่น รอบบุบ รอยเว้า และรอยยุบมากกว่า แสดงถึงการที่ใช้กัมอาระบิกเป็นส่วนผสมของสารห่อหุ้ม หรือใช้เป็นสารห่อหุ้มจะส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของอนุภาคที่มีรอยย่นบุบมากขึ้น ซึ่งเกิดจากเมื่อของเหลวถูกทำแห้งแบบพ่นฝอยภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย สารห่อหุ้มจะไปเกาะอยู่รอบอนุภาคของของเหลว เกิดการสร้างชั้นเคลือบสารสำคัญขึ้นมา ทำให้เกิดแรงดันของไอน้ำระหว่างลมร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยกับของเหลวซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างภายในไมโครแคปซูล ทำให้ภายในอนุภาคไมโครแคปซูลเกิดการพองตัว และเกิดการหดตัวอย่าง

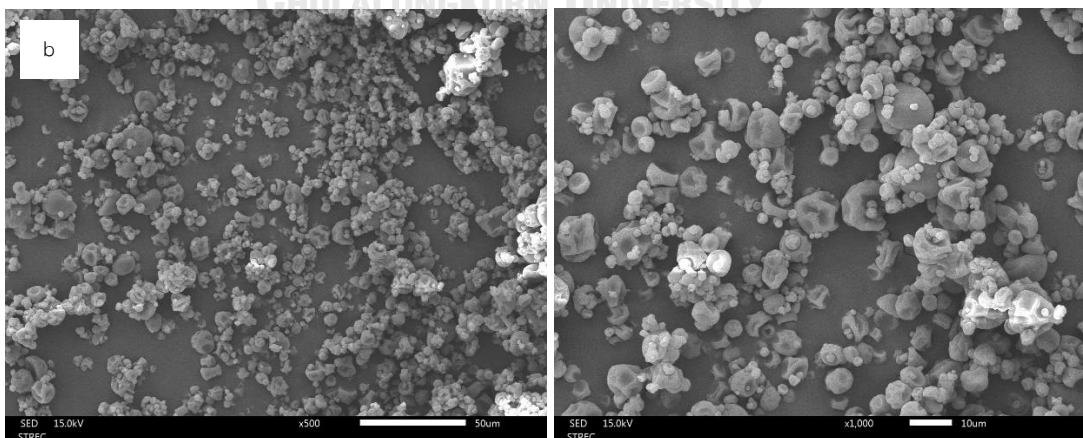
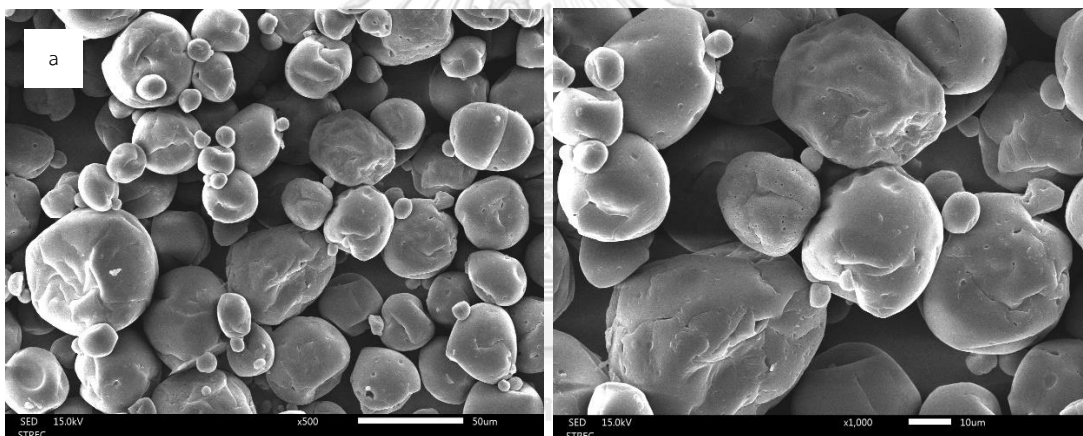
รวดเร็วนี้อาจเนื่องจากการสูญเสียความชื้น (Alamailla-Beltran และคณะ, 2005) นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลักษณะรูปร่างของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตที่อุณหภูมิเข้า 140 และ 160 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ส่งผลให้อนุภาคไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีพื้นผิวลักษณะขรุขระ มีรอยจีบ รอยเว้า รอยบวบบริเวณโดยรอบ เนื่องจากไมโครแคปซูลที่มีโครงสร้างลักษณะโครงสร้างทรงกลมสัมผัสกับลมร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วระหว่างการทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้เกิดเป็นรอยบวบบริเวณผิวของไมโครแคปซูล (Re, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ferrari และคณะ (2013) ที่พบว่าการใช้แก๊มอาร์บิกเป็นสารห่อหุ้มจะส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำแบล็คเบอร์รี่มีขนาดเล็ก มีรอยพับและบวบ ในขณะที่การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มจะส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำแบล็คเบอร์รี่มีขนาดใหญ่และมีผิวที่เรียบเนียนกว่า

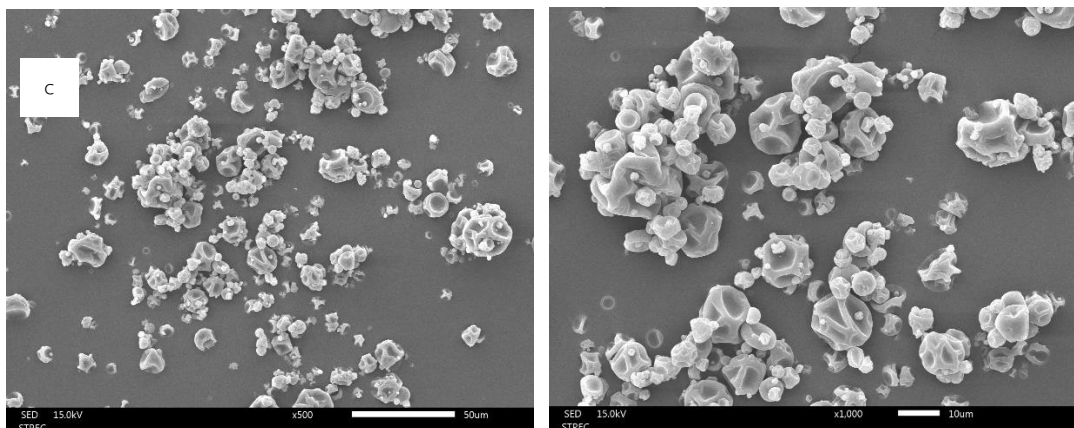
นอกจากนี้ยังพบปัจจัยอื่นอีกที่ส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างพื้นผิวไมโครแคปซูล เช่น อัตราการไหลของสารละลายเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ความหนืดของสารละลาย ความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผงไมโครแคปซูลได้เช่นกัน (Carneiro และคณะ, 2013)





ภาพที่ 26 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า (ซ้ายไปขวาตามลำดับ) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตจาก a) มอลโตเด็กเต็กซ์ตรินต้านทานการย่อย b) มอลโตเด็กซ์ตรินต้านทานการย่อยผสมกับอาระบิก และ c) กัมอาระบิก ที่อุณหภูมิเข้า 140 องศาเซลเซียส



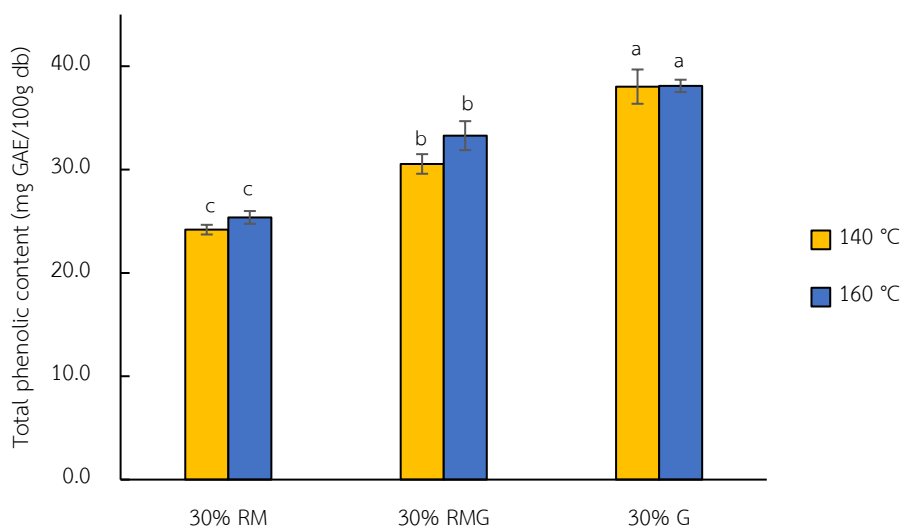


ภาพที่ 27 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า (ซ้ายไปขวาตามลำดับ) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตจาก a) มอลโตเด็คเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อย b) มอลโตเด็คเด็กซ์ทรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก และ c) กัมอาระบิก ที่อุณหภูมิแช่ 160 องศาเซลเซียส



4.3.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compound)

สารประกอบฟีนอลิกมีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ เนื่องจากมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้จากธรรมชาติ ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ร่างกายไม่ปกติ หากมีปริมาณของอนุมูลอิสระที่สะสมภายในร่างกายมากจะส่งผลต่อการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้ในอนาคต เช่น อัลไซเมอร์ มะเร็ง ไขมันอุดตันในเส้นเลือด เป็นต้น (Nicholson และ Hammerschmidt, 1992) จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตจากชนิดของสารห่อหุ้มและอนุภาคน้ำทุเรียนที่เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีค่าระหว่าง 24.19 ± 0.47 ถึง 38.10 ± 0.60 mg GAE/100g db (ภาพที่ 29) โดยพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันของปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ชนิดของสารห่อหุ้มและอนุภาคน้ำทุเรียนที่เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่าที่อนุภาคน้ำทุเรียนที่เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ชนิดของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตที่อนุภาคน้ำทุเรียน 140 และ 160 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (38.03 ± 1.66 และ 38.10 ± 0.60 mg GAE/100g db ตามลำดับ) ในขณะที่การใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิกส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 30.544 ± 0.95 และ 33.29 ± 1.4 mg GAE/100g db ตามลำดับ และเมื่อใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 24.19 ± 0.47 และ 25.37 ± 0.62 mg GAE/100g db ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rocha และคณะ (2019) ที่รายงานว่าผงไมโครแคปซูลสารสกัดบลูเบอร์รี่ที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ในขณะที่ผงไมโครแคปซูลสารสกัดบลูเบอร์รี่ที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินผสมกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าผงไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกัมอาระบิกมีคุณสมบัติที่มีความหนืดต่ำ และเป็นอิมัลชันที่ทำให้เกิดความคงตัวได้ดี สามารถสร้างพอลิเมอร์เคลือบเป็นชั้นฟิล์มบริเวณพื้นผิวโดยรอบของไมโครแคปซูลได้ดี (Pawan และคณะ, 2011) ทำให้กัมอาระบิกมีความสามารถในการกักเก็บรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากงานวิจัยของ Ferrari และคณะ (2012) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของผงแบล็กเบอร์รี่ที่ใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดกัน พบว่าผงแบล็กเบอร์รี่ที่ผลิตจากกัมอาระบิกผสมกับมอลโตเด็คซ์ตรินมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tran และ Nguyen (2018) ที่ศึกษาผลของการใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดในการผลิตผงสารสกัดใบตะไคร้ และพบว่าที่อนุภาคน้ำทุเรียนเดียวกันตัวอย่างที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม



ภาพที่ 28 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

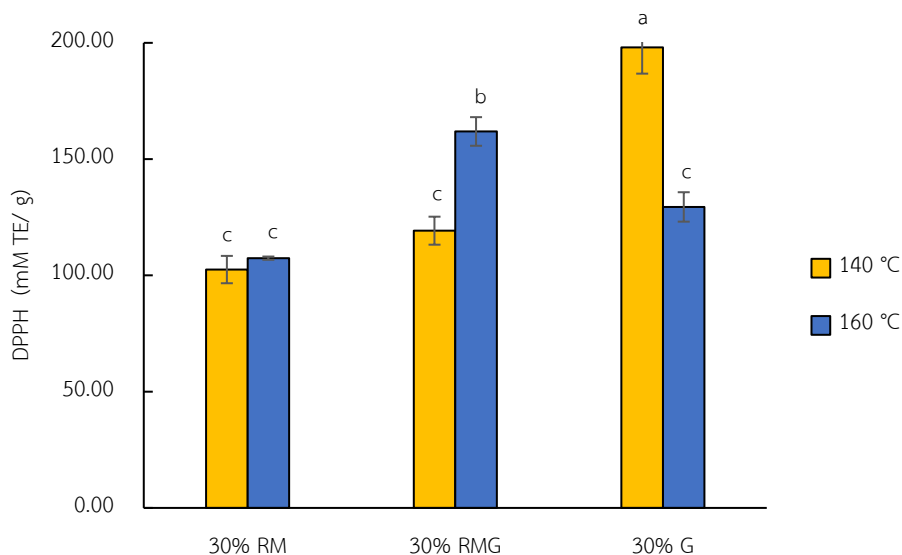
* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a-c) หมายถึงค่าเฉลี่ย (ชนิดตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.8 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP

สารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความสามารถในกั้นจับกับอนุมูลอิสระได้ ซึ่งช่วยในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ โดยในการทดลองนี้วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาพบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ในช่วง 102.50 ± 5.88 ถึง 198.06 ± 11.30 mM TE/g db และ 72.64 ± 6.02 ถึง 160.78 ± 0.70 mM TE/g db ตามลำดับ โดยปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย คือ ชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีอิทธิพลร่วมต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลแยกปัจจัยแต่ละปัจจัยพบว่าอุณหภูมิเข้าไม่มีอิทธิพลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ชนิดของสารห่อหุ้มมีอิทธิพลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิเข้าเดียวกัน ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงที่สุด (198.06 ± 11.3 และ 129.44 ± 6.33 mM TE/g db และ 135.38 ± 7.48 และ 160.78 ± 0.70 mM TE/g db) และผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินต้านทานทานการย่อยผสมกัมอาระบิกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP เท่ากับ 119.22 ± 6.02 และ 161.90 ± 6.15 mM TE/g db และ 112.57 ± 3.38 และ 108.63 ± 5.18 mM TE/g db ตามลำดับ และผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินต้านทานทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้มมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ

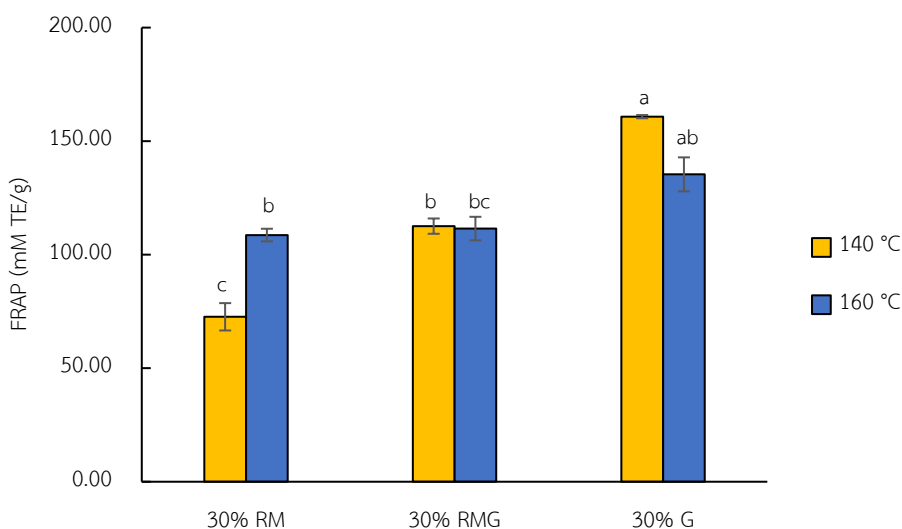
FRAP เท่ากับ 102.50 ± 5.88 และ 107.40 ± 0.70 mM TE/g db และ 72.64 ± 6.02 และ 111.50 ± 2.79 mM TE/g db (ภาพที่ 30 และ 31)



ภาพที่ 29 การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a-d) หมายถึงค่าเฉลี่ย (ชนิดตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 30 การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

* RM = resistant-maltodextrin, RMG = resistant-maltodextrin mixed with gum arabic, G = gum arabic

* ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a-d) หมายถึงค่าเฉลี่ย (ชนิดตัวอย่าง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ FRAP ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยภาวะที่มี

ประสิทธิภาพในการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด เป็นภาวะเดียวกับภาวะที่ผลิตตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ซึ่งพบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มและใช้อุณหภูมิเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 140 องศาเซลเซียสมีค่าสมบัติเหล่านี้สูงที่สุด เนื่องจากกัมอาระบิกมีคุณสมบัติในการกักเก็บรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดี อีกทั้งมีความคงตัวสูง แต่การผลิตผงไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 160 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ลดลง เนื่องจากการใช้ความร้อนสูงส่งผลให้พื้นที่บริเวณผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลมีรอยแตก ส่งผลให้สารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้านในสัมผัสกับความชื้นระหว่างการทำแห้งโดยตรง จึงเกิดการสูญเสียขึ้น รวมถึงการสัมผัสกับแสงและออกซิเจนก็ส่งผลด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poonam และคณะ (2014) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น (125, 150, 175 และ 200 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำมะขามป้อมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ลดลง อีกทั้งชนิดของสารห่อหุ้มก็ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากงานวิจัยของ Jang และ Koh (2023) พบว่าผงไซโตเบอร์รี่ที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินผสมกับกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียว และจากงานวิจัยของ Ramakrishnan และคณะ (2018) พบว่าการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มในการผลิตผงไมโครแคปซูลน้ำมะเขือเทศทามาริลโล่ส่งผลให้ตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของเอนไซม์ต่อการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในน้ำทุเรียนด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ที่บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่าระยะเวลาในการบ่มส่งผลให้ปริมาณของน้ำตาลซูโครสลดลงและส่งผลให้ปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสมคือระยะเวลาการบ่ม 2 ชั่วโมง

จากการศึกษาผลของการเติมนมต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำทุเรียนพาสเจอร์ไรซ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ FOS ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราและความเป็นกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบว่าน้ำทุเรียนที่ผสมนมเติมเอนไซม์มีปริมาณ FOS และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำทุเรียนที่เติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ และน้ำทุเรียนผสมนมเติมเอนไซม์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำทุเรียนที่ไม่เติมเอนไซม์ อีกทั้งยังมีค่าพีไอโอติก แอ็กทิวิตีที่สูงที่สุด และเลือกภาวะการผลิตน้ำทุเรียนเติมเอนไซม์ไปใช้ในการในการผลิตผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

จากการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยแปรชนิดของสารห่อหุ้ม 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อย และกัมอาระบิก และอุณหภูมิเข้า ได้แก่ 140 และ 160 องศาเซลเซียส โดยทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ผลิตได้ โดยพบว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนทุกตัวอย่างมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 5% มีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.3 และพบว่าการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPF และ FRAP สูงที่สุด ในขณะที่การใช้มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก และมอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้มที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่านั้น มีความสามารถในการละลายน้ำที่ดีกว่าผงไมโครแคปซูลที่ใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม เมื่อพิจารณาจากค่าสีพบว่าชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้าส่งผลต่อสีของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน โดยผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก และกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าสี L^* และ b^* น้อยกว่าผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ใช้มอลโตเด็คซ์ทรินต้านทานการย่อยเป็นสารห่อหุ้ม อีกทั้งอุณหภูมิเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สูงกว่าส่งผลให้ได้ผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่มีค่าสี L^* และ b^* มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนทุกตัวอย่างมีค่าไปทางสีเหลืองสว่างปนเขียวอ่อน นอกจากนี้การศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่าชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิเข้าส่งผลถึงลักษณะพื้นผิวและรูปร่างของผงไมโครแคปซูลได้อย่างชัดเจน โดยผงไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลมและมีพื้นผิวเรียบกว่าผงไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเด็คซ์ทรินผสมกัมอาระบิกและกัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้ม และเมื่ออุณหภูมิเข้าเพิ่ม

สูงขึ้นส่งผลให้ลักษณะพื้นผิวของผงไมโครแคปซูลมีรอยบุบ ว่าง และแตก ที่ส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์น้ำทุเรียนที่มีการผสมนมและเติมเอนไซม์เพื่อลดปริมาณซูโครสและเพิ่มปริมาณพรีไบโอติกโพลีไกลเซอแลต อาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของ การเก็บรักษา เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงสามารถคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ และศึกษาเพิ่มสารให้ความคงตัวเพื่อให้ลักษณะของเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการแยกชั้นและเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา และเนื่องจากการศึกษาสมบัติของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนในภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีทั้งข้อดีและข้อเสีย เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้กัมอาระบิกเป็นสารห่อหุ้มของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนมีประสิทธิภาพการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อย และมอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก แต่สมบัติด้านความสามารถในการละลายน้ำ ค่ากิจกรรมของน้ำ และความชื้น ต่ำกว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อย และมอลโตเด็คซ์ตรินด้านทานการย่อยผสมกัมอาระบิก ดังนั้นควรมีการปรับปรุงเพื่อให้ผงไมโครแคปซูลมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ควรมีการศึกษาสัดส่วนระหว่างอัตราส่วนผสมของกัมอาระบิกกับสารห่อหุ้มชนิดอื่น เพื่อให้มีคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ที่ดีขึ้น นอกจากนี้ควรมีการศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ และมีการทดสอบด้านประสาทสัมผัสเพิ่มเติมเพื่อใช้เป็นดัชนีวัดในด้านของการยอมรับของผู้บริโภค

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิงภาษาไทย

- จิตติมา ตামী และ วิศวานันท์ เจริญสุข. (2565). ผลไม้ไทยสุดฮอตรุกตลาดโลกฝ่าโควิด-19. *กรุงเทพธุรกิจ*, 11, 1-3.
- จิรนาถ บุญคง. (2554). Resistant Starch แป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัย สยาม*, 6(1), 1-8.
- จิราภรณ์ ถมแก้ว, ศรธรรม แก้วตาทิพย์ และ ภัทธพร วิชิโสโร. (2561). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการความรู้การเพิ่มคุณภาพผลิตทุเรียนพันธุ์หมอนทองของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทองในเขตเทศบาลตำบลลำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช. *โครงการวิจัย. เทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*.
- ดาวประกาย หางาม, ชลลดา ฉัตรเงิน, มณฑนา วีระวัฒนากร, ทิพวรรณ ทองสุข. 2563. การศึกษาการผลิตฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์จากซูโครสและไซรัปอ้อยโดยใช้เอนไซม์ *Viscozyme L*. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 51(1), 518-522.
- ทรงพล สมศรี. (2531). พันธุ์และการดูแลรักษาทุเรียน. การสัมมนาทางวิชาการ วันที่ 25-26 กุมภาพันธ์ 2531. สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติและกระทรวงวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- นารินา พวงจัน. (2559) *การพัฒนาระบบการวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วรรณคล เชื้อมวงคง. (2556). ประโยชน์ของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในอาหารทางการแพทย์. *ไทยเภสัชศาสตร์ และ วิทยาการสุขภาพ*, 8(3), 112-128.
- วินศ ภูมินาด. (2555). ประโยชน์ของฟรุกแทนและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อสุขภาพ. *อาหาร*, 42(2), 111-116.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). ทุเรียน (Durian). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.arda.or.th/kasetinfo/south/durian/controller/01-03.php> [29 ตุลาคม 2565].
- ภัคทวี เสริมสรพรสุข. (2556). ทุเรียน: ข้อเท็จจริงทางโภชนาการและเภสัชวิทยา. *สงขลานครินทร์เวชสาร*, 31(2), 83-90.
- สาธารณสุข, กระทรวง. สำนักโภชนาการ. กรมอนามัย. (2564). *กรมอนามัย เผย ทุเรียนให้พลังงานสูง ย้ำควรกินไม่เกิน 2 เม็ดต่อวัน*. กรุงเทพมหานคร.
- หมอนทอง. [online]. source: <https://farmchannelthailand.com/main/ผักสลัด/หมอนทอง.html>. [10 October 2022].
- อนนนาฏ ไพบุงศ์. (2560). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระกับสุขภาพ (Free radicals and Anti-oxidants in Human Health). *Phuket Rajabhat University SciTech Journal*, 1(2), 20-27.
- อชิป สกุดเผือก. (2559). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ. *Phuket Rajabhat University SciTech Journal*, 1(2), 20-27.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2563). *ทุเรียนผงขงดีมี*. กรุงเทพมหานคร.

รายการอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- Acacia gum. [online]. source: <http://wabillahi.blogspot.com/2016/07/kelebihan-mengamalkan-makan-al-manna.html>. [11 October 20220].
- Admin, S.F.M., Karim, R., Yusof, Y.A. and Muhammad, K. (2021). Effects of enzymatic liquefaction, drying techniques, and wall materials on the physicochemical properties, bioactives, and morphologies of zinc-amaranth (*Amaranthus viridis* L.) powders. *International Journal of Food Science*, 2021(4), 1-13.
- Agetha, R., Maryati, Y., Susilowati, A., Aspiyanto, Devi, A.F., Hulyani, H., Budiari, S., Filaila, E., Rahmawati, D. and Artanti, N. (2021). Effect of Type and Concentration of Encapsulating Agents on Physicochemical, Phytochemical, and Antioxidant Properties of Red Dragon Fruit Kombucha Powdered Beverage *Jurnal. Kimia Teraoan Indonesia*, 23(1), 7-15.
- Alamilla+Beltrán, L., Chanona-Pérez, J.J., Jiménez-Aparicio, A.R. and Gutiérrez-López, G.F. (2005). Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 179-184.
- Alves, A.I., Rodrigues, M.Z., Ribeiro-Pinto, M.R.M., Lago-Vanzela, E.S., Stringheta, P., Perrone, I.T. And Ramos, A.M. (2017). Morphological characterization of pequi extract microencapsulated through spray drying. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 1298-1305.
- AOAC. (2000), Official Methods of Analysis of AOAC International. Seventeen editions. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.
- AOAC. (2005), Official Methods of Analysis of AOAC International. Seventeen editions. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.
- Arancibia-Avila, P., Toledo, F., Park, Y.S. and Jung, S.T, Kang, S.G., Heo, B.G., Lee, S.H., Sajewicz, M., Kowalska, T. and Gorinstrin, S. (2008). Antioxidant properties of durian fruit as influenced by ripening. *LWT – Food Science and Technology*, 41(10), 2118-2125.
- Arilla, E., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J. and Igual, M. (2021). Effect of Adding Resistant Maltodextrin to Pasteurized Orange Juice on Bioactive Compounds and Their Bioaccessibility. *Foods*, 10(6), 1198.
- Arilla, E., Igual, M., Martínez-Monzó, J., Codoñer-Franch, P. and García-Segovia, P. (2020). Impact of Resistant Maltodextrin Addition on the Physico-Chemical Properties in Pasteurised Orange Juice. *Foods*, 9, 1-12.

- Asiama, J.A. and Quaye, B. (2019). Effect of storage temperature on the physicochemical, nutritional and microbiological quality of pasteurized soursop (*Annona muricata* L.) Juice. *African Journal of Food Science*, 38-47.
- Astina, J., and Sapwarobol, S. (2019) Resistant maltodextrin and metabolic syndrome: A review. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(4), 380-385.
- Bassey, F.I., Chinnan, M.S., Ebenso, E.E., Edem, C.A. and Iwegbue, C.M.A. (2013). Colour Change: An Indicator of the Extent of Maillard Browning Reaction in Food System. *Asian Journal of Chemistry*, 25(16), 9325-9328.
- Benkeblia, N., Takahashi, N., Ueno, K., Onoder, S. and Shiomi, N. (2005). Tetra- and penta fructooligosaccharide (FOS) isomers assessment in onion bulb tissues: effect of temperature and storage time. *Tetrahedron: Asymmetry*, 16, 33-37.
- Benzie, I.F.F and Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C.L.W.T. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie – Food Science and Technology*, 28(1), 25-30
- Burton, G.W. and Traber, M. (1990). Vitamin E: Antioxidant Activity, Biokinetics, and Bioavailability. *Annual Review of Nutrition*. 10(1), 357-82.
- Careito, H.C.F., Tonon, R.V., Grosso, C.R.F., and Hubinger, M.D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flax seed oil microencapsulated by spray drying using different combination of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 443-451.
- Cascales, E.V., Flores Alarcón, M.I., Gómez, A.H., Hidalgo, I.G. and Garcia, J.M.R. (2021). Fructooligosaccharides Stability during the Processing and the Shelf life of an Aseptically Packed Commercial Pineapple Nectar. *Journal of Food and Nutrition Research*, 9(4), 193-198.
- Chavarrí, M., Marañón, I and Villarán M.C. (2012). Encapsulation Technology to Protect Probiotic Bacteria. *Probiotics*, 501-540.
- Chia, S.L., Rosnah, S., Noranizam, M.A. and Ramli, W.D. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurised pineapple juices. *International Food Research Journal*, 19(3), 1001-1010.
- Cho, S.S., Prosky, L., and Drehe, M. (1999). Complex Carbohydrates in Foods. Marcal Dekker, Inc. New York, USA. P.676.

- Cissé, K., Gassama, D., Diagne,, A.A. and Badji, M. (2020). Influence of the Inhibition of Corrosion of S235 Steel in a Solution of Perchloric Acid by Gum Arabic. *American Journal of Materials Science and Engineering*, 8(1), 17-21.
- Connie, M.W. (2005). Inulin, Oligofructose and Bone Health: Experiment Approaches and Mechanisms. *British Journal of Nutrition*, 93, S99-S103.
- Cortés, C., Esteve, M.J. and Frígola, A. (2008). Color of orange juice treated by High Intensity Pulsed Electric Fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control*, 19, 151-158.
- Courtin, C.M., Swennen, K., Verjans, P. and Delcour, J.A. (2009). Heat and pH stability of prebiotic arabinoxylooligosaccharides, xylooligosaccharides and fructooligosaccharides. *Food Chemistry*, 112, 831-837.
- Dhananjay, A.P., Venu, R.V., Jun, W.N., Wai, K.N. and Reginald, B.H. (2015). Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization. *Journal of Food Engineering*, 161, 68-74.
- Du, J., Ge, Z.Z., Xu, Z., Zou, B., Erel, Ö. (2004). A novel automated method to measure total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clinical Biochemistry*, 7, 277-285.
- Ferrari, C.C., Germer, S.P.M., Alvim, I.D. and Aguirre, J.M. (2013). Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder Produced with Maltodextrin or Gum Arabic. *Drying Technology*, 31, 470-478.
- Finn, J. (2021). How is color measured? Calculation Delta E. *ALPOLIC metal composite materials*, VA, USA. 1-3.
- Firoto, L.L., Akthar, N.m Tam, K.C. and Dixon, B., Fishing for the right probiotic: Host-microbe interactions at the interface of effective aquaculture strategies. *FEMS Microbiology Reviews*, 45(6), 3-19.
- Frankel, E.N. (1980). Lipid oxidation. *Progress in Lipid Research*, 19(1-2), 1-22.
- Cornelli, U. (2009). Antioxidant use in nutraceuticals. *Clinics in Dermatology*, 27(2), 175-194.
- Ghazi, I., Fernandez-Arrojo, L., Gomez De Segura, A., Alcalde, M., Plou, F.J and Ballesteros, A. (2006). Beet sugar syrup and molasses as low-cost feedstock for the enzymatic production of fructo-oligosaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 2964-2968.
- Gibson, G.R., and Roberfroid, M.B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: in traducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125(1), 1401-1412.

- Gliszczyńska-Świątło, A., Ciska, E., Pawlak-Leminska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T. and Tyrakowska, B. (2006). Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Additives & Contaminants*, 23(11), 98-1088.
- Gorinstrein, S., Haruenkit, R., Poovarodom, S., Veasilp, S., Ruamsuke, P., Namiesnik, J., Leonowicz, M., Leontowicz, H., Suhaj, M. and Sheng, G.P. (2010). Some Analytical Assays for the Determination of Bioactivity of Exotic Fruits. *Phytochemical Analysis*, 21, 355- 362.
- Griffin, W.L., Belousova, E.A., Shee S.R., Pearson, N.J. and Reilly, S.Y. (2004). Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. *Precambrian Research*, 131, 231-282.
- Hang, Y.D. and Woodams, E.E. (1996). Optimization of Enzymatic Production of Fructo-oligosaccharides from Sucrose. *Journal of Applied Science*, 29, 578-580.
- Haruenkit, R., Poovarodom, S., Veasilp, S., Namiesnik, J., Sliwka-Kaszynska, M., Park, Y.S., Heo, B.G., Cho, J.Y., Jang, Y.G and Gorinstein, S., (2010) Comparison of Bioactive compounds, antioxidant and antiproliferative activities of Mon Thong durian during ripening. *Food Chemistry*, 118, 540-547.
- Hashizume, C. and Okuma, K. (2009) Fiber Ingredients. CRC Press. USA.
- Hsu, C.F., Zhang, L.J., Peng, H. and Sejdic, J.T. (2008). Scavenging of DPPH free radicals by polypyrrole powders of varying levels of overoxidation and/or reduction. *Synthetic Metals*. 158(21), 946-952.
- Huebner, J., Wehling, R.L. and Hutkins, R.W. (2007). Functional activity of commercial prebiotics. *International Dairy Journal*, 17(7), 770-775.
- Irwandi, I., Man, Y.B.M., Yusof, S., Jinap, S. and Sugisawa, W., (1998) Effect of type of packaging materials in physicochemical, microbiological and sensory characteristics of durian fruit leather during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(3), 427-434.
- Isabelle, M., Lee, B.L., Koh, W., Huang, D. and Ong, C.N. (2010). Antioxidant activity and profiles of common fruits in Singapore. *Food Chemistry*, 21, 355-362.
- Jang, Y. and Koh, E. (2023). Characterisation and storage stability of aronia anthocyanins encapsulated with combinations of maltodextrin with carboxymethyl cellulose, gum Arabic, and xanthan gum. *Food Chemistry*, 405, 135002.

- Jouki, M., and Khazaei, N. (2012). Lipid Oxidation and Color Changes of Fresh Camel Meat Stored Under Different Atmosphere Packaging Systems. *Journal of Food Process & Technology*, 3(11), 1–4.
- Khan, I.T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., and Jaspal, M.H. (2019). Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*, 18(14), 1-13.
- Kishimoto, Y., Oga, H., Tagami, H., Okuma, K., and Gordon D.T. (2007). Suppressive effect of resistant maltodextrin on postprandial blood triacylglycerol elevation. *European Journal of Nutrition*, 46, 133-138.
- Kovács, Z., Števek, J., Fikar, M., and Czermak, P. (2020). Kinetic behavior of soluble Pectinex Ultra SP-L converting sucrose into fructo-oligosaccharises in batch and continuous fashion. *Agricultural Engineering Science*, 16(1), 81-97.
- Lambertz, J., Weiskichen, S., Landert, S. and Weiskirchen, R. (2017). Fructose: A Dietary Sudar in Crosstalk with Microbiota Contributing to the Development and Progression on Non-Alcoholic Liver Disease. *Frontiers in Immunology*, 8, 1-17.
- Lao, F., and Giusti, M.M. (2016). Quantification of purple corn (*Zea mays* L.) anthocyanins spectrophotometric and HPLC approachesL method comparison and correlation. *Food Analytic Methods*, 9, 1367-1380.
- Labuza, T.P. and Schmidl, M.K. (1985). Accelerated Shelf Life Testing of Foods, *Food Technology*, 9(2), 57-62.
- Lee, Y.K. and Salmien, S. (1995). The coming of age of probiotics. *Trends in Food Science and Technology*, 6, 241-245.
- Leontowicz H., Leontowicz M., Haruenkit R., Poovarodom S., Jastrzebski Z., Drzewiecki J., Ayala Al., Jession I., Trakhtenberg S. & Gorinstein S. (2008). Durian (*Durio zibthinus murray*) cultivars as nutritional supplementation to rat' s diets. Elsevier. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2008), 581-589.
- Li, Y.W. and Li, B. (2013). Characterization of structure–antioxidant activity relationship of peptides in free radical systems using QSAR models: Key sequence positions and their amino acid properties. *Journal of Theoretical Biology*, 313, 29-43.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A. and Chandra, N.. (2010). Free Radicals, Antioxidants and Functional \ Foods: Impact on Human Health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118-126.

- Londoño, M.B.Z., Chaparro, D., Rojanp, B.A., Arbelaez, A.F.A., Betancur, L.F.R. and Celis, M.E.M. (2017). Effect of storage time on physicochemical, sensorial, and antioxidant characteristics, and composition of mango (cv. Azúcar) juice. *Journal of Food and Agriculture*, 29(5), 367-377.
- Martins, N.G., Ureta, M.M., Tymczyszyn, E.E., Castiho, P.C. and Zavaglia, G.M. (2019). Technological Aspects of the Production of Fructo and Galacto-Oligosaccharides. Enzymatic Synthesis and Hydrolysis. *Frontiers in Nutrition*, 6(78), 1-24.
- Maisuthisakul, P., Pasuk, S., and Ritthiruangdej, P. (2008). Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. *Journal of Food Composition and Analysis*. 21, 229-240.
- Mishra, K., Ojha, H. and Chaudhury, N.K. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, 30, 1036- 1043.
- Mizrahi, S. (2004). Understanding and Measuring the Shelf-life of Food. F&N Press., Westport, 329p.
- Montenegro, M.A., Boiero, M.I., Valle, L. and Borsarelli, C.D. (2012). Gum arabic: more than edible emulsifier. In: Verbeek, J.C.R. (Ed.), Products and Applications of Biopolymers. InTech, Rijeka, Croatia, 25.
- Morales, F.J. and Jiménez-Pérez, S. (2000). Effect of malondialdehyde on the determination of furosine in milk-based products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 680-684.
- Muzaffar, K., Dinkarrao, B.V. and Kumar, P. (2016). Optimization of spray drying conditions for production of quality pomegranate juice powder. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1-9.
- Nicholson, R.L. and Hammerschmidt, R. (1992). Phenolic Compounds and Their Role in Disease Resistance, *Annual Review of Phytopathology*, 39(1), 369-389.
- Nimse, S.B. and Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *Royal Society of Chemistry Advances*, 5, 27986-28006.
- Norkaew, O., Thitisut, P., Mahatheeranont, S., Pawin, B., Sookwong, P., Yodpitak, S. and Lungkaphin, A. (2019). Effect of wall materials on some physicochemical properties and release characteristics of encapsulated black rice anthocyanin microcapsules. *Food Chemistry*, 294, 493-502.
- Palacios, M.J.E., Limiñana, M.A.P. and Aran, P. (2016). From leather waste to functional leather. INESCOP, Instituto Tecnológico del Calzado y Conexa, Spain. 37.
- Picazo, B., Flores-Gallegos, A.C., Muñoz-Márquez, D.B., Flores-Maltos, A., Michel-Michel, M.R., Rosa, O., Rodríguez-Jasso, R.M., Rodríguez-Herrera, R. and Auilar-Gonzá, C.N. (2019).

- Chapter 18 – Enzymes for Fructooligosaccharides Production: Achievements and Opportunities. *Enzyme in Food Biotechnology*, Ha'il, Saudi Arabia. 303-320.
- Pereaz-Jimenez, J. and Saura-Calixto, F. (2005). Literature Data May Underestimate the Actual Antioxidant Capacity of Cereals. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 53(12), 5036-5040.
- Pudziuvelyte, L., Marksa, M.m Jastas, V., Ivanauskas, L., Kopustinskiene, D.M. and Bernatoniene, J. (2019). Microencapsulation of *Elsholtzia ciliate* herb ethanolic extract by spray-drying Impact of resistant-maltodextrin complemented with sodium caseinate, skim milk and beta-cyclodextrin on the quality of spray dried powder. *Molecules*, 24(8), 1461.
- Puerta, T. (1999). Inhibition of leukocytes lipoxygenase by phenolics from virgin olive oil. *Biochemical Pharmacology*. 57(4), 445-449.
- Ramakrishnan, Y., Adzahan, N.M., Ysof, Y.A. and Muhammad, K. (2018). Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. *Powder Technology*, 328, 406-414.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Renuka, B., Kulkarni, S.G., Vijayanand, P. and Prapulla, S.G. (2009). Fructooligosaccharide fortification of selected fruit juice beverages: Effect on the quality characteristics. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 1031-1033.
- Rehman, A. U. , Kovacs, Z. , Quitmann, H. , Ebrahimi, M. , and Czermak, P. (2016). Enzymatic production of fructooligosaccharides from inexpensive and abundant substrates using a membrane reactor system. *Separation Science and Technology*, 51(9), 1537–1545.
- Rithmanee, T., Phonpanawit, A. (2018). Anthocyanin Encapsulation from Purple Corn cob by Spray Drying. *Eauheritage Journal*, 12(2), 169-180.
- Rocha, J.C.C., Barros, F.A.R., Perrone, I.T., Viana, K.V.C., Tavares, G.M., Stephani, R. and Stringheta, P.C. (2019). Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. *Powder Technology*, 343, 317-325.
- Sablani, S. (2006). Drying of Fruits and Vegetables: Retention of Nutritional/Functional Quality. *Drying Technology*, 24(2),123-135

- Saéñz, C., Tapis, S., Chávez, J. and Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, *114*(2), 616-622.
- Sánchez, O., Guio, F., Garcia, D., Silva, E. and Caicedo, L. (2008). Fructooligosaccharides production by *Aspergillus* sp. N74 in mechanically agitated airlift reactor. *Food and Bioprocess Processing*, *86*, 109-115.
- Sangpong L., Khaksar, G., Pinsorn, P., Oikawa, A., Sasaki, R., Erban, A., Watanabe, M., Wangpaiboon, K., Tohge, T., Kopka, J., Hoefgen, R., Saito, K. and Sirikantaramas, S. (2021). Assessing Dynamic Changes of Tasted-Related Primary Metabolism During Ripening of Durian Pulp Using Metabolomic and Transcriptomic Analyses. *Frontiers in Plant Science*, *21*, 1-14.
- Sheu, D.C., Duan, K.J., Cheng, C.Y., Bi, J.L. and Chen, J.Y. (2002). Continuous production of high content fructooligosaccharides by a complex cell system. *Biotechnology Progress*, *18*, 1282-1286.
- Sies, H., Stahl, W. and Sundquist, R.A. (1992). Antioxidant Functions of Vitamins Vitamin E and C, Beta-Carotene, and Other Carotenoids. *Annals of The New York Academy of Sciences*. 8-20.
- Slinkard, K. and Singleton, V.L. (1997). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, *28*, 49-55.
- Suetsuna, K., Ukeda, H. and Ochi, H. (2000). Isolation and characterization of free radical scavenging activities peptides derived from casein. *Journal of Nutrition Biochemistry*, *11*, 128-31.
- Suhang, Y., Nayik, G.A. and Nanda, V. (2016). Effect of gum arabic concentration and inlet temperature during spray drying on physical and antioxidant properties of honey powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *10*(2), 350-356.
- Tanriseven, A. and Aslan, Y. (2005). Immobilization of Pectinex Ultra SP-L to produce fructooligosaccharides. *Enzyme and Microbial Technology*, *36*, 550-554.
- Tejiero, M., Péreza, P.F., Antonia, G.L.D. and Golowczyca, M.A. (2018) Suitability of kefir powder production using spray drying. *Food Research International*, *112*, 169-174.
- Toledo, F., Arancibia, P., Park, Y.S. and Jung, S.T. (2008). Screening of the antioxidant and nutritional properties, phenolic contents and proteins of five durian cultivars. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *59*(5), 415-427.

- Tolun, A., Alintas, Z. and Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239, 23-33.
- Tolun, A., Artik N. and Alintas, Z. (2016). Effect of different microencapsulating materials and relative humidities on storage stability of microencapsulated grape pomace extract. *Food Chemistry*, 302, 125347.
- Tran, T.T.A. and Nguyen, H.V.H. (2018). Effects of Spray-Drying Temperatures and Carriers on Physical and Antioxidant Properties of Lemongrass Leaf Extract Powder. *Beverages*, 4(84), 1-14.
- Venter, C.S. (2006). Prebiotics for the improvement of human health human ecology. *Special*, 14, 1-6.
- Williams, P.A. and Phillips, G.O. (2009). In *Handbook of Hydrocolloids 2ND edition*, Woodhead Publishing. Washington, DC.
- Wismiewski, R. (2015) Spray drying technology review. In: 45th International Conference on Environmental systems, Bellevue, Washington.
- Xiang, J., Liu, F., Wang, B., Chen, L., Liu, W. and Tan, S. (2021). A Literature Review on Maillard Reaction Based on Milk Proteins and Carbohydrates in Food and Pharmaceutical Products: Advantages, Disadvantages, and Avoidance Strategies. *Foods*, 10(9), 1-18.
- Zhang, Y. and Li. C.M. (2014). Comparison of the Efficiency of Five Different Drying Carriers on the Spray Drying of Persimmon Pulp Powders. *An International Journal*, 32(10), 1157-1166.
- Zivkovic, A.M. and Barile, D. (2011). Bovine Milk as a Source of Functional Oligosaccharides for Improving Human Health. *Advance in Nutrition*, 2(3), 284-289.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
สมบัติทางกายภาพ

ก.1 ปริมาณความชื้น (%moisture content) ตามวิธีของ AOAC (2000)

1. อบถั่วอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จากนั้นใส่ลงในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่แล้วเก็บไว้ที่โถดูดความชื้น

2. ชั่งตัวอย่างผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน 1 กรัม ลงในถั่วอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง นำกลับเข้าตู้อบและทำซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณปริมาณความชื้น ตามสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง}} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 1})$$

ก.2 ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) ตามวิธีของ AOAC (2000)

วิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยเครื่อง water activity analyzer (รุ่น MSI, Novasina, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ก.3 ค่าสี ระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง Chroma meter

วัดค่าสีของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่อุณหภูมิห้อง โดยเครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-400 ซึ่งใช้ illuminant D65 โดยแสดงค่าสีในระบบ CIE (L^* , a^* , b^*)

โดยค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 (โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว)

a^* คือ ค่าสีเขียว ($-a^*$) จนถึงสีแดง ($+a^*$)

b^* คือ ค่าสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$)

และนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่าง ตามสมการที่ 2

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{สมการที่ 2})$$

ก.4 ผลลิตร้อยละที่ได้ (%encapsulation yield) ดัดแปลงจากวิธีของ Ramakrishnan และคณะ (2018)

คำนวณร้อยละผลลิตที่ได้จากน้ำหนักของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนที่ได้หลังจากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ตามสมการที่ 3

$$\% \text{encapsulation yield} = \frac{M}{TS} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดย M คือ น้ำหนักผงที่ได้หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

TS คือ น้ำหนักของแข็งในน้ำทุเรียนและสารห่อหุ้มก่อนนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ก.5 ประสิทธิภาพการกักเก็บของสารต้านอนุมูลอิสระ (%Encapsulation Efficiency, %EE) ดัดแปลงจากวิธีของ Saénz และคณะ (2009)

การหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมด (total bioactive compounds)

1. ชั่งน้ำหนักผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน 0.1 กรัม และละลายในสารละลายผสม (เอทานอล:กรดอะซิติก:น้ำ อัตราส่วน 50:8:42) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที
2. ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

การหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบริเวณพื้นผิว (surface bioactive compounds)

1. ชั่งน้ำหนักผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน 0.1 กรัม และละลายในสารละลายผสม (เอทานอล:เมทานอล อัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที
2. ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996) และนำมาคำนวณตามสมการที่ 4

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกักเก็บ} = \frac{\text{สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมด} - \text{สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบริเวณพื้นผิว}}{\text{สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมด}} \quad (\text{สมการที่ 4})$$

ก.6 ความสามารถในการละลาย (%solubility) ดัดแปลงวิธีจาก Wang และคณะ (2020)

1. ชั่งตัวอย่างผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน 1 กรัม (W_1) จากนั้นละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วผสมด้วยเครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็วรอบ 4,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นเทส่วนใสลงถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว (W_0) และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ โดยทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนชั่งน้ำหนักทุกครั้ง
2. จดบันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก (W_2) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความสามารถในการละลาย ตามสมการที่ 5

$$\text{ความสามารถในการละลาย (\%)} = \frac{W_2 - W_0}{W_1} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 5})$$

ก.7 ลักษณะรูปร่างภายนอกของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภายนอกของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope and energy dispersive X-ray spectrometer (JEOL, JSM-IT300 and Oxford, X-Max N 20)

1. โรยตัวอย่างลงบนตัลปทของเครื่องที่ติดด้วยแผ่นเทปกาวสองหน้า จากนั้นนำไปเคลือบด้วยทองแล้วนำเข้าเครื่อง SEM

2. วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภายนอกของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่ 30 kV กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า



ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry ดัดแปลงจากวิธี Slinkard และคณะ (1997)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) (Thermo Fisher Scientific รุ่น GENESYS20 Visible, U.S.A)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, รุ่น MS304S, Switzerland)
3. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Onilab รุ่น MX-S, U.S.A)
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100, 50 และ 10 มิลลิลิตร
5. ปิเปตขนาด 100, 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร

สารเคมี

1. Ethanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) (EMSURE®, Germany)
2. Folin-Ciocalteu reagent (Carlo Erba, France)
3. Gallic acid ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$) (Fluka, Spain)
4. Sodium carbonate (Na_2CO_3) (A.R. grade, Ajax Finechem, Australia)

การเตรียมสารละลาย

1. 10% Folin-Ciocalteu

ปิเปต Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2. 10% Sodium carbonate (Na_2CO_3)

ชั่ง Sodium carbonate (Na_2CO_3) 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Gallic acid และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่ง gallic acid 0.5 กรัม ละลายด้วย ethanol 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลาย gallic acid ที่ความเข้มข้น 5 กรัม/ลิตร

2. ปิเปตสารละลาย gallic acid ในปริมาตรต่างๆ (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 และ 5.0 มิลลิลิตร) ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ได้สารละลาย gallic acid ที่มีความเข้มข้น 0, 50, 100, 150, 250, และ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

3. ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลาย 10% Folin-Ciocalteau ใส่ลงไปหลอดทดลองและผสมให้เข้ากัน ด้วยเครื่อง vortex mixer พักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

4. ปิเปตสารละลาย 10% (w/v) Sodium carbonate (Na_2CO_3) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank

6. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid กับค่าการดูดกลืนแสง ดังภาพที่ 31

วิธีวิเคราะห์สำหรับน้ำทุเรียน

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำทุเรียนปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. ปิเปตส่วนใสปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลาย 10% Folin-Ciocalteau ใส่ลงไปหลอดทดลองและผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

3. ปิเปตสารละลาย 10% (w/v) sodium carbonate (Na_2CO_3) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่น ในการปรับค่าดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank)

5. คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน และรายงานค่าในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)/100g dry basis (db)

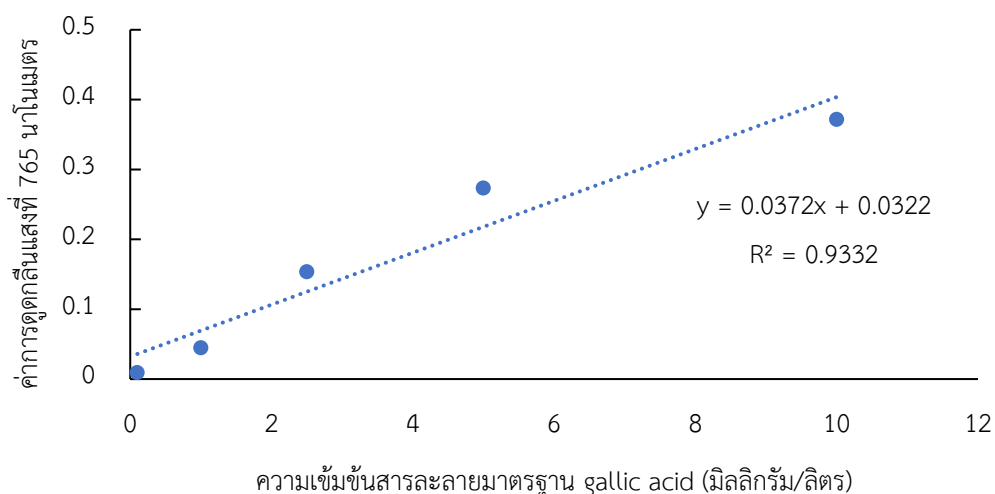
วิธีวิเคราะห์สำหรับผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

1. ละลายผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน 1 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที

2. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็วรอบ 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3. ปิเปตส่วนใสปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลาย 10% Folin-Ciocalteau ใส่ลงไปหลอดทดลองและผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer พักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

4. ปิเปตสารละลาย 10% (w/v) sodium carbonate (Na_2CO_3) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่น เป็น blank
6. คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน และรายงานค่าในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)/100g dry basis (db)



ภาพที่ 31 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry

ข.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ดัดแปลงตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) (Thermo Fisher Scientific รุ่น GENESYS20 Visible, USA)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, รุ่น MS304S, Switzerland)
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma Aldrich, USA)
2. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma Aldrich, USA)
3. methanol (CH_3OH) (Fisher Scientific, UK)

วิธีเตรียมสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

1. ชั่ง 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 0.004 กรัม ละลายใน methanol ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย methanol ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. สารละลายที่ได้คือสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM (เก็บสารละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บรักษาไม่เกิน 5 วัน) และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น (A_{initial}) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ methanol ในการปรับค่าดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank)

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่ง Trolox 0.025 กรัม ละลายด้วย methanol จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วย methanol ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลาย Trolox ที่มีความเข้มข้น 10,000 ไมโครโมลาร์
2. เจือจางสารละลาย Trolox ความเข้มข้น 10,000 ไมโครโมลาร์ ด้วย methanol จนได้ความเข้มข้น 123 – 625 ไมโครโมลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 8
3. ปิเปตสารละลาย Trolox ในแต่ละความเข้มข้นในข้อ 2. ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
4. วัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ methanol ในการปรับค่าดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank)
5. คำนวณผลต่างของค่าดูดกลืนแสง ($A_{\text{difference}}$) โดยหักลบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH (A_{initial}) ด้วยค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final}) ตามสมการที่ 6

$$A_{\text{difference}} = A_{\text{initial}} - A_{\text{final}}$$

(สมการที่ 6)

6. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox (แกน x) กับค่า $A_{\text{difference}}$ (แกน y) แสดงดังภาพ 32

ตารางที่ 8 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox

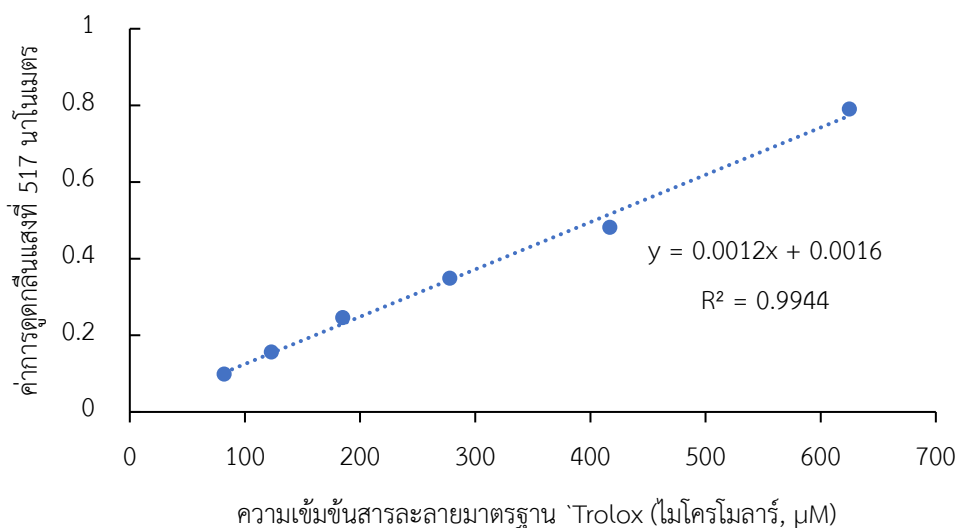
ความเข้มข้นเริ่มต้น (ไมโครโมลาร์)	ปริมาตร FeSO ₄ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นสุดท้าย (ไมโครโมลาร์)
10,000	5	5	5,000
5,000	5	5	2,500
2,500	5	5	1,250
1,250	5	5	625
625	4	2	417
417	4	2	278
278	4	2	185
185	4	2	123
123	4	2	82

วิธีวิเคราะห์สำหรับน้ำทุเรียน

1. ปิเปิดน้ำทุเรียนปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
2. ปิเปิดส่วนใสปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 4.52 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ methanol ในการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH (A_{initial}) หักลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final}) แล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox กับ $A_{\text{difference}}$ ตามสมการที่ 5
5. คำนวณหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ค่า $A_{\text{difference}}$ ที่คำนวณได้เทียบกับ $A_{\text{difference}}$ ในสมการของกราฟมาตรฐานของ Trolox และรายงานค่าในหน่วย mM Trolox equivalent/g

วิธีวิเคราะห์สำหรับผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

1. ละลายผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน 1 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที
2. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็วรอบ 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
2. ปิเปิดส่วนใสปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 4.52 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer พักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ methanol ในการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH (A_{initial}) หักลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final}) แล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox กับ $A_{\text{difference}}$ ตามสมการที่ 5
5. คำนวณหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ค่า $A_{\text{difference}}$ ที่คำนวณได้เทียบกับ $A_{\text{difference}}$ ในสมการของกราฟมาตรฐานของ Trolox และรายงานค่าในหน่วย mM Trolox equivalent/g



ภาพที่ 32 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

ข.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

ดัดแปลงวิธีจาก Benzie และ Strain (1996)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) (Thermo Fisher Scientific รุ่น GENESYS20 Visible, USA)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, รุ่น MS304S, Switzerland)
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. Sodium acetate trihydrate ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Glentham, UK)
2. 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) (Sigma Aldrich, USA)
3. Iron (III) chloride (FeCl_3) (POCH S.A., Poland)
4. Glacial acetic acid (A.R. grade, Orec, New Zealand)
5. Hydrochloric acid 0.1 M (HCl) (Kemaus, Australia)
6. Iron (II) Sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Glentham, UK)

การเตรียมสารละลาย FRAP

1. เตรียมสารละลาย acetate buffer โดยผสม sodium acetate trihydrate 0.3 กรัม ละลายใน glacial acetic acid ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 300 มิลลิโมลาร์

2. เตรียมสารละลาย Iron (III) chloride โดยชั่งน้ำหนัก 0.054 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และใส่ลงในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

3. ชั่ง 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) 0.0312 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 0.04 โมล (ผสม HCl ความเข้มข้น 0.1 โมล ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร) เติลงในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วย HCl 0.04 โมล

4. เตรียมสารละลาย FRAP โดยการผสม acetate buffer 100 มิลลิลิตร, Iron (III) chloride 10 มิลลิลิตร และ TPTZ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 5-15 นาที ให้ได้สารละลายสีน้ำตาลส้มก่อนจะทำการวิเคราะห์ทุกครั้ง

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย FRAP ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่น ในการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank) และบันทึกค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย FRAP เป็น A_{initial}

วิธีเตรียมสารละลายมาตรฐาน FeSO_4 และสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่ง FeSO_4 น้ำหนัก 0.01519 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลาย FeSO_4 ที่มีความเข้มข้น 1,000 ไมโครโมลาร์

2. เจือจางสารละลาย FeSO_4 จากข้อที่ 1 ด้วยน้ำกลั่น จนได้ความเข้มข้น 100 – 500 ไมโครโมลาร์ ดังแสดงตามใน ตารางที่ 9

3. ปิเปตสารละลาย FeSO_4 แต่ละความเข้มข้นในข้อที่ 2 ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย FRAP ปริมาตร 4.75 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง และทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่น ในการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank)

5. คำนวณผลต่างของค่าการดูดกลืนแสง ($A_{\text{difference}}$) โดยหักลบค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final}) ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย FRAP (A_{initial}) ตามสมการที่ 6

6. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน FeSO_4 (แกน x) กับค่า $A_{\text{difference}}$ (แกน y) แสดงดังภาพ 33

ตารางที่ 9 วิธีเตรียมสารละลายมาตรฐาน FeSO₄ ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ไมโครโมลาร์, μM)	ปริมาตร FeSO ₄ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นสุดท้าย (ไมโครโมลาร์, μM)
1,000	5	5	500
500	4	6	400
400	3	7	300
300	2	8	200
200	1	9	100

วิธีวิเคราะห์สำหรับน้ำทุเรียน

1. ปิเปิดน้ำทุเรียนปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. ปิเปิดส่วนใสปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองผสมกับสารละลาย FRAP ปริมาตร 4.75 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นในการปรับค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (set blank)

4. คำนวณค่าการดูดกลืนแสง ($A_{\text{difference}}$) หักลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final}) ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย FRAP (A_{initial}) ตามสมการที่ 7

$$A_{\text{difference}} = A_{\text{final}} - A_{\text{initial}} \quad (\text{สมการที่ 7})$$

5. คำนวณหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ค่า $A_{\text{difference}}$ ที่คำนวณได้เทียบกับ $A_{\text{difference}}$ ในสมการของกราฟมาตรฐานของ FeSO₄ และรายงานค่าในหน่วย mM FeSO₄ equivalent/g

วิธีวิเคราะห์สำหรับผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

1. ละลายผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน 1 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที

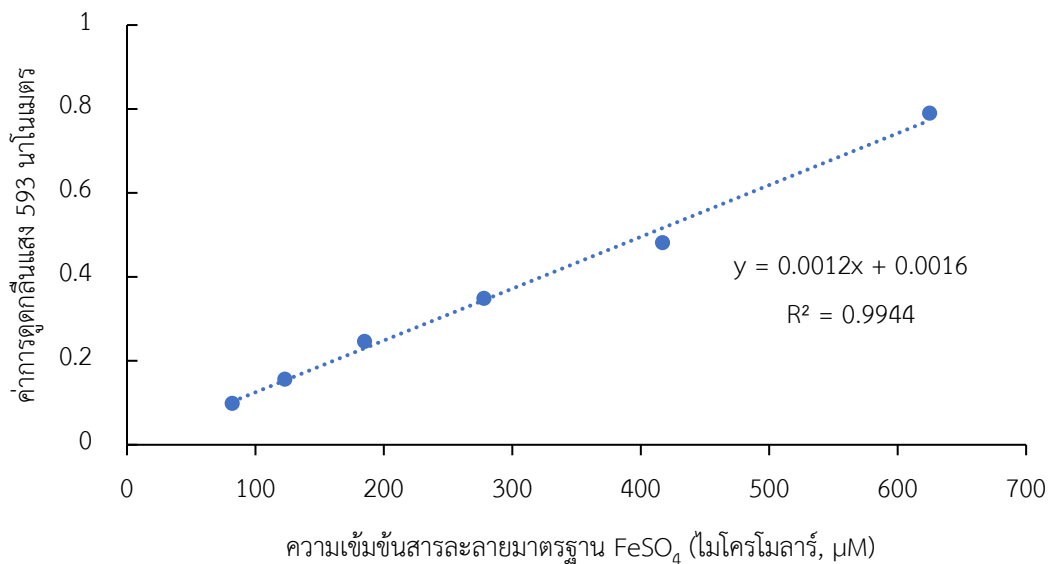
2. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็วรอบ 4,500 rpm เป็นเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3. ปิเปิดส่วนใสปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองผสมกับสารละลาย FRAP ปริมาตร 4.75 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นในการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0 (set blank)

5. คำนวณค่าการดูดกลืนแสง ($A_{\text{difference}}$) หักลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง (A_{final}) ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย FRAP (A_{initial}) ตามสมการที่ 6

6. คำนวณหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ค่า $A_{\text{difference}}$ ที่คำนวณได้เทียบกับ $A_{\text{difference}}$ ในสมการของกราฟมาตรฐานของ FeSO_4 และรายงานค่าในหน่วย mM FeSO_4 equivalent/g



ภาพที่ 33 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP)

ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสและ fructooligosaccharide (FOS) ด้วยเทคนิค HPLC-ELSD
ดัดแปลงตามวิธีของ Pinsorn และคณะ (2018)

1. Mobile phase

ตัวทำละลาย A : 100% Acetonitrile

ตัวทำละลาย B : น้ำ Ultrapure (UP)

2. Column

Shodex Asahipak NH2P-50 4E (Showa Denko, Tokyo, Japan)

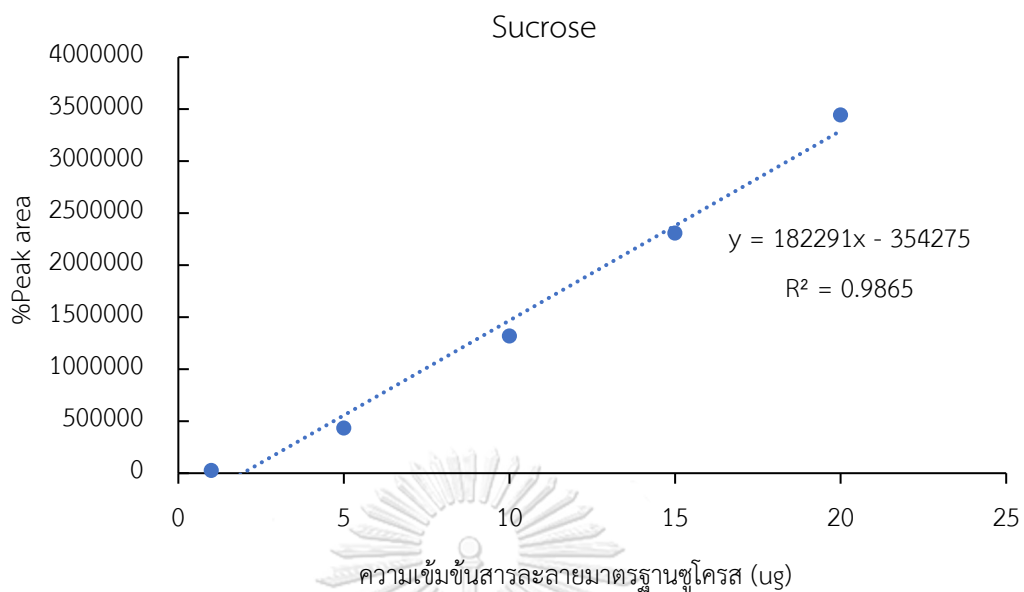
การวิเคราะห์น้ำตาลด้วยวิธี HPLC-ELSD ทำโดยฉีดตัวอย่างปริมาณ 10 ไมโครลิตร ลงไปในเครื่องวิเคราะห์ควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ที่ 1 มิลลิตร/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ระบบ gradient system ดังนี้

นาทีที่ 0 – 20 35% ตัวทำละลาย B

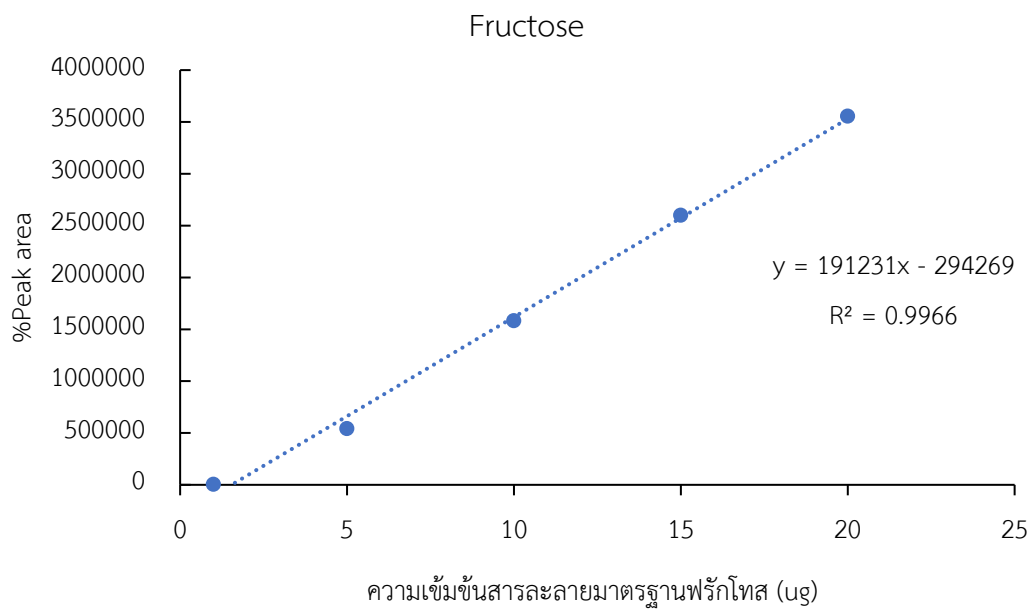
นาทีที่ 20 – 35 55% ตัวทำละลาย B

นาทีที่ 35 – 40 20% ตัวทำละลาย B

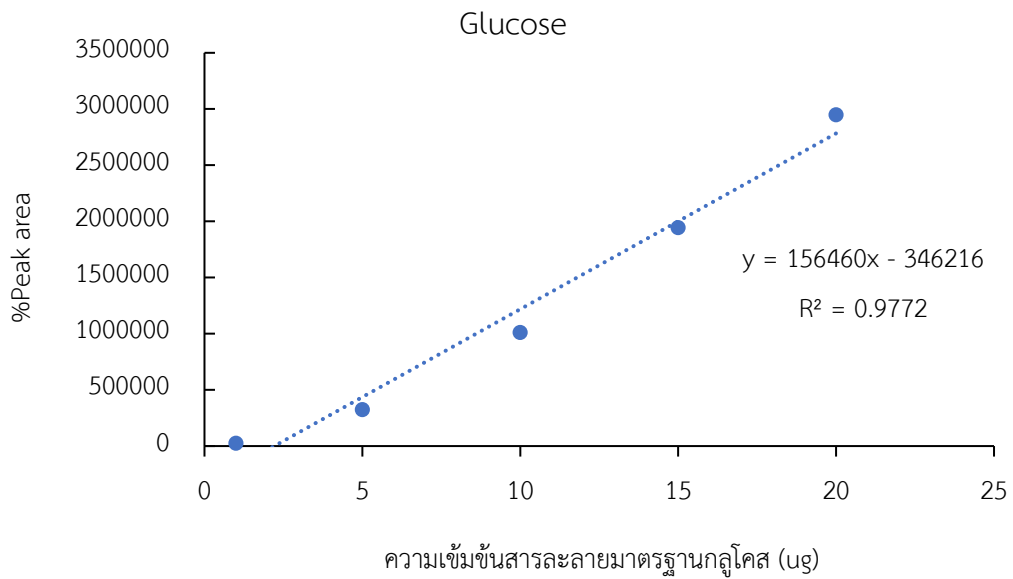
แล้วนำพื้นที่ใต้กราฟของน้ำตาลแต่ละชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟและคำนวณปริมาณจากกราฟมาตรฐานของ ซูโครส ฟรักโทส กลูโคส คีส์โทส และนิสโทส ดังภาพที่ 34 – 38



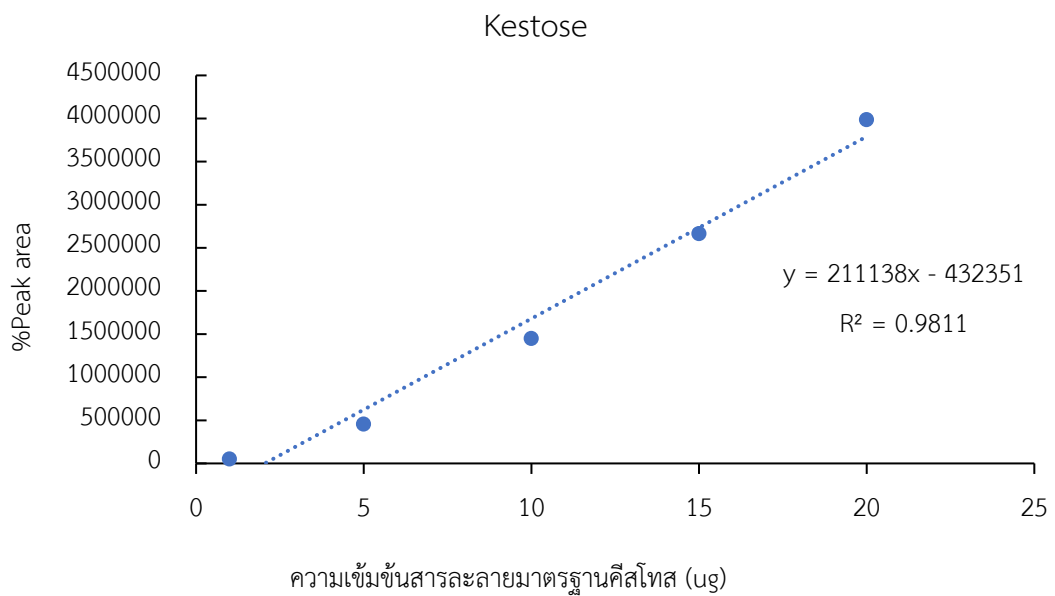
ภาพที่ 34 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส



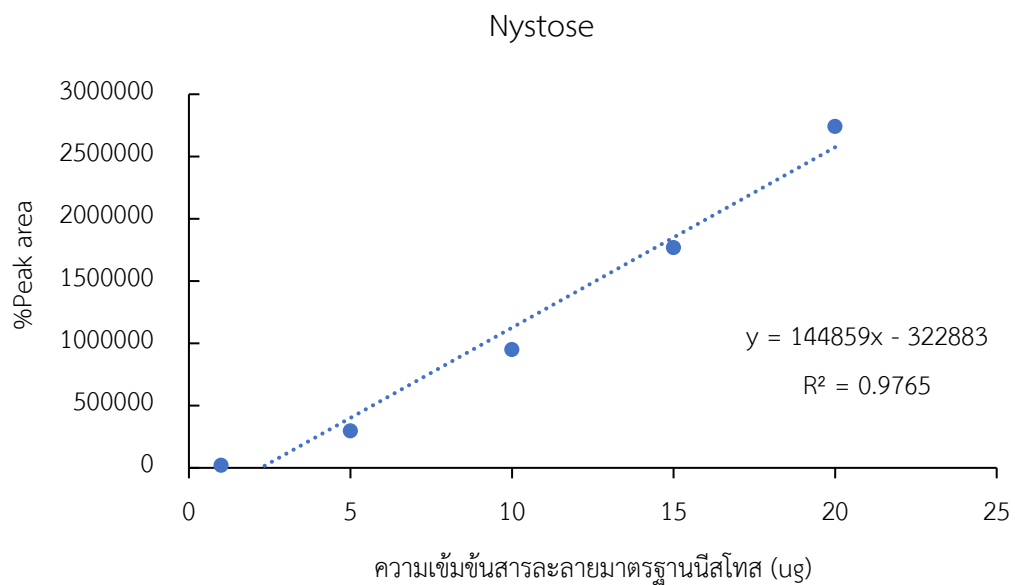
ภาพที่ 35 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลฟรักโทส



ภาพที่ 36 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส



ภาพที่ 37 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลคีสโทส



ภาพที่ 38 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลนีสโทส



ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์ทางชีวภาพ

ค.1 การวิเคราะห์สมบัติการเป็นพรีไบโอติก (prebiotic activity) ของ fructooligosaccharide (FOS)

ดัดแปลงวิธีจาก Huebner และคณะ (2007)

จุลินทรีย์

1. *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปทุมธานี, ประเทศไทย)

2. *Escherichia coli* TISTR 117 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปทุมธานี, ประเทศไทย)

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี

1. Glucose powder (Krungthepchemi, Thailand)
2. Lactobacillus MRS Agar (MRS Agar) (Hi-media, India)
3. Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth) (Hi-media, India)
4. M9 Minimal Medium Salt (5X) (Hi-media, India)
6. Tryptic Soy Broth (Hi-media, India)
7. Tryptic Soy Agar (Hi-media, India)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลาย

1. ชั่ง Lactobacillus MRS Agar 33.58 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และชั่ง Tryptic Soy Agar 20.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกด้วยสำลี และนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และวางทิ้งไว้ จนอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเทลงในจานเพาะเชื้อปริมาตร 15-20 มิลลิลิตร และเขย่าหมุนจานเพาะเชื้อให้อาหารเลี้ยงเชื้อกระจายตัวและปล่อยให้อาหารแข็งตัว ตามลำดับ

2. ชั่ง Lactobacillus MRS Broth 27.58 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และชั่ง Tryptic Soy Broth 15.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกด้วยสำลี และนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3. ชั่ง M9 Minimal Medium Salt (5X) 28.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกด้วยสำลี และนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

4. ชั่งกลูโคส 5.0 กรัม ผสม Lactobacillus MRS Broth 27.58 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกด้วยสำลี และนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5. ชั่งกลูโคส 5.0 กรัม ผสม M9 Minimal Medium Salt (5X) 28.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร บรรจุในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกด้วยสำลี และนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

การวิเคราะห์

1. นำเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 มา streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS Agar และบ่มงานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสภาวะไม่มีออกซิเจน จากนั้นถ่ายเชื้อลงใน MRS Broth และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสภาวะไม่มีออกซิเจน

2. นำเชื้อ *Escherichia coli* TISTR 117 มา streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic Soy Agar (TSA) และบ่มงานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสภาวะไม่มีออกซิเจน จากนั้นถ่ายเชื้อลงใน Tryptic Soy Broth (TSB) และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสภาวะไม่มีออกซิเจน

3. ถ่ายเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเหลว MRS Broth 10 มิลลิลิตร ที่มีกลูโคส 1% หรือตัวอย่าง 1% w/v บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไม่มีออกซิเจน และถ่ายเชื้อ *Escherichia coli* TISTR 117 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเหลว M9 Minimal Medium Salt (5X) 10 มิลลิลิตร ที่มีกลูโคส 1% หรือตัวอย่าง 1% w/v บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่สภาวะบรรยากาศ

4. วัดความหนาแน่นของเซลล์ที่ 0 และ 24 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสง (Optimal Density, O.D.) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร และคำนวณค่าฟรีไบโอติกแอกทิวิตี ดังสมการที่ 8

Prebiotic activity score =

$$\left[\frac{\text{probiotic log (O.D) on the prebiotic at 24 h} - \text{probiotic log (O.D) on the prebiotic at 0 h}}{\text{probiotic log (O.D) on glucose at 24 h} - \text{probiotic log (O.D) on glucose at 0 h}} \right] - \left[\frac{\text{enteric log (O.D) on the prebiotic at 24 h} - \text{enteric log (O.D) on the prebiotic at 0 h}}{\text{enteric log (O.D) on glucose at 24 h} - \text{enteric log (O.D) on glucose at 0 h}} \right]$$

(สมการที่ 8)

ค.2 การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC, (2005)

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี

1. Sodium chloride (Kemaus, A.R. grade, Australia)
2. Plate Count Agar (Standard Methods Agar) (Hi-media, India)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลาย

1. ละลาย sodium chloride 0.85 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2. ชั่ง plate count agar 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร บรรจุในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกด้วยสำลี และฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

การวิเคราะห์

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี pour plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% w/v ในระดับที่เหมาะสม ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการ autoclave และตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงจนถึงประมาณ 45 องศาเซลเซียส เทลงในบนตัวอย่างในจานเพาะเชื้อปริมาตร 15-20 มิลลิลิตร เขย่าจานเพาะเชื้อในตัวอย่างกระจายตัวให้ทั่วจานเพาะเชื้อ ปล่อยให้อาหารแข็งตัว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นในช่วง 25-250 โคโลนี และรายงานค่าในหน่วย colony forming units/mL (CFU/mL)

ค.3 การตรวจนับปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ AOAC, (2005)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Sodium chloride (Kemaus, A.R. grade, Australia)
2. Potato Dextrose Agar (Hi-media, India)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลาย

1. ละลาย sodium chloride 0.85 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
2. ชั่ง Potato Dextrose Agar 39.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกด้วยสำลี และฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้ววางทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเทลงในจานเพาะเชื้อปริมาตร 15-20 มิลลิลิตร เขย่าจานเพาะเชื้อให้อาหารเลี้ยงเชื้อกระจายตัว และปล่อยให้อาหารแข็งตัว ตามลำดับ

การวิเคราะห์

วิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราด้วยเทคนิค spread plate โดยเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% w/v ในระดับที่เหมาะสม ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านการฆ่าเชื้อเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วบริเวณผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ และบ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น และรายงานค่าในหน่วย colony forming units/mL (CFU/mL)

ภาคผนวก ง
ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: %yield

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	434.432 ^a	5	86.886	27.321	<.001
Intercept	38256.160	1	38256.160	12029.606	<.001
temp	2.041	1	2.041	.642	.454
mat	426.732	2	213.366	67.093	<.001
temp * mat	5.659	2	2.830	.890	.459
Error	19.081	6	3.180		
Total	38709.673	12			
Corrected Total	453.513	11			

a. R Squared = .958 (Adjusted R Squared = .923)

ภาพที่ 39 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อร้อยละผลผลิต (%yield) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: water activity (a_w)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	119.316 ^a	5	23.863	.217	.949
Intercept	584.541	1	584.541	5.303	.040
temp	22.020	1	22.020	.200	.663
mat	71.032	2	35.516	.322	.731
temp * mat	26.264	2	13.132	.119	.889
Error	1322.664	12	110.222		
Total	2026.520	18			
Corrected Total	1441.980	17			

a. R Squared = .083 (Adjusted R Squared = -.299)

ภาพที่ 40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: moisture content

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.102 ^a	5	.020	.312	.897
Intercept	3.093	1	3.093	47.275	<.001
temp	.009	1	.009	.139	.715
mat	.070	2	.035	.532	.601
temp * mat	.023	2	.012	.177	.840
Error	.785	12	.065		
Total	3.980	18			
Corrected Total	.887	17			

a. R Squared = .115 (Adjusted R Squared = -.254)

ภาพที่ 41 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารหล่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อปริมาณความชื้น (moisture content) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: %solubility

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	210.715 ^a	5	42.143	1.561	.300
Intercept	95435.524	1	95435.524	3533.988	<.001
temp	18.453	1	18.453	.683	.440
mat	170.167	2	85.084	3.151	.116
temp * mat	22.094	2	11.047	.409	.681
Error	162.030	6	27.005		
Total	95808.269	12			
Corrected Total	372.745	11			

a. R Squared = .565 (Adjusted R Squared = .203)

ภาพที่ 42 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารหล่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย (%solubility) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	43.503 ^a	5	8.701	59.928	<.001
Intercept	96940.973	1	96940.973	667714.197	<.001
temp	18.106	1	18.106	124.709	<.001
mat	15.230	2	7.615	52.450	<.001
temp * mat	10.167	2	5.084	35.015	<.001
Error	.871	6	.145		
Total	96985.347	12			
Corrected Total	44.374	11			

a. R Squared = .980 (Adjusted R Squared = .964)

ภาพที่ 43 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารหล่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่าสี L* ของผงไม้โครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: a*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.943 ^a	5	1.189	342.034	<.001
Intercept	52.710	1	52.710	15168.405	<.001
temp	.166	1	.166	47.676	<.001
mat	5.649	2	2.824	812.765	<.001
temp * mat	.128	2	.064	18.482	.003
Error	.021	6	.003		
Total	58.674	12			
Corrected Total	5.964	11			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .994)

ภาพที่ 44 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารหล่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่าสี a* ของผงไม้โครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: b*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	198.311 ^a	5	39.662	567.481	<.001
Intercept	1515.826	1	1515.826	21688.228	<.001
temp	44.352	1	44.352	634.583	<.001
mat	140.268	2	70.134	1003.471	<.001
temp * mat	13.690	2	6.845	97.940	<.001
Error	.419	6	.070		
Total	1714.557	12			
Corrected Total	198.730	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .996)

ภาพที่ 45 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อค่าสี b* ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: %EE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	206.728 ^a	5	41.346	694.952	<.001
Intercept	96692.136	1	96692.136	1625236.339	<.001
temp	.723	1	.723	12.150	.013
mat	179.576	2	89.788	1509.189	<.001
temp * mat	26.429	2	13.215	222.116	<.001
Error	.357	6	.059		
Total	96899.221	12			
Corrected Total	207.085	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

ภาพที่ 46 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%Encapsulation Efficiency, %EE) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TPC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	362.496 ^a	5	72.499	66.157	<.001
Intercept	11971.031	1	11971.031	10923.805	<.001
temp	5.324	1	5.324	4.858	.070
mat	353.569	2	176.785	161.319	<.001
temp * mat	3.603	2	1.801	1.644	.270
Error	6.575	6	1.096		
Total	12340.102	12			
Corrected Total	369.071	11			

a. R Squared = .982 (Adjusted R Squared = .967)

ภาพที่ 47 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DPPH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1357071.834 ^a	5	271414.367	58.821	<.001
Intercept	22332772.521	1	22332772.521	4839.987	<.001
temp	14746.236	1	14746.236	3.196	.124
mat	701746.584	2	350873.292	76.042	<.001
temp * mat	640579.014	2	320289.507	69.414	<.001
Error	27685.327	6	4614.221		
Total	23717529.682	12			
Corrected Total	1384757.161	11			

a. R Squared = .980 (Adjusted R Squared = .963)

ภาพที่ 48 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูลน้ำทุเรียน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FRAP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	868501.987 ^a	5	173700.397	21.150	<.001
Intercept	16402987.436	1	16402987.436	1997.263	<.001
temp	3015.304	1	3015.304	.367	.567
mat	651401.499	2	325700.750	39.658	<.001
temp * mat	214085.184	2	107042.592	13.034	.007
Error	49276.390	6	8212.732		
Total	17320765.813	12			
Corrected Total	917778.377	11			

a. R Squared = .946 (Adjusted R Squared = .902)

ภาพที่ 49 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารหล่อหุ้มและอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อพฤติกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของผงไม้โครแคปซูลน้ำทุเรียน



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวนันทชพร ไชยชนะ
วัน เดือน ปี เกิด	13 มกราคม 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เมื่อปีการศึกษา 2561 เข้าศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563
ที่อยู่ปัจจุบัน	155 ซอยกรุงเทพฯ-นนทบุรี 17 ถนนกรุงเทพฯ-นนทบุรี แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
ผลงานตีพิมพ์	Chaichacna, N., Sirikantaramas, S. and Assatarakul, K. (2022). Effect of milk addition on antioxidants and quality of durian drink during cold storage. In Proceeding of The 48th International Congress on Science Technology and Technology-based Innovation; 29-30 November 2022; Nakhon Si Thammarat, Thailand. p.,834-840.