การประยุกต์ใช้สารสกัดหยาบจากมะขามป้อมในไอศกรีม

APPLICATION OF EMBLICA (*Phyllanthus emblica* Linn) CRUDE EXTRACT IN ICE-CREAM

เปรมกมล พรหมอินทร์

ศศิธร จุฑารัตน

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

APPLICATION OF EMBLICA (*Phyllanthus emblica* Linn) CRUDE EXTRACT IN ICE-CREAM

PREMKAMOL PROMIN

SASITHON CHUTARATTANA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN BIOTECHNOLOGY

DEPARTMENT OF BIOTECHNOLOGY FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การประยุกต์ใช้สารสกัดหยาบจากมะขามป้อมในไอศกรีม Application of Emblica (*Phyllanthus emblica* Linn) Crude Extract in Ice-cream
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเปรมกมล พรหมอินทร์ รหัสนักศึกษา 56050866 นางสาวศศิธร จุฑารัตน รหัสนักศึกษา 56050916
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา	ชีววิทยา
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สุทธิจิต ศรีวัชรกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ลินจง สุขลำภู ประธานกรรมการ	
ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.สุทธิจิต ศรีวัชรกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การประยุกต์ใช้สารสกัดหยาบจากมะขามป้อมในไอศกรีม
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเปรมกมล พรหมอินทร์ รหัสนักศึกษา 56050866
	นางสาวศศิธร จุฑารัตน รหัสนักศึกษา 56050916
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา	ชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สุทธิจิต ศรีวัชรกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดมะขามป้อมผสมในไอศกรีม การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม ซึ่งประกอบไปด้วยวิธีการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สมบัติการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity) และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค (Ferric reducing antioxidant power, FRAP) จากการเตรียมสารสกัดจากมะขามป้อมด้วยสุรา 40 ดีกรี พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด เท่ากับ 0.35±0.01 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม ซึ่งมีค่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดมะขามป้อม สูงสุดที่ร้อยละ 131.04 ที่ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค มีค่า TEAC (Trolox equivalents antioxidant capacity) เท่ากับ 285.42±3.27 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม และได้คัดเลือกไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทมาทำการศึกษาต่อ เนื่องจากเป็นไอศกรีมสูตรที่ได้รับการยอมรับจากกลุ่มตัวอย่าง 30 คน พบว่าปริมาณสารสกัดมะขามป้อมที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าไอศกรีมสูตรอื่นๆ และผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (จากกลุ่มตัวอย่าง 30 คน) ของไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก มีคะแนนเฉลี่ยของลักษณะปรากฏ ความแน่นแข็ง ความเรียบเนียน ความหวานรสชาติ และการยอมรับโดยรวมมากที่สุด นอกจากนี้ไอศกรีมสูตร 2 ยังถือเป็นไอศกรีมระดับดีเยี่ยมอีกด้วย เนื่องจากมีค่าการขึ้นฟูร้อยละ 35.57

คำสำคัญ : ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มะขามป้อม สมบัติการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH สารต้านอนุมูลอิสระ ไอศกรีม

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Application of Emblica (*Phyllanthus emblica* Linn) Crude Extract in Ice-cream
Students Name	Miss Premkamol Promin Student ID 56050866
	Miss Sasithon Chutarattana Student ID 56050916
Degree	Bachelor of Science (Biotechnology)
Department	Biology
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Thesis Advisor	Vorapat Sanguanchaipaiwong, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Suttijit Sriwatcharakul, Ph.D.

Abstract

Phyllanthus emblica Linn. has been also known as Emblica or Indian gooseberry and widely used in Thai traditional medicine. This research has been studied about the addition of *P. emblica* extract into strawberry sherbet ice-cream for increase nutrition in dessert, as a source of antioxidants. Preparation of *P. emblica* crude extract was carried on by soaking the emblica powder in 40 degree spirit. Total phenolic compound contents of *P. emblica* crude extract were equivalent to 0.35±0.01 mg GAE/g extract and the result from ferric reducing antioxidant power (FRAP) expressed in TEAC (Trolox equivalents antioxidant capacity), was 285.42±3.27 mg TE/g extract. The highest DPPH free radical inhibition of *P. emblica* crude extract was 131.04% at 200 µg/mL. Subsequently , strawberry sherbet formula was selected to study for antioxidant ability of *P. emblica* extract in ice-cream. Ice-cream with 0.25% (w/w) of extracts contained the most suitable contents for dessert due to its highest antioxidant ability, combined with the most acceptation form sample group (30 people). Moreover, %overrun of this ice-cream formula was 35.57%, which indicates that it was a premium quality ice cream. Therefore, the extract of *P. emblica* (0.15% w/w) can increase the nutrition of a strawberry sherbet ice-cream.

Keywords : Ferric reducing antioxidant power (FRAP), Sensory Test, Total phenolic, *Phyllanthus emblica* Linn., DPPH, Antioxidants, Ice-cream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ ดร.สุทธิจิต ศรีวัชรกุล และผศ.ลินจง สุขลำภู อาจารย์ที่ปรึกษารายงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนข้อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความใส่ใจ คณะผู้จัดทำตระหนักถึงความตั้งใจและความทุ่มเทของอาจารย์และกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอบคุณเพื่อนสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้คำปรึกษาในการหาข้อมูลและข้อเสนอแนะตลอดจนรายงานเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

หวังว่ารายงานเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษาและผู้ที่สนใจทั่วไป ตลอดจนเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่จะนำไปศึกษาและพัฒนาต่อไป

เปรมกมล พรหมอินทร์
ศศิธร จุฑารัตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของรายงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ 2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 อนุมูลอิสระ 4
2.1.1 ปัจจัยภายในร่างกาย 5
2.1.1.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง 5
2.1.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง 6
2.1.1.3 กระบวนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว 7
2.1.1.4 โลหะทรานซิชัน (transition metal) 7
2.1.2 ปัจจัยภายนอกร่างกาย 7
2.1.2.1 ยารักษาโรค 7
2.1.2.2 รังสี 8
2.1.2.3 ควันบุหรี่ 8
2.1.2.4 โอโซน 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2 อนุมูลอิสระแรงสูง 8
2.2.1 อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) 8
2.2.2 อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) 9
2.2.3 อนุมูลไนตริกออกไซด์ ($NO^{\bullet}$) 9
2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ 10
2.3.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ 10
2.3.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ 10
2.3.1.2 สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ 11
2.3.1.3 สารที่ทำหน้าที่ดักจับออกซิเจน 11
2.3.1.4 เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ 11
2.3.1.5 สารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระ 11
2.3.2 กลไกการทำหน้าที่ของสารต้านอนุมูลอิสระ 11
2.3.2.1 การดักจับอนุมูลอิสระ 11
2.3.2.2 การสลายเพอร์ออกไซด์ 12
2.3.2.3 การยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen 12
2.3.2.4 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน 12
2.3.2.5 การจับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน 12
2.3.2.6 การดักจับออกซิเจน 12
2.3.3 แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ 13
2.3.3.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ 13
2.3.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ 13
2.3.4 วิธีการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4.1 กิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH....14
2.3.4.2 ความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค....15
2.4 สารประกอบฟีนอล....16
2.4.1 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอล....16
2.4.2 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ....17
2.4.2.1 ค่าพีเอช....17
2.4.2.2 อุณหภูมิ....17
2.4.2.3 การเกิดออกซิเดชัน....17
2.4.2.4 การรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ....17
2.5 มะขามป้อม....18
2.5.1 จำแนกชื่อวงศ์ สกุล....18
2.5.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์....18
2.5.3 เวลาในการเก็บเกี่ยวผลมะขามป้อมในแต่ละพื้นที่....19
2.5.4 องค์ประกอบทางเคมี....19
2.5.5 ฤทธิ์สำคัญทางยาที่พบ....20
2.6 ไอศกรีม....20
2.6.1 ชนิดของไอศกรีม....20
2.6.1.1 ไอศกรีม (Ice-cream)....20
2.6.1.2 ไอศกรีมหวานเย็นผสมนม (Milk Ice or Ice milk)....21
2.6.1.3 เชอร์เบท (Sherbet)....21
2.6.1.4 ซอร์เบท (Sorbet)....22
2.6.1.5 ไอศกรีมหวานเย็น (Water Ice)....22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.1.6 ไอศกรีมโยเกิร์ต (Yoghurt Ice Cream).....23
2.6.1 คุณสมบัติของไอศกรีม.....23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....24
2.7.1 การประยุกต์ใช้สารสกัดหยาบจากขิงในไอศกรีม.....24
2.7.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำจากผลมะขามป้อม.....25
2.7.3 คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณสารประกอบฟีโนลิกของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ใช้กากมะม่วงพันธุ์อะตัลโฟทดแทน.....26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....27
3.1 วัตถุดิบ.....27
3.1.2 วัตถุดิบที่นำมาสกัด.....27
3.1.1.1 ไอศกรีมสูตร 1 (ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอรี่).....27
3.1.1.2 ไอศกรีมสูตร 2 (ไอศกรีมโยเกิร์ตสตรอเบอรี่).....27
3.1.1.3 ไอศกรีมสูตร 3 (สตรอเบอรี่เชอร์เบท).....27
3.1.1.4 ไอศกรีมสูตร 4 (สตรอเบอรี่ซอร์เบท).....28
3.2 สารเคมี.....28
3.3 อุปกรณ์.....28
3.3.1 อุปกรณ์ในการทำไอศกรีม.....28
3.3.2 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์โภชนาการ.....29
3.4 การเตรียมวัตถุดิบ.....30
3.5 การเตรียมสารสกัดจากมะขามป้อม.....30
3.6 ขั้นตอนการทำไอศกรีม.....30
3.6.1 ไอศกรีมสูตร 1 (ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอรี่).....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.2 ไอศกรีมสูตร 2 (ไอศกรีมโยเกิร์ตสตรอเบอรี่) 31
3.6.3 ไอศกรีมสูตร 3 (สตรอเบอรี่เชอร์เบท) 31
3.6.4 ไอศกรีมสูตร 4 (สตรอเบอรี่ซอร์เบท) 31
3.7 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส 32
3.8 การวิเคราะห์การขึ้นฟูหรือโอเวอร์รัน (%Overrun) 33
3.9 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 36
3.9.1 วิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 36
3.9.2 การทดสอบความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH 36
3.9.3 การทดสอบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุ เฟอร์ริค. 36
3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ 37
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 36
4.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม 36
4.1.1 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic compounds) 36
4.1.2 ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH 39
4.1.3 ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค 40
4.2 การเลือกชนิดของไอศกรีม 42
4.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไอศกรีมสตรอเบอรี่เชอร์เบทที่ผสมสารสกัดมะขามป้อม . 45
4.3.1 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของไอศกรีมสตรอเบอรี่เชอร์เบท 45
4.3.2 ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ของไอศกรีมสตรอเบอรี่เชอร์เบท 46
4.3.3 ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริคของไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลของสารสกัดมะขามป้อมที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม 50

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 51

5.1 สรุปผลการวิจัย 51

5.2 ข้อเสนอแนะ 56

เอกสารอ้างอิง 58

ภาคผนวก 65

ภาคผนวก ก 66

ภาคผนวก ข 72

ภาคผนวก ค 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 อนุมูลอิสระและสูตรโครงสร้าง 5

2.2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันและของแข็งทั้งหมด และค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมแต่ละประเภท.....24

3.1 ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม.....34

3.2 ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมผสมสารสกัดมะขามป้อม.....35

4.1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม.....38

4.2 คะแนนการยอมรับเฉลี่ยที่ได้จากสูตรที่ต่างกันของไอศกรีมและค่าการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมสูตรต่างๆ ที่เติมสารสกัดมะขามป้อม.....43

4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไอศกรีมที่มีความเข้มข้นของสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก.....46

4.4 ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดมะขามป้อมที่มีความเข้มข้นเทียบเท่ากับสารสกัดที่ผสมในสูตรไอศกรีมและของไอศกรีมที่ผสมสารสกัดมะขามป้อมด้วยความเข้มข้นร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก.....47

4.5 ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของไอศกรีมสูตรต่างๆ เมื่อกำหนดให้สูตร 1 มีค่าการยับยั้งที่ร้อยละ 100.....48

4.6 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของไอศกรีมที่มีความเข้มข้นของสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก.....50

4.7 คะแนนการยอมรับเฉลี่ยที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันของสารสกัดมะขามป้อมในไอศกรีมและค่าการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมสูตรต่างๆ.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน 6

2.2 วิธีการที่สารต้านอนุมูลอิสระลดการเกิดอนุมูลอิสระ 10

2.3 ตัวอย่างทางโครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ 13

2.4 สมการการเกิดปฏิกิริยาหลังจากการเติมสารต้านอนุมูล 14

2.5 มะขามป้อม *Phyllanthus emblica* L. (ก) รูปช่อดอก (ข) รูปผล 18

2.6 ส่วนต่างๆของมะขามป้อม *Phyllanthus emblica* L. 19

2.7 ไอศกรีมช็อคโกแลต 21

2.8 ไอศกรีมหวานเย็นผสมนม 21

2.9 สตอเบอรี่เชอร์เบท 22

2.10 ซอร์เบทมะม่วง 22

2.11 ไอศกรีมหวานเย็นรสแตงโม 23

2.12 ไอศกรีมโยเกิร์ต 23

4.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของวิตามินอีกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH 39

4.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสารสกัดหยาบมะขามป้อมด้วยสุรา 40 ดีกรีกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH 40

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการต้านอนุมูลอิสระของมะขามป้อมบดในระหว่างกระบวนการหมักด้วย *L. paracasei* HII01 ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักกับระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก (Fn-1: สูตรการมักที่ 1, Fn-2: สูตรการหมักที่ 2, Fn-3: สูตรการหมักที่ 3, Fn-4: สูตรการหมักที่ 4, Cl-1: ชุดควบคุมที่ 1, Cl-2: ชุดควบคุมที่ 2, Cl-3: ชุดควบคุมที่ 3, Cl-4: ชุดควบคุมที่ 4) 41

4.4 ไอศกรีมสูตรต่างๆ ที่ผสมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 1 (ก) สูตร 1 ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอร์รี่ (ข) สูตร 2 ไอศกรีมโยเกิร์ตรสสตรอเบอร์รี่ (ค) สูตร 3 ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท และ (ง) สูตร 4 ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่ซอร์เบท 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของรายงาน

ปัจจุบันนี้ผู้บริโภคหันมาใส่ใจเรื่องสุขภาพและข้อมูลทางโภชนาการในอาหารกันอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้ทางอุตสาหกรรมอาหารมีการคิดค้น วิจัย และพัฒนาสูตรอาหารให้มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น นอกจากนี้ผู้บริโภคยังให้ความสนใจในเรื่องของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ที่อยู่ในอาหารอีกด้วย เพราะอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุสำคัญของโรคหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดตีบและแข็งตัว (Atherosclerosis) เกิดการกลาย (Mutation) ของเซลล์ทำให้เกิดโรคมะเร็งบางชนิด โรคอัลไซเมอร์หรือโรคความจำเสื่อม ทำให้เกิดกระบวนการอักเสบ ทำให้การทำลายเนื้อเยื่อรุนแรงขึ้น โรคไขข้ออักเสบและความเสื่อมของร่างกาย เป็นต้น (อนันต์ สกุลกิม, 2551)

มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* L.) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า emblica หรือ Indian gooseberry เป็นที่ทราบกันดีว่ามะขามป้อมมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยวิตามินซี แร่ธาตุ และกรดอะมิโน และยังมีสารอาหารจำพวก แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไอออน แคโรทีน ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน (Charoenteeraboon และคณะ, 2010) ในผลมะขามป้อมมีวิตามินซีที่มีความเสถียรสูง เนื่องจากมีแทนนิน และโพลีฟีนอลเป็นส่วนประกอบ ผล เปลือก และใบของพืชชนิดนี้อุดมไปด้วยแทนนิน จากการศึกษาทางเคมีของพืชชนิดนี้เผยให้เห็นว่ามีสารสำคัญจำพวก norbisabolane และอนุพันธ์ของ bisabolane จากราก รวมถึงสาร galloyl esters ของ กรดมาลิค (malic acid) กรดมูซิก (mucic acid) และ mucic acid 1,4-lactone ซึ่งในสารสกัดมะขามป้อมจะมีสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 34.22 ± 1.74 กรัมของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 100 กรัมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH (DPPH radical scavenging activity) เป็น 0.182 ± 0.070 ไมโครกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 มิลลิลิตร และมีความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant power, FRAP) เป็น 0.893 ± 0.067 ไมโครโมลของโทรลอกซ์ต่อสารสกัดต่อสารสกัด 1 มิลลิกรัม

ในอาหารประเภทของหวานมีการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากผลไม้ลงไป เช่น มัฟฟินมะม่วง ซึ่งเป็นการใช้กากมะม่วงที่ได้จากการผลิตซอสมะม่วงทดแทนแป้งสาลีในสูตรขนมมัฟฟิน (Ramirez-Maganda และคณะ, 2015) ส่งผลให้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคเพิ่มขึ้น และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นจาก 2.4 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อมัฟฟิน 1 กรัม เป็น 5.3 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อมัฟฟิน 1 กรัม อีกทั้งความสามารถการลดอิออนของเหล็กเพิ่มขึ้นจากเดิม 2.61 มิลลิโมลาร์สมมูลย์โทรลอกซ์ ต่อกรัมน้ำหนักแห้งของมัฟฟิน เป็น 34.1 มิลลิโมลาร์สมมูลย์โทรลอกซ์ ต่อกรัมน้ำหนักแห้งของมัฟฟิน และ การเสริมเปลือกมะม่วงลงในคุกกี้ (อินทิรา ลิจันทร์พร และคณะ, 2556) เมื่อนำคุกกี้ที่เสริมด้วยเปลือกมะม่วงมาทดสอบผลที่เกิดขึ้นพบว่า ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่าสัปดาห์แรก โดยคุกกี้เสริมผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 40 มีปริมาณฟินอลิกทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 58.83 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม ในขณะที่ คุกกี้เสริมผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 0 มีปริมาณฟินอลิกทั้งหมดต่ำสุด โดยการเพิ่มปริมาณผงเปลือกมะม่วงในผลิตภัณฑ์คุกกี้ส่งผลให้ปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 2 และลดลงในสัปดาห์ที่ 3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น มีการสังเคราะห์และการสลายตัว ซึ่งในการสังเคราะห์สารประกอบฟินอลิกมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ แสง อุณหภูมิ คาร์โบไฮเดรตภายในเซลล์ แร่ธาตุ และน้ำ

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองกับไอศกรีม เนื่องจากเป็นของหวานที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย และนำสารสกัดมะขามป้อมเข้มข้นซึ่งมีรสเปรี้ยวและฝาด มาใช้เป็นแหล่งให้สารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเสริมสารต้านอนุมูลอิสระในไอศกรีม ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านของลดสาเหตุของการเกิดโรคที่อันตราย (อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และคณะ, 2553) เช่น โรคตับแข็ง โรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน โรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ โรคต้อกระจก โรคหลอดเลือดแข็ง โรคเบาหวานได้ นอกจากนี้สารสกัดจากมะขามป้อมมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในท้องตลาด โดยในการทดลองนี้นำมะขามป้อมมาสกัดด้วยสุรา 40 ดีกรี ให้ได้สารสกัดมะขามป้อมเข้มข้นและใส่ลงในไอศกรีม โดยใช้สูตรที่ผ่านการคัดเลือกจากการนำไปทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคและวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะถูกวิเคราะห์จากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH รวมถึงวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริก (Ferric Reducing Antioxidant Power, FRAP)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในไอศกรีม เพื่อทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีประโยชน์มากขึ้น
2. เพื่อศึกษาความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH และ ความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค (FRAP) ในสารสกัดมะขามป้อมเข้มข้นและไอศกรีมที่เสริมสารสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อประเมินผลตอบรับไอศกรีมที่เสริมสารสกัดจากผู้บริโภคทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสบนพื้นฐานการยอมรับโดยรวมด้วยการประเมินแบบสุ่ม

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ศึกษาฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระในมะขามป้อม โดยนำผลมะขามป้อมสดมาอบ จากนั้นบดให้ละเอียดก่อนจะนำมาสกัดด้วยสุรา 40 ดีกรี เพื่อให้ได้สารสกัดเข้มข้นจากมะขามป้อม นำสารสกัดที่ได้มาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการวิเคราะห์การดักจับอนุมูลอิสระ DPPH และ ความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค (FRAP) รวมไปถึงการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ต่อมานำสารสกัดจากมะขามป้อมผสมลงในสูตรของไอศกรีมที่ผ่านการคัดเลือกโดยใช้วิธีการทางสถิติ และนำไอศกรีมที่ผสมสารสกัดมะขามป้อมเข้มข้นแล้วมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งทดสอบความพึงพอใจจากผู้บริโภคโดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสจากการชิมไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมเข้มข้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในไอศกรีมที่ได้จากมะขามป้อมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ
2. ทราบฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดมะขามป้อมและในไอศกรีมผสมสารสกัด
3. สามารถค้นพบสูตรไอศกรีมที่เสริมสารสกัดซึ่งเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคด้วยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสและการประมวลผลโดยวิธีทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radical หรือ oxidant) คือ โมเลกุล หรือ ไอออนที่มีอิเล็คตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอก เป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีในลักษณะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกายไม่ว่าจะเป็นการทำลายโครงสร้างดีเอ็นเอ (DNA) การเปลี่ยนสภาพโปรตีนและไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิดจนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์เหล่านั้นผิดปกติ (Ames และคณะ, 1993) เป็นสาเหตุสำคัญของโรคหลายชนิด (Nakabeppu และคณะ, 2006)

อนุมูลอิสระเกิดขึ้นในร่างกายจากการขนถ่ายอิเล็คตรอนในกระบวนการเผาผลาญอาหารให้เกิดเป็นพลังงานโดยใช้ออกซิเจนในไมโตคอนเดรีย อิเล็คตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกจับโดยออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เรียกว่า Reactive oxygen species (ROS) ตัวอย่าง เช่น ไฮดรอกซิล (Hydoxyl) ซูปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide) และเพอร์รอกซิล (Peroxyl) อนุมูลอิสระชนิดอื่นที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น Reactive nitrogen species (RNS) เช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide) และเมทธิล (Methyl) ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1 นอกจากการเผาผลาญอาหารที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระแล้ว แหล่งอื่นในร่างกายที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปฏิกิริยาทางเอนไซม์ เช่น แซนทีนออกซิ-เดส (Xanthine oxidase) พรอสตาแกลนดิน ซินเทส (Prostaglandin synthase) ลิพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) แอลดีไฮด์ออกซิเดส (Aldehyde oxidase) ปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชันของไขมัน (Lipid peroxidation) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัว สภาวะทางอารมณ์ เช่น ความเครียด และพยาธิสภาพของร่างกาย เช่น การมีไข้ การติดเชื้อ เป็นต้น แหล่งอนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกาย ได้แก่ รังสี โอโซน ควันบุหรี่ ตัวทำละลายอินทรีย์ และมลภาวะต่างๆ (วัลลภ วีชะรังสรรค์ และประณีต โอปณะโสภิต, 2547)

อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถถูกกำจัดหรือลดความรุนแรงด้วยสารที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระแล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ได้ (Denisov, 2005) ความเข้าใจถึงปัจจัยที่ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระ กลไก หรือปฏิกิริยาเคมีรวมถึงบทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง ที่จะช่วยให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับร่างกายได้

ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ จะพบอนุมูลอิสระของออกซิเจนชนิดต่างๆ เกิด ขึ้นอยู่ตลอดเวลา การเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ มีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย

ตารางที่ 2.1 อนุมูลอิสระและสูตรโครงสร้าง

อนุมูลอิสระ	**สูตรโครงสร้าง**
อะตอมไฮโดรเจน	$H^{\bullet}$
อนุมูลไฮดรอกซิล	$HO^{\bullet}$
อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกซิล	$HOO^{\bullet}$
อนุมูลอัลคิล	$R^{\bullet}$
อนุมูลอัลโคซิล	$RO^{\bullet}$
อนุมูลอัลคิลเปอร์ออกซิล	ROO
อนุมูลกลูต้าไธอิล	$GS^{\bullet}$
อนุมูลเมทิล	$^{\bullet}CH_3$
ไนตริกออกไซด์	$^{\bullet}NO$
ไนโตเจนไดออกไซด์	$^{\bullet}NO_2$

ที่มา : วัลลภ วีชะรังสรรค์ และประณีต โอปณะโสภิต (2547)

2.1.1 ปัจจัยภายในร่างกาย

2.1.1.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (autooxidation) เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมันซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ (Nawar, 1996) คือ

1) ระยะเหนี่ยวนำเริ่มต้น (initiation) เป็นระยะที่กรดไขมันแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ โดยมีแสงหรืออุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ

$$RH + \text{initiation} \longrightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

2) ระยะเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี่ (peroxy radical) (1) แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydro peroxide) และอนุมูลอิสระ (2) ซึ่งถ้ามีแสงและความร้อนเป็นตัวเร่งก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แล้วอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก็สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่ได้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังสมการ

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet}$$

3) ระยะสิ้นสุด (Termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมตัวกันกลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร ดังสมการ

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow RR$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2$$

2.1.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (Halliwell และคณะ, 1995)

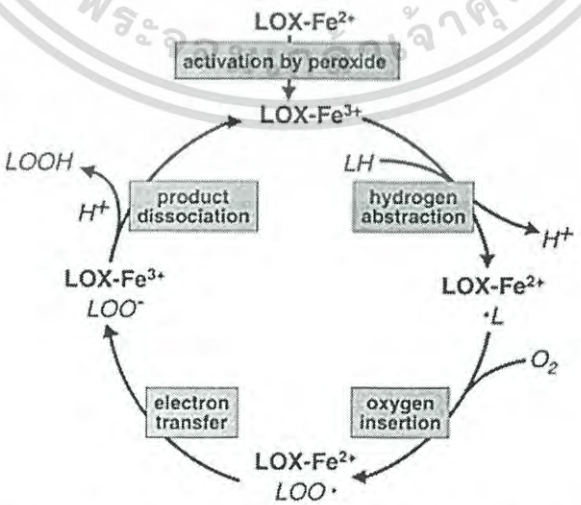
การทำงานของเอนไซม์สำคัญ 2 ชนิดที่มีผลกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระภายในร่างกายได้แก่

1) เอนไซม์ แซนธีนออกซิเดส (xanthine oxidase : XO) ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสลายเบสพิวรีน (purine) โดยเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไฮโพแซนธีน (hypoxanthine) เป็นแซนธีน (xanthine) และแซนธีน เป็นกรดยูริก (uric acid) พร้อมๆกับเคลื่อนย้ายอิเล็คตรอนให้ออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) ดังสมการ

$$\text{Hypoxanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{xo} \text{xanthine} + H_2O_2 + O_2^{\bullet-}$$

$$\text{xanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{xo} \text{uric acid} + H_2O_2 + O_2^{\bullet-}$$

2) เอนไซม์ไลโพออกซีจีเนส (lipoxygenase: LOX) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (polyunsaturated fatty acid) ภายในโมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก (Fe) เป็นส่วนประกอบอยู่ทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมันและเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเพอรอกไซด์ ซึ่งจะสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไปได้ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน

ที่มา : O'Donnell และคณะ (1999)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 กระบวนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว

ในขั้นตอนการทำลายสิ่งแปลกปลอมโดยเฉพาะเชื้อโรคที่ถูกกลืนกินเข้ามาภายในร่างกาย เซลล์เม็ดเลือดขาวจะมีการดึงโมเลกุลออกซิเจน (O_2) มาใช้เป็นจำนวนมากเพื่อผลิตเป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O2^{\bullet-}$) จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ NADPH oxidase ที่อยู่บนเยื่อบุชั้นนอก (outer membrane) ของเม็ดเลือดขาว ดังสมการ

$$2O_2 + NADPH \xrightarrow{\text{NADPH oxidase}} 2O_2^{\bullet-} + NADP + H^+$$

นอกจากนี้ในเม็ดสี (granule) ของเม็ดเลือดขาวยังมีเอนไซม์ไมอีโลเทอรอกซีเดส (myeloperoxidase) ทำให้เกิดอนุมูลไฮโปคลอรัส (hypochlorus, $HOCl^{\bullet}$) ซึ่งเป็นสารที่ทำลายจุลชีพได้ดังปฏิกิริยา

$$H_2O_2 + Cl^- \xrightarrow{\text{myeloperoxidase}} HOCl^{\bullet} + OH^-$$

2.1.1.4 โลหะทรานซิชัน (transition metal)

โลหะทรานซิชัน 2 ชนิดคือ เหล็ก(Fe2+) และ ทองแดง (Cu2+) ที่มีอยู่ทั่วไปในร่างกายสามารถเร่งการสร้างอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) จากซูปเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide, H_2O_2) ในปฏิกิริยา Fenton (Fenton'sreaction) (Halliwell, 1999) ดังสมการ

$$H_2O_2 + O_2^{\bullet-} \xrightarrow{Fe2+/Cu2+} OH^{\bullet} + OH^- + O_2$$

2.1.2 ปัจจัยภายนอกร่างกาย

2.1.2.1 ยารักษาโรค

ยาบางชนิดสามารถสามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ยาในกลุ่มต้านจุลชีพและต้านมะเร็ง อย่างเช่น bleomycin, antracyclines (Voest และคณะ, 1994) และ methotrexate (Gressier และคณะ, 1994) เนื่องจากมีฤทธิ์เสริมออกซิเดชัน (pro-oxidation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 รังสี

การใช้รังสีรักษาโรค เช่น รังสีเอ็กซ์ (X-ray) รังสีแกมมา (γ-ray) เป็นต้น อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายจากการถ่ายทอดพลังงานให้กับน้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์แล้วก่อให้เกิดปฏิกิริยาขั้นต่อไป (secondary reaction) กับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในเซลล์นั้นได้อนุมูลอิสระเกิดขึ้น (Halliwell และคณะ, 1995)

2.1.2.3 ควันบุหรี่

ในควันบุหรี่มีส่วนประกอบของ ไนตริกออกไซด์ (NO), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) และ เพอรอกซีไนไตรท์ ($ONOO^-$) และสารมลพิษได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และคาร์บอนเตรตตะคลอไรด์ (CCl_4) ซึ่งจะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยการทำงานของเอนไซม์ ไซโทโครม P-450 ไฮดรอกซีเจส (cytochrome P-450 hydroxylase) ที่มีอยู่มากในเซลล์ตับและพบได้บ้างในเซลล์ ปอดและลำไส้เล็ก ทำให้เป็นสาเหตุของการสร้างอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ภายในเซลล์ดังกล่าว (Bast และคณะ, 1991)

2.1.2.4 โอโซน

โอโซนไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระแต่จัดเป็นสารออกซิไดส์แรงสูงซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิลได้จากการกระตุ้นของคลื่นแสงยูวี (Valacchi และคณะ, 2004)

2.2 อนุมูลอิสระแรงสูง

อนุมูลอิสระแรงสูงที่สำคัญของร่างกาย ได้แก่

2.2.1 อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$)

เป็นอนุมูลอิสระที่พบได้ภายในเซลล์ทั่วไป ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งอิเล็คตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำภายในไมโตคอนเดรีย (mitochondria) อนุมูลนี้จะไม่เข้าทำปฏิกิริยาทำลายเซลล์โดยตรงแต่เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยมี Fe^{2+} หรือ Cu^{2+} ช่วยเร่งในปฏิกิริยา Fenton จะได้เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความว่องไวสูง นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตยังสามารถสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จากซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) ได้โดยตรงจากปฏิกิริยา dismutation ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) (Akoh และ Min,1998) ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O_2^{\bullet-} + 2H^+ \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$$

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้ถึงแม้ไม่เป็นอนุมูลอิสระและจัดเป็นสารออกซิไดส์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาทำลายเซลล์แต่เป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลและยังมีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างอนุมูลไฮโปคลอรัส ($HOCl^{\bullet}$) ของเม็ดเลือดขาวชนิดนิวโตรฟิล (neutrophil) ที่ถูกกระตุ้นด้วยจุลชีพอีกด้วย จากเอนไซม์ myeloperoxidase ที่เก็บอยู่ในถุงไลโซโซม (lysosome) (Davies, 1995; Sen, 1995) ดังสมการ

$$H_2O_2 + Cl^- \xrightarrow{\text{myeloperoxidas}} HOCl^{\bullet} + OH^-$$

อนุมูลชนิดนี้สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีและสามารถสร้างอนุมูลไฮดรอกซิลได้เมื่อมีโลหะทรานซิชันอยู่ด้วยดังสมการ

$$HOCl^{\bullet} + O_2^{\bullet-} \longrightarrow OH^{\bullet} + Cl^- + O_2$$

$$HOCl^{\bullet} + Fe^{2+} \longrightarrow OH^{\bullet} + Cl^- + Fe^{3+}$$

2.2.2 อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$)

จัดเป็นสารออกซิไดส์แรงสูงที่มีความว่องไวสูงสุด สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ดังนั้นอนุมูลนี้จึงเป็นอันตรายต่อสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิตมากกว่าอนุมูลชนิดอื่นๆ (Halliwell, 1999) อนุมูลไฮดรอกซิลสร้างขึ้นจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่มีโลหะทรานซิชันอยู่ในระบบโดยเหล็ก (Fe^{2+}) จะทำลายพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างออกซิเจนของสารเปอร์ออกไซด์ได้เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) และไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide ion, OH^-) ในปฏิกิริยา Fenton ดังสมการข้างล่าง

$$Fe^{2+} + O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + O_2^-$$

$$2O_2^- + 2H^+ \longrightarrow H_2O_2 + O_2$$

$$Fe^{2+} + O_2^- + 2H^+ \longrightarrow Fe^{3+} + H_2O_2$$

Fenton's reaction $\quad Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + OH^{\bullet} + OH^-$

2.2.3 อนุมูลไนตริกออกไซด์ ($NO^{\bullet}$)

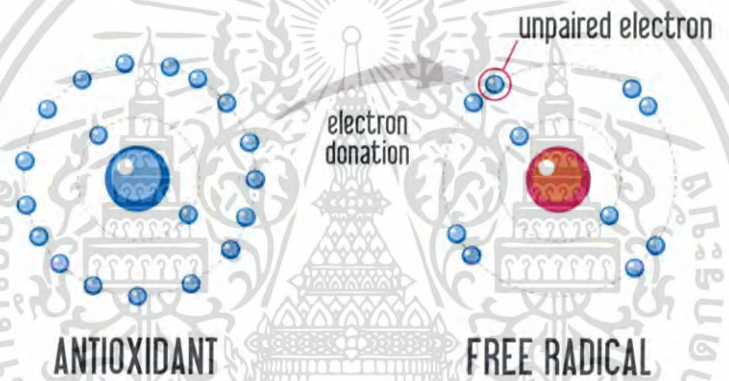
เป็นอนุมูลอิสระขนาดเล็กที่เป็นพิษกับเซลล์ปอด สามารถรวมตัวกับโลหะทรานซิชันหรือโปรตีนที่มีโลหะชนิดนี้เป็นองค์ประกอบ (metalloprotein) ได้อนุมูลไนตริกออกไซด์สามารถเข้าจับกับฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ได้เร็วกว่าโมเลกุลออกซิเจนจนอาจเกิดการขัดขวางกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนส่งก๊าซออกซิเจนขึ้น นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ได้อย่างรวดเร็วเกิดเป็นอนุมูล peroxynitrite ($ONOO^{\bullet}$) ที่มีความว่องไวสูง ในสภาวะที่มีออกซิเจน $NO^{\bullet}$ จะถูกออกซิไดส์เป็น NO_2 ซึ่งเป็นสารมลพิษสามารถทำลายเซลล์ของถุงลม (alveoli) และผนังหลอดลม (vascular endothelium) ภายในปอดได้ (Stephens และคณะ, 1972 ; Foubert และคณะ, 1992)

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารที่มีปริมาณน้อยที่สามารถป้องกัน หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระต่างๆ ได้ (Meyer และคณะ, 2002) สารเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับ (Scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรงยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ หรือเข้าจับ (Chelate) กับเหล็ก (Fe^{2+}) หรือป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 วิธีการที่สารต้านอนุมูลอิสระลดการเกิดอนุมูลอิสระ

ที่มา: Keller (2009)

2.3.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แบ่งกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระไว้ 5 กลุ่ม ดังนี้ (ชัยรัตน์ พึ่งเพียน, 2552)

2.3.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ (Primary antioxidants) เป็นสารที่หยุดปฏิกิริยาอนุมูลอิสระโดยการให้อนุมูลไฮโดรเจน ($H^{\bullet}$) หรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระโดยตรงเป็นผลให้อนุมูลนั้นกลายเป็นสารที่มีความเสถียรมากขึ้น สารที่มีสมบัติดังกล่าว เช่น สารประกอบฟีนอล (phenolic) หรือสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น บิวทิเลเตตไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene, BHT) บิวทิเลเตตไฮดรอกซีอะนิโซล (Butylated hydroxyl anisole, BHA) และเทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน (Tertiary butyl hydroquinone, TBHQ) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (Secondary antioxidant) สารต้านอนุมูลอิสระประเภทนี้ไม่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระ แต่จะทำหน้าที่สลายไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของไขมัน ให้เกิดเป็นสารที่มีความเสถียร เช่น กรดไทโอโพรพิโอนิก (Thiopropionic acid)

2.3.1.3 สารที่ทำหน้าที่ดักจับออกซิเจน (Oxygen scavengers) เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน แล้วกำจัดออกไปจากระบบได้ ซึ่งสารจับออกซิเจนจะช่วยเสริมฤทธิ์ หรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) กรดอิริทรอบิก (Erythorbic acid) แอสคอร์บิลปาล์มิเตต (Ascorbyl palmitate) เป็นต้น

2.3.1.4 เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Enzymatic antioxidants) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจน เช่น กลูโคสออกซิเดส (Glucose oxidase) หรือกำจัดสารที่เกิดการออกซิเดชันได้ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ ดิสมูเทรส (Superoxide dismutase)

2.3.1.5 สารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระ (Chelating agents) เป็นสารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลโลหะ ซึ่งอนุมูลโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระนี้จะเป็นตัวส่งเสริมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ ซึ่งสารเหล่านี้อาจมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเล็กน้อยหรือไม่มีเลย เช่น กรดซิตริก (Citric acid) กรดอะมิโน (Amino acid) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ได้แก่ เซฟาลิน (Cephalin)

2.3.2 กลไกการทำหน้าที่ของสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระมีกลไกการทำงานแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

2.3.2.1 การดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) สารต้านอนุมูลอิสระ(AH) เหล่านี้สามารถชะลอหรือยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ในระยะเพิ่มจำนวน โดยการให้อนุมูลไฮโดรเจนหรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระ (Gordon, 2001) ดังสมการ

$$LOO^{\bullet} + AH \longrightarrow LOOH + A^{\bullet}$$

$$LO + AH \longrightarrow LOH + A^{\bullet}$$

$$A^{\bullet} + LOOH \longrightarrow AH + LOO^{\bullet}$$

$$A^{\bullet} + LOO^{\bullet} \longrightarrow AOOL$$

$$A^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow \text{non-radical products}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 การสลายเพอร์ออกไซด์ (Peroxide decomposing) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด หรือกรดไทโอโพรพิโอนิก สามารถทำหน้าที่สลาย เพอร์ออกไซด์ของไขมัน ให้เกิดเป็นสารที่มีความเสถียร เช่น แอลกอฮอล์ คีโตน หรือ แอลดีไฮด์

2.3.2.3 การยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen (Singlet oxygen quenching) โดยปกติออกซิเจนที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) จะอยู่ในรูปของ Triplet oxygen ($^3O_2$) จะไม่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับกรดไขมัน แต่เมื่อ Triplet oxygen ได้รับพลังงานกระตุ้นจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Singlet oxygen ($^1O_2$) ซึ่งจะไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยากรดไขมัน ซึ่งสารที่มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen นั้นอาจไปยับยั้งสารที่จะไปกระตุ้นการเกิด Singlet oxygen หรืออาจเข้าจับกับ Singlet oxygen โดยไม่ทำปฏิกิริยาเคมี หรืออาจเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับ Singlet oxygen (Meyer และคณะ, 2002)สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids, Car) สามารถยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen โดยการเปลี่ยน Singlet oxygen ให้อยู่ในรูป Triplet oxygen และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน (Gordon, 2001)

$$^1O_2^{\bullet} + Car \longrightarrow {}^3O_2 + Car^{\bullet}$$

$$^3Car^{\bullet} \longrightarrow Car + Thermal\ energy$$

2.3.2.4 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Enzyme inhibiting) สารประกอบฟีนอลบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอล และแกลเลต (Gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสได้ โดยการเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ จึงส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว (ปณัฐฐา ไชยมุติ, 2547)

2.3.2.5 การจับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Metal chelating) อนุมูลโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยสารที่ทำหน้าที่จับกับโลหะเหล่านี้ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดซิตริก เอทิลีนไดอะมินเททราแอซิติก แอซิด (Ethylenediamine tetraacetic acid; EDTA) นอกจากนี้ กรดอะมิโน เพปไทด์ และแลคโต-เฟอริน (Lactoferrin) ก็มีความสามารถในการจับกับอนุมูลโลหะเช่นกัน (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)

2.3.2.6 การดักจับออกซิเจน (Oxygen scavenging) กรดแอสคอร์บิกมีสมบัติในการจับกับออกซิเจน สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับซุปเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) อนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลเพอร์รอกซิล และSinglet oxygen กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซิง (Reducing agent) ซึ่งจะถ่ายไฮโดรเจนอะตอม (H) ให้กับออกซิเจน จึงทำ

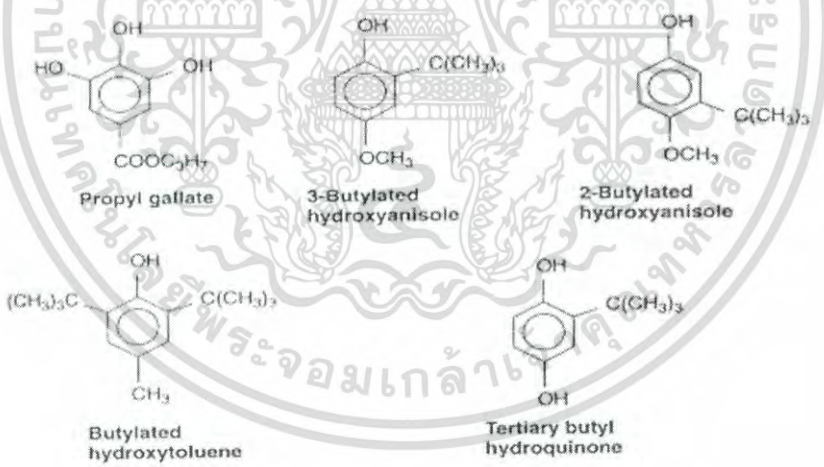
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ออกซิเจนไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกยังทำหน้าที่เป็นตัวเสริมฤทธิ์ (Synergist) ให้กับโทโคเฟอรอล (Tocopherols) โดยจะช่วยให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลแอลฟาโทโคเฟอรอลเพอร์รอกซิล (α - Tocopherol peroxyl) เปลี่ยนรูปกลับไปเป็นแอลฟาโทโคเฟอรอล (α - Tocopherol) ซึ่งมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้อีกครั้ง (ปณัฐฐา ไชยมุติ, 2547)

2.3.3 แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ

สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.3.3.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthesls antioxidants) เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่สังเคราะห์ขึ้น โดยในโครงสร้างจะมีการเติมหมู่แอลคิล เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการละลายในไขมัน นำไปใช้เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน สารสังเคราะห์เหล่านี้ เช่น บิวทิเลเตตไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene, BHT) บิวทิเลเตตไฮดรอกซีอะนิโซล (Butylated hydroxyl anisole, BHA) และเทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน (Tertiary butyl hydroquinone, TBHQ) และโพรพิลแกลเลต (Propyl gallate, PG) โดยมีการกำหนดให้ใช้ BHA, BHT และTBHQ ได้ในปริมาณไม่เกิน 0.02% (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์

ที่มา: Howell และ Saeed (1999)

2.3.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) เป็นสารที่พบได้ในธรรมชาติไม่ว่าจะมาจากพืช จุลินทรีย์ หรือเนื้อเยื่อของสัตว์ (Prior และคณะ, 2005) แบ่งกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของเอนไซม์ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเทรส กลูทาไทโอนเพอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase) และคะตะเลส (Catalase) กลุ่มสารโมเลกุลใหญ่ เช่น อัลบูมิน (Albumin) เซรูโรพลาสมิน (Ceruloplasmin) เฟอริติน (Ferritin) กลุ่ม

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารโมเลกุลเล็ก เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคเฟอรอล แคโรทีนอยด์ และโพลีฟีนอลิก (Polyphenol) กลุ่มของฮอร์โมนบางชนิด เช่น เอสโตรเจน (Estrogen) แองจิโอเทนซิน (Angiotensin) และเมลาโทนิน (Melatonin) เป็นต้น (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)

2.3.4 วิธีการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันได้มีผู้คิดค้นและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระไว้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีการมีหลักการที่แตกต่างกันออกไป เช่น การวัดความสามารถในการดักจับอนุมูลเพอร์รอกซิล ได้แก่ ORAC และ TRAP การวัดความสามารถในการรีดิวซ์โลหะ ได้แก่ FRAP การวัดความสามารถในการจับอนุมูลอินทรีย์ ได้แก่ ABTS และ DPPH การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ TBARS เป็นต้น โดยการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ ได้แก่ DPPH, ABTS และFRAP ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวใช้หลักการของการให้อิเล็คตรอนหรืออะตอมของไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระสามารถใช้ในการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากพืชสมุนไพร รวมถึงกลุ่มของผัก ผลไม้ได้ และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันสูง เนื่องจากมีหลักการที่ใช้วิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานเดียวกันดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)

2.3.4.1 กิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity)

เป็นวิธีการวัดความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระ DPPH ของสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยอนุมูล DPPH• เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัวมีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้ว โดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูล การวัดทำโดยใช้เครื่องสเปกโตโฟโตรมิเตอร์วัดการลดลงของสี เมื่อเติมสารต้านอนุมูลลงไป โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ดังภาพที่ 2.4

รูปที่ 2.4 สมการการเกิดปฏิกิริยาหลังจากการเติมสารต้านอนุมูล

ที่มา: บังอร วงศ์รักษ์ และ ศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ์ (2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระที่ศึกษาเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรที่อยู่ในสารละลาย โดยในการทดสอบนี้จะให้ DPPH (มีสีม่วงเข้ม) ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จะแปรผันกับความเข้มข้นของ DPPH ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ

การแสดงผลการศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันในสารตัวอย่าง นิยมรายงานเป็น ค่า 50 เปอร์เซ็นต์ Inhibitory Concentration (IC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ ความเข้มข้นของ DPPH ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับ ค่าการดูดกลืนแสง แล้วหาค่า IC_{50} ในการคำนวณความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระจะเปรียบเทียบค่าระหว่างตัวอย่างที่ทดสอบกับสารมาตรฐาน เช่น ascorbic acid, gallic acid เป็นต้น คำนวณ Radical Scavenging (เปอร์เซ็นต์การออกฤทธต้านอนุมูลอสระ) (บังอร วงศ์รักษ์ และศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ์, 2549)

2.3.4.2 ความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค (Ferric reducing antioxidant power, FRAP) เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระโดยไม่มีการสร้างอนุมูลอิสระที่เป็นสารอินทรีย์ขึ้นในระบบ แต่จะวัดความสามารถในการรีดิวซ์โลหะ โดยในระบบที่มีพีเอชต่ำ (pH ~ 3.6) สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+} - TPTZ จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระไปอยู่ในรูปเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เพิ่มขึ้น เดิมการคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จะเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร กับปริมาณของเฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulfate; $FeSO_4$) รายงานค่าที่ได้ในรูปสมมูลย์ของเฟอรัสไอออน ต่อมาจึงได้มีการประยุกต์ใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ และให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับเฟอรัสซัลเฟต นอกจากนี้โทรลอกซ์ยังทำปฏิกิริยารวดเร็วในระบบ และใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที ก็จะถึงจุดยุติ (Pulido และคณะ, 2000) เปรียบเทียบผลของการใช้เฟอรัสซัลเฟตและสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดแกลลิก โทรลอกซ์ BHA และกรดแอสคอร์บิก เป็นสารมาตรฐานในการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดย FRAP ต่อค่าสมการถดถอย (Regression equation) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficients, r)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) เป็นสารในกลุ่มเมตาบอไลต์ระดับทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ของพืช และการป้องกันจากเชื้อก่อโรค นอกจากนี้อาจเป็นสารที่ให้สีหรือกลิ่นรสในผัก และผลไม้ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกนั้นมีอยู่ในอาหาร และเครื่องดื่มที่ได้มาจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืชต่างๆ น้ำผลไม้ ไวน์ ชา และกาแฟ เป็นต้น แต่พบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป (Balasundran และคณะ, 2006)

สารประกอบฟีนอลิกมีลักษณะโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ หรือมากกว่า พบได้ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น เทนนิน (Tennins) (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

2.4.1 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล (antioxidant, AH) ทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$ROO^{\bullet} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\bullet}$$

$$RO^{\bullet} + AH \longrightarrow ROH + A^{\bullet}$$

เมื่อสารประกอบฟีนอลให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลจะค่อนข้างมีความเสถียร เนื่องจากเกิดการเคลื่อนย้ายของอิเล็คตรอนในวงแหวนแบนซีน และทำให้ไม่มีตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการเข้าจับของโมเลกุลออกซิเจน นอกจากนี้อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วยดังสมการ

$$ROO^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow ROOA^{\bullet}$$

$$RO^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow ROA^{\bullet}$$

โดยความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่ง และหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีน เช่น การมีหมู่ไฮดรอกซิลลำดับที่ 2 ที่ตำแหน่งออร์โท (Ortho-) และพารา (Para-) ของสารประกอบฟีนอล จะไปเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการแทนที่ตรงตำแหน่งของออร์โท และพารา หมายถึง หมู่แทนที่ทั้งสองหมู่นั้นอยู่ที่ตำแหน่ง 1,2- และ

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,4- ของกันและกันในวงแหวนเบนซีน ตามลำดับ นอกจากนี้การแทนที่ของหมู่แอลคิลที่ตำแหน่งออร์โท และพาราก็มีผลต่อการเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)

2.4.2 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ดังนี้

2.4.2.1 ค่าพีเอช เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลมีบทบาทต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชจะมีผลให้หมู่ไฮดรอกซิล เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลด้วยเช่นกัน (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

2.4.2.2 อุณหภูมิ มีผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอล อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลโมเลกุลเล็กๆ ระเหยกลายเป็นไอได้ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) นอกจากนี้อุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลเช่นกัน รายงานว่าการเก็บรักษาเครื่องดื่มจากผล Hawthorn (*Crataegus pinnatifida* var. *major*) ที่อุณหภูมิ 4.0 องศาเซลเซียส ทำให้สารประกอบฟีนอลมีความคงตัวสูงกว่าที่อุณหภูมิ 23.0 และ 40.0 องศาเซลเซียส

2.4.2.3 การเกิดออกซิเดชัน สารประกอบฟีนอลสามารถถูกออกซิไดส์ได้ โดยอาจเกิดจากออกซิเจน หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน โดยเฉพาะไฮโดรเพอร์ออกไซด์

2.4.2.4 การรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ หรืออัลคาลอยด์ และปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบผันกลับได้หรือไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอนไซม์ และกรดเป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกัน และตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนท์รวมกันเป็นสารใหม่ ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ หากปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลสูญเสียสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มะขามป้อม

2.5.1 จำแนกชื่อวงศ์ สกุล

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Phyllanthus emblica* L.

ชื่อพ้อง : Emblica officinalis Gaertn.

ชื่ออื่น : กันโตด(เขมร), กำทวด(ราชบุรี), มั่งลู่, สันยาส่า (กะเหรี่ยง แม่ฮ่องสอน)

ชื่อวงศ์ : Euphorbiaceae

(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 มะขามป้อม *Phyllanthus emblica* L. (ก) รูปช่อดอก (ข) รูปผล

ที่มา: วิชัย โชควิวัฒน์ และคณะ (2558)

2.5.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นไม้ต้น สูงได้ถึง 25 เมตร ลักษณะของรูปช่อดอก และผลของมะขามป้อม แสดงในรูปที่ 2.5 (ก) และ (ข) ตามลำดับ หูใบรูปสามเหลี่ยม มีขนาดเล็กมาก ใบ เป็นใบเดี่ยวเรียงสลับถี่ในระนาบเดียวกันบนกิ่งสั้นๆ ดูคล้ายเป็นใบประกอบกิ่งเหล่านี้ยาว 5-25 เซนติเมตร ใบรูปขอบขนานกว้าง 1-5.5 มิลลิเมตร ยาว 0.4-2 เซนติเมตร โคนมนและเบี้ยว ปลายแหลมหรือมนมีติ่งขอบเรียบ ก้านใบ 1-4 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.6 ก) กลีบรวมยาว 1.5-2.5 มิลลิเมตร เกสรเพศผู้มี 3 อัน ก้านชูอับเรณูติดกัน แต่อับเรณูแยก ดอกเพศเมียมีก้านดอกสั้นมากหรือไม่มี กลีบรวมยาว 2.5-3 มิลลิเมตร มีจานฐานดอก รังไข่เหนือวงกลีบ มี 3 ช่อง แต่ละช่องมีออวุล 3 เม็ด ก้านเกสรเพศเมียสั้น ปลายแยกเป็นแฉกยาว 2 แฉก ปลายแฉกมีหยักตื้น ผล แบบผลแห้งแตก ค่อนข้างกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5-3 เซนติเมตร ก้านผลสั้น ผลแก่สีเขียวอ่อน (รูปที่ 2.6 ข) แก่จัดสีเขียวอมสีเหลือง สีขาวอมสีเหลือง หรือสีเขียวอมสีน้ำตาล เมล็ด แข็ง (วิชัย โชควิวัฒน์ และคณะ, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 เวลาในการเก็บเกี่ยวผลมะขามป้อมในแต่ละพื้นที่

– ภาคใต้ มักเก็บผลได้ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม

– ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มักเก็บผลได้ในช่วงเดือนเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน

– บนดอยสูงในภาคเหนือ มักเก็บผลได้ในช่วงเดือนเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม

2.5.4 องค์ประกอบทางเคมี

รูปที่ 2.6 ส่วนต่างๆของมะขามป้อม *Phyllanthus emblica* L.
ก. กิ่ง แสดงใบและดอก ข. ส่วนของกิ่ง แสดงใบและผล ค.ดอกเพศผู้ ง.ดอกเพศเมีย
ที่มา: วิชัย โชควิวัฒน์ และคณะ (2558)

มะขามป้อมมีกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือวิตามินซี (vitamin C), รูทิน (rutin), กรดมิวซิก (mucic acid), กรดแกลลิก (gallic acid), กรดฟิลเลมบลิก (phyllemblic acid) สารกลุ่มแทนนิน (tannins) ได้แก่ กรดซีบูลาจิก (chebulagic acid), คอริลาจิน (corilagin) และ 1-โอ-แกลลอยล์-บีตา-ดี-กลูโคส (1-*O*-galloyl-(-*D*-glucose) เป็นต้น นอกจากนี้พบแอล-มาลิก แอซิด 2-โอ-แกลเลต (*L*-malic acid 2-*O*-gallate), มิวซิกแอซิด 2-โอ-แกลเลต (mucic acid 2-*O*-gallate) และโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 **ฤทธิ์สำคัญทางยาที่พบ** (พิมุกต์ พันธรักษ์เดชา, 2554)

- ฤทธิ์ปกป้องเซลล์จากสารพิษ
- ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์
- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
- ฤทธิ์ต้านการอักเสบ
- ฤทธิ์ป้องกันมะเร็งตับ
- ฤทธิ์ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด
- ฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของ natural killer cell
- ฤทธิ์ป้องกันตับอ่อนไม่ให้เกิดการอักเสบแบบเฉียบพลัน
- ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ ของไวรัส HIV
- ฤทธิ์ปกป้องเซลล์จากกัมมันตภาพรังสี

2.6 ไอศกรีม

ไอศกรีมคือระบบอันซับซ้อนของโมเลกุลหลายชนิดที่อยู่รวมกันในหลายสถานะ ซึ่งประกอบด้วย น้ำจากนมและครีม สารให้ความหวาน (เช่น น้ำเชื่อม หรือ น้ำตาลซูโครส) สี-กลิ่น สารทำให้ไขมันแตกตัว สารช่วยคงสภาพการแตกตัวของไขมัน สารอาหารต่าง ๆ ในนม เช่นโปรตีน และไขมัน จากครีมและนม

ความมัน และความเนียนในเนื้อสัมผัสเกิดจากอัตราส่วนของไขมันในส่วนผสมของไอศกรีม และขนาดของผลึกน้ำแข็งที่กระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อของไอศกรีมที่ถูกทำให้แข็งตัวแล้ว ยิ่งผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่มากขึ้นเท่าใด เนื้อสัมผัสก็จะยิ่งหยาบมากขึ้นเท่านั้น และยิ่งผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กมากเท่าใด เนื้อสัมผัสของไอศกรีมก็จะยิ่งเนียนละเอียดมากขึ้นเท่านั้น ขนาดของผลึกน้ำแข็งขึ้นอยู่กับว่าไอศกรีมถูกทำให้เย็นจนแข็งตัวเร็วมากเท่าใด การทำให้เย็นจนแข็งตัวอย่างช้า ๆ จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ตรงกันข้ามกับการทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมากกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อของไอศกรีม

2.6.1 ชนิดของไอศกรีม

2.6.1.1 **ไอศกรีม (Ice-cream)** มีส่วนผสมของนม น้ำตาล ไขมันและเครื่องปรุงรสอื่นๆ เช่น ช็อกโกแลต วานิลลา กาแฟหรือผลไม้ เช่น สตรอเบอร์รี่ ข้าวโพด เผือก เป็นส่วนประกอบไอศกรีมพรีเมี่ยม มีส่วนผสมของไขมันมากที่สุดในประเภทของไอศกรีมทุกชนิด มีลักษณะดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 ไอศกรีมช็อคโกแลต

ที่มา: www.chowhound.com (25 มกราคม 2560)

2.6.1.2 ไอศกรีมหวานเย็นผสมนม (Milk Ice or Ice milk) มีปริมาณไขมันน้อยกว่าไอศกรีม มีส่วนผสมของนม น้ำตาลและเครื่องปรุงรสอื่นๆ สามารถผลิตไอศกรีม ชนิดนี้ได้ทั้งแบบเนื้อนุ่มและเนื้อแข็ง (รูปที่ 2.8)

รูปที่ 2.8 ไอศกรีมหวานเย็นผสมนม

ที่มา: www.seriouseats.com (25 มกราคม 2560)

2.6.1.3 เชอร์เบท (Sherbet) ไม่มีไขมัน มีส่วนผสมสำคัญ คือ น้ำผลไม้และน้ำตาล มีนมเป็นส่วนประกอบเพียงเล็กน้อย รสชาติออกเปรี้ยวหวาน เนื้อไอศกรีมเชอร์เบทเหนียว เนียนละเอียดสีสวยสดใส (รูปที่2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 สตอเบอร์รี่เชอร์เบท

ที่มา: http://tastykitchen.com (25 มกราคม 2560)

2.6.1.4 ซอร์เบท (Sorbet) ไม่มีไขมัน มีส่วนผสมสำคัญคือ ผลไม้ (น้ำผลไม้หรือชิ้นเนื้อผลไม้บด) และน้ำตาลซอร์เบทมีปริมาณน้ำตาลมากที่สุด เนื้อไอศกรีมมีลักษณะเป็นเกล็ดละเอียดนุ่มได้รสชาติเข้มข้นตามลักษณะที่ปรากฏในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 ซอร์เบทมะม่วง

ที่มา: www.simplyrecipes.com (25 มกราคม 2560)

2.6.1.5 ไอศกรีมหวานเย็น (Water Ice) ไอศกรีมหวานเย็น มีส่วนผสมหลักคือ น้ำตาล น้ำเครื่องปรุงรสและกลิ่น ไม่มีส่วนผสมของผลไม้ มีปริมาณน้ำมากที่สุด สีและรส เป็นส่วนผสมสำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันและรสชาติที่ต้องการส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแท่ง (รูปที่ 2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ไอศกรีมหวานเย็นรสแตงโม

ที่มา: http://freshiksa.wordpress.com (25 มกราคม 2560)

2.6.1.6 ไอศกรีมโยเกิร์ต (Yoghurt Ice Cream) มีส่วนผสมหลักคือไอศกรีมและโยเกิร์ต ซึ่งจะให้รสชาติหวานกลมกล่อมแบบไอศกรีม และเปรี้ยวเล็กน้อยแบบโยเกิร์ต ตามลักษณะในรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 ไอศกรีมโยเกิร์ต

ที่มา: www.ign.com (25 มกราคม 2560)

2.6.2 คุณสมบัติของไอศกรีม

ค่าโอเวอร์รันของไอศกรีม จะมีความแตกต่างกันออกไป นอกจากขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแล้ว อุปกรณ์ในการผลิตก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าโอเวอร์รัน (Goff และ Hatel, 2004) โดยค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน และของแข็งทั้งหมดที่ระดับต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันและของแข็งทั้งหมด และค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมแต่ละประเภท

ส่วนประกอบ	ประเภทของไอศกรีม		
	มาตราฐาน	ดี	ดีเยี่ยม
ปริมาณไขมัน (%)	10-12	12-15	15-18
ของแข็งทั้งหมด (%)	36-38	38-40	>40
การขึ้นฟู (%)	~100	60-90	25-50

ที่มา : Goff และ Hatel (2004)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การประยุกต์ใช้สารสกัดหยาบจากขิงในไอศกรีม

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมส่วนใหญ่จะเน้นจุดขายโดยการปรับเปลี่ยนรสชาติใหม่ๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของสินค้าให้ครอบคลุมกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายมากขึ้น (Arbuckle, 1986) การนำพืชสมุนไพรเข้ามาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมก็เป็นที่นิยมเช่นกัน เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่เริ่มหันมาสนใจในเรื่องสุขภาพเพิ่มมากขึ้น สำหรับการผลิตไอศกรีมขิงโดยทั่วไปจะมีการใช้ขิงในรูปขิงสด ขิงเชื่อม หรือขิงผงผสมลงไปในไอศกรีม (Arbuckle, 1986) แต่วิธีดังกล่าวยากต่อการควบคุมคุณภาพในด้านสี กลิ่นรส และรสชาติของไอศกรีม เนื่องจากอาจเกิดความผันแปรด้านคุณภาพหรือองค์ประกอบของขิงที่นำมาใช้ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างกระบวนการผลิต การประยุกต์ใช้สารสกัดจากขิงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งนอกจากจะให้สี หรือกลิ่นรส ยังเป็นการเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในไอศกรีมอีกด้วย สำหรับงานวิจัยของ Arbuckle (1986) ศึกษาผลของการประยุกต์ใช้สารสกัดหยาบจากขิงในไอศกรีม และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไอศกรีมระหว่างการเก็บรักษา เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของไอครีมที่ผลิตและไอศกรีมทางการค้า รวมถึงการประเมินต้นทุนการผลิตสารสกัดหยาบจากขิงและไอศกรีมที่ไม่เติมและเติมสารสกัดหยาบจากขิง

ผลจากการทำงานวิจัยของ Arbuckle (1986) พบว่าสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไอศกรีมในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย นมขาดมันเนย ครีมสด นมผงขาดมันเนย น้ำตาลทราย กลูโคสไซรัป สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ และน้ำ เท่ากับ 40.70, 28.60, 6.40, 10.00, 8.00, 0.30 และ 6.00% ตามลำดับ การศึกษาผลของการเติมสารสกัดหยาบจากขิงในไอศกรีม ในปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.000, 0.050, 0.065 และ 0.080% (น้ำหนักสารสกัดหยาบจากขิงต่อน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม) พบว่า ปริมาณสารสกัดหยาบจากขิงที่เหมาะสมสำหรับสูตรไอศกรีมที่เติมสารสกัดหยาบจากขิง มีค่าเท่ากับ 0.065% และไอศกรีมที่เติม 0.065% สารสกัดหยาบจากขิง มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าไอศกรีมชุดควบคุมและไอศกรีมทางการค้าทั้ง 2 ตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมชุดควบคุมและไอศกรีมที่เติม 0.065% สารสกัดหยาบจากขิงระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะ โดยคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านสี ลักษณะปรากฏ ความแน่นแข็ง ความเรียบเนียน รสหวาน กลิ่นรสไอศกรีม และการยอมรับโดยรวมของไอศกรีมที่เติม 0.065% สารสกัดหยาบจากขิงอยู่ในช่วง 7.00-9.00 (ชอบปานกลางถึงชอบมากที่สุด)

2.7.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำจากผลมะขามป้อม

มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* L.) ซึ่งมีชื่อภาษาอังกฤษว่า emblica หรือ Indian gooseberry และเป็นที่ทราบกันดีว่ามะขามป้อมมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยวิตามินซี แร่ธาตุ และกรดอะมิโน และยังมีสารอาหารจำพวก แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไอออน แคโรทีน ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน (Charoenteeraboon และคณะ, 2010) ในผลมะขามป้อมมีวิตามินซีที่มีความเสถียรสูง เนื่องจากมีแทนนิน และโพลีฟีนอลเป็นส่วนประกอบ ผล เปลือก และใบของพืชชนิดนี้อุดมไปด้วยแทนนิน จากการศึกษาทางเคมีของพืชชนิดนี้เผยให้เห็นว่ามีสารสำคัญจำพวก norbisabolane และอนุพันธ์ของ bisabolane จากราก รวมถึงสาร galloyl esters ของ กรดมาลิค (malic acid) กรดมูซิก (mucic acid) และ mucic acid 1,4-lactone (Charoenteeraboon และคณะ, 2010) สารสกัดจากผลมะขามป้อมที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารมีฤทธิ์ต้านการเพิ่มจำนวนของเซลล์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้สารสกัดจากผลมะขามป้อมด้วยเอทิลอะซีเตดจะกระตุ้นให้เกิดการดักจับอนุมูล nitric oxide (NO) ผลมะขามป้อมที่สกัดด้วยตัวทำละลาย เมทานอลมีฤทธิ์ป้องกันตับจาก CCl_4 และมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดโรคมะเร็งตับ นอกจากนี้สารสกัดมะขามป้อมด้วยน้ำมีฤทธิ์ต้านการเกิดมะเร็ง ฤทธิ์ป้องกันตับจาก CCl_4 ฤทธิ์ต้านเนื้องอก และมีผลกับการป้องกันอันตรายจากการได้รับรังสีแกมม่า

ในงานวิจัยของ Charoenteeraboon และคณะ (2010) ทำการเตรียมสารสกัดจากมะขามป้อมด้วยน้ำ และทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดโดยวิธีการวิเคราะห์การดักจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^{\cdot+}$ รวมถึงความสามารถในการรีดิวซ์ประจุไอออน (ferric reducing antioxidant power, FRAP) นอกจากนี้สารที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดได้รับการยืนยันโดยการวัดระดับเปอร์ออกไซด์ภายในเซลล์เม็ดเลือดขาว U937 ของมนุษย์

ผลจากการทำงานวิจัยของ Charoenteeraboon และคณะ (2010) พบว่ามีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดมีค่าความเข้มข้นเทียบเท่ากับกรดแกลลิก 34.22±1.74 กรัม ต่อสารสกัด 100 กรัม มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH เป็น 0.182±0.070 ไมโครกรัมของกรดแกลลิกต่อสารสารสกัด 1 มิลลิลิตร และมีความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริก (FRAP) เป็น 0.893±0.067 ไมโครโมลของโทรลอกซ์ต่อสารสกัดต่อสารสกัด 1 มิลลิกรัม

2.7.3 คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณสารประกอบฟีโนลิกของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ใช้กากมะม่วงพันธุ์อะตัลโฟทดแทน

งานวิจัยของ Ramirez-Maganda (2015) ศึกษาเกี่ยวกับ การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัส องค์ประกอบทางเคมี การต่อต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติการย่อยแป้งในขนมมัฟฟินที่ใช้กากมะม่วงแทนแป้งสาลีและน้ำตาลทราย (ร้อยละ 50 และ 75)

ในการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสนั้น แสดงให้เห็นถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ระหว่างขนมที่ไม่เติมกากมะม่วง (ชุดควบคุม) กับขนมที่เติมกากมะม่วงร้อยละ 75 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ($p > 0.05$) จากการวิเคราะห์เบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าขนมที่เติมกากมะม่วงจะมีค่าความชื้น เถ้า ความสามารถในการละลาย การไม่ละลาย และผลึกที่ไม่สามารถย่อยได้สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ในขณะเดียวกันปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้และแป้งมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุม

นอกจากนี้ในขนมที่เติมกากมะม่วงยังมีปริมาณของสารโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้นจากที่ไม่ได้เติมถึง 3 เท่า (จาก 1.86 เพิ่มเป็น 5.36 กรัม GAE/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วโพลีฟีนอลที่พบคือ กรดคลอโรเจนนิค กรดคาเฟอิก กรดแกลลิก กรดไฮดรอกซีซินนามิก และกรดเฟอร์รูลิก การต่อต้านอนุมูลอิสระในขนมที่เติมกากมะม่วงจะแสดงออกมากกว่าตัวควบคุม โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH มีค่า 104.0 – 108.5 ไมโครโมล TE/กรัมของน้ำหนักแห้งของสารสกัด การวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP มีค่า 34.1–19.1 มิลลิโมล TE/กรัมของน้ำหนักแห้ง ในส่วนของสารประกอบฟีนอลิกและผลึกที่ไม่สามารถย่อยได้ที่มีปริมาณสูงนั้น อาจมีความเกี่ยวข้องกับอัตราการย่อยแป้งที่ต่ำซึ่งจะส่งผลต่อการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลกลูโคสในร่างกายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.2 วัตถุดิบที่นำมาสกัด

ผลมะขามป้อม 40 กิโลกรัม จากสวนลุงศักดิ์ เขตบางขุนเทียน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.1.1 ส่วนผสมไอศกรีมสตรอเบอรี่

3.1.1.1 ไอศกรีมสูตร 1 (ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอรี่)

1.	ครีมข้น	170	กรัม
2.	นมสดระเหย	410	กรัม
3.	น้ำตาลทราย	156	กรัม
4.	แป้งข้าวโพด	8.6	กรัม
5.	ไข่ไก่	1	ฟอง
6.	เกลือ	0.4	กรัม
7.	สตรอเบอรรี่แช่แข็ง	250	กรัม

3.1.1.2 ไอศกรีมสูตร 2 (ไอศกรีมโยเกิร์ตสตรอเบอรี่)

1.	สตรอเบอรี่แช่แข็ง	300	กรัม
2.	วิปปิ้งครีม	250	กรัม
3.	โยเกิร์ต	250	กรัม
4.	น้ำหวานรสสตรอเบอรี่	100	มิลลิลิตร

3.1.1.3 ไอศกรีมสูตร 3 (สตรอเบอรี่เชอร์เบท)

1.	น้ำตาลทราย	150	กรัม
2.	น้ำสะอาด	100	มิลลิลิตร
3.	สตรอเบอรี่แช่แข็ง	400	กรัม
4.	น้ำเลม่อน	1	ช้อนโต๊ะ
5.	ไข่ขาว	30	กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 ไอศกรีมสูตร 4 (สตรอเบอรี่ซอร์เบท)

1.	สตรอเบอรี่แช่แข็ง	500	กรัม
2.	น้ำเปล่า	2	ถ้วยตวง
3.	น้ำตาลทราย	125	กรัมกลูโคส
4.	กลูโคส	1/4	ถ้วยตวง
5.	น้ำมะนาวสด	1	ช้อนโต๊ะ
6.	กลิ่นสตอเบอรี่	¼	ช้อนชา
7.	เกลือ เล็กน้อย		

3.2 สารเคมี

1. สุรา 40 ดีกรี
2. Gallic acid
3. Folin-Ciocalteu phenol reagent
4. Sodium Carbonate (Na_2CO_3)
5. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
6. Absolute Ethanol 99%
7. Sodium acetate trihydrate ($CH_3COONa.3H_2O$)
8. Acetic acid
9. Ferric chloride hexahydrate ($FeCl_3.6H_2O$)
10. 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-*s*-triazine (TPTZ)
11. Hydrochloric acid (HCl) 1 molar
12. α-tocopherol

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 อุปกรณ์ในการทำไอศกรีม

1. ช้อนตวงปริมาตร
2. ถ้วยตวง
3. เครื่องชั่ง
4. อ่างผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กล่องเก็บไอศกรีม
6. ไม้พายสำหรับคนส่วนผสม
7. มีด
8. ช้อน
9. เขียง
10. เครื่องปั่นส่วนผสมไอศกรีม
11. เครื่องปั่นไอศกรีม
12. หม้อต้มน้ำ

3.3.2 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์โภชนาการ

1. 96-well plates
2. Microplate reader
3. Freeze dry
4. Auto pipette
5. volumetric flask
6. Tips
7. Plate
8. Pipette
9. Waterbath
10. Glass Rod
11. pH Meter
12. Spatula
13. Rotary evaporator
14. Spectrophotometer
15. Eppendorf tube
16. หลอดทดลอง
17. กระบอกตวง
18. ตู้อบลมร้อน
19. ตู้แช่เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
21. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
22. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
23. ตะแกรงร่อน (sieve)
24. กระดาษฟอยล์
25. สำลี

3.4 การเตรียมวัตถุดิบ

นำผลมะขามป้อมมาล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง แล้วนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และนำผลมะขามป้อมบางส่วนมาคั้นเอาน้ำออก เพื่อแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นกาก หลังจากนั้นนำมะขามป้อมที่ได้ทั้งหมดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนแห้ง นำมาบดให้ละเอียดจนกลายเป็นผง และนำไปร่อนผ่านตะแกรง (sieve) ขนาด 300 ไมโครเมตร เก็บใส่ถุง

3.5 การเตรียมสารสกัดจากมะขามป้อม

นำผงมะขามป้อมมาสกัดด้วยสุรา 40 ดีกรี (แอลกอฮอล์ 40 ส่วน น้ำ 100 ส่วน) ในอัตราส่วน มะขามป้อมแห้ง:สุรา 40 ดีกรี (1 กรัม : 9 มิลลิลิตร) ใส่ขวดปิดฝาให้สนิท แช่ทิ้งไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปกรองผ่านสำลีและผ้าขาวบาง นำส่วนของเหลวที่ได้มาระเหยเอทานอลออกด้วยเครื่อง Rotary evaporator นำไปเข้าเครื่อง freeze dryer จนแห้ง ชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้ พร้อมจดบันทึก บรรจุใส่ขวดดูแรน ปิดฝาให้สนิท แล้วห่อด้วยฟอยล์ และนำไปเก็บไว้ใน dessicator ให้แห้ง

3.6 ขั้นตอนการทำไอศกรีม

3.6.1 ไอศกรีมสูตร 1 (ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอรี่)

1. ปั่นสตอเบอร์รี่ น้ำ ไข่ไก่ และนมสดระเหยเข้าด้วยกัน
2. เทส่วนผสมของเหลวลงหม้อ ตั้งไฟให้อุ่นเล็กน้อยและเติมครีมข้น
3. เติมส่วนผสมของแห้งคือน้ำตาล แป้ง เกลือ ซึ่งผสมเข้ากันดีแล้วลงไป คนจนละลาย
4. ตั้งไฟให้อุ่นถึง 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้น้ำตาลละลายดีและพาสเจอร์ไรส์ไอศกรีมเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ยกหม้อส่วนผสมลงจากเตาและเทใส่อ่างผสมที่มีน้ำแข็งอยู่โดยรอบ คนจนกระทั่งไอศกรีมเหลวเย็นตัวลง
6. เติมสารสกัดมะขามป้อม สี และกลิ่นลงไป คนให้เข้ากันดี
7. ปั่นไอศกรีมเหลวในเครื่องปั่นไอศกรีมจนกระทั่งไอศกรีมเป็นเนื้อเนียนและจับตัวกัน ตักใส่ถาดไอศกรีม แช่แข็ง และตักเสิร์ฟ

3.6.2 ไอศกรีมสูตร 2 (ไอศกรีมโยเกิร์ตสตรอเบอรี่)

1. นำส่วนผสมทั้งหมดลงโถปั่น และปั่นให้เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
2. นำไอศกรีมเหลวที่ได้ตั้งไฟให้อุ่นถึง 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อเป็นการพาสเจอร์ไรส์
3. เติมสารสกัดมะขามป้อมลงไป คนให้เข้ากันดี
4. ปั่นไอศกรีมเหลวในเครื่องปั่นไอศกรีมจนกระทั่งไอศกรีมเป็นเนื้อเนียนและจับตัวกัน ตักใส่ถาดไอศกรีม แช่แข็ง และตักเสิร์ฟ

3.6.3 ไอศกรีมสูตร 3 (สตรอเบอรี่เชอร์เบท)

1. นำน้ำตาลทรายและน้ำสะอาดที่เตรียมไว้ใส่รวมกันในหม้อ ตั้งไฟปานกลาง จนกระทั่งส่วนผสมเดือด จากนั้นปรับไฟให้อ่อนลง ปล่อยให้เดือดอ่อนๆ ไปเรื่อยๆ เป็นเวลา 7-10 นาที จะได้น้ำเชื่อมที่มีลักษณะเหนียวข้น พักส่วนนี้ไว้ให้เย็น
2. นำสตรอเบอรี่แช่แข็ง น้ำมะนาว และน้ำเชื่อมที่เตรียมไว้ใส่ลงในเครื่องปั่น ปั่นจนได้เนื้อละเอียด
3. เติมสารสกัดมะขามป้อมลงไป คนให้เข้ากันดี
4. จากนั้นนำไอศกรีมเหลวที่ได้แช่ช่องแข็งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ตีไข่ขาวจนตั้งยอดอ่อน นำมาผสมรวมกันกับไอศกรีมเหลวที่แช่แข็งไว้
6. นำส่วนผสมที่ได้ไปปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีมจนกระทั่งใบพัดหยุดหมุน ตักเสิร์ฟ

3.6.4 ไอศกรีมสูตร 4 (สตรอเบอรี่ซอร์เบท)

1. ผสมสตรอเบอรี่ น้ำตาลทราย กลูโคส เกลือ และน้ำเปล่า 1 ถ้วยตวง เข้าด้วยกัน ต้มไฟกลางจนน้ำตาลละลาย จึงยกออกจากเตา
2. ใส่น้ำมะนาว กลิ่นสตรอเบอร์รี่ และน้ำเปล่า 3/4 ถ้วยตวง แล้วใส่ส่วนผสมสตรอเบอร์รี่ ปั่นให้เนื้อสตรอเบอร์รี่ละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พักส่วนผสมให้หายร้อน และเติมสารสกัดมะขามป้อมลงไป คนให้เข้ากัน
4. เก็บเข้าภาชนะปิดฝาให้สนิท แช่ในช่องแช่แข็ง แล้วคอยนำส่วนผสมออกมาคนทุก 30 นาที - 1 ชั่วโมง ให้คอยคนให้ทั่ว และแช่แข็งจนกระทั่งส่วนผสมแข็งตัวเนียน
5. นำส่วนผสมที่แข็งตัวแล้วมาปั่นกับน้ำเปล่าที่เหลือ ให้ส่วนผสมเหมือนน้ำปั่นข้นๆ เนียนเข้ากัน จึงเทใส่พิมพ์ที่เตรียมไว้ ใช้ไม้ไอศกรีมจิ้มลงตามเนื้อซอร์เบทที่เทลงภาชนะแล้ว เพื่อลดช่องอากาศ
6. เมื่อเทส่วนผสมจนเต็มพิมพ์แล้ว จึงใช้ไม้พายเกลี่ยหน้าซอร์เบท์ให้เรียบเสมอพิมพ์ และนำส่วนผสมแช่แข็งต่ออีก 4-6 ชั่วโมง จนส่วนผสมแข็งตัวดี

3.7 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ในการวิเคราะห์ผลตอบรับของไอศกรีมจากผู้บริโภคนั้น จะมีผู้ร่วมทำการทดลองที่ไม่ได้ผ่านการฝึกอบรมจำนวน 30 คน โดยตัวอย่างของไอศกรีมผสมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 1 โดยน้ำหนักแต่ละสูตรจะได้รับการประเมินแบบรายบุคคลในกลุ่มที่แตกต่างกัน ซึ่งไอศกรีมจะเสิร์ฟในถ้วยพลาสติกสีขาว และเรียงลำดับถ้วยแบบสุ่ม เขียนตัวเลขกำกับแต่ละถ้วยด้วยตัวเลขแบบสุ่มสามตัว และแจกจ่ายให้ผู้ประเมินในวันเดียวกับที่มีการผลิตไอศกรีมและภายใต้แสงธรรมชาติ ซึ่งผู้ประเมินจะต้องกรอกระดับความชอบลงในตารางที่แนบมากับชุดตัวอย่าง (ตารางที่ 3.1)

เมื่อคัดเลือกสูตรไอศกรีมที่ได้การยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดแล้ว หลังจากนั้นจะนำสูตรไอศกรีมที่ได้มาผสมกับสารสกัดมะขามป้อมเข้มข้นที่เตรียมไว้ทั้งหมด 5 ความเข้มข้น (อัตราส่วนระหว่างสารสกัดและส่วนผสมจะต้องพิจารณาจากสูตรไอศกรีมที่ได้รับการคัดเลือก) โดยเปรียบเทียบกับไอศกรีมท้องตลาด (ชุดควบคุม) และนำมาวิเคราะห์ผลตอบรับจากผู้บริโภคอีกครั้ง เพื่อให้ได้ไอศกรีมที่ผสมสารสกัดมะขามป้อมเข้มข้นที่เป็นรสชาติที่ผู้บริโภคยอมรับได้มากที่สุด ซึ่งจะทำแจกจ่ายให้ผู้ประเมินภายใต้แสงธรรมชาติจำนวน 5 ตัวอย่างๆ ละ 30 กรัม ตักเสิร์ฟในถ้วยพลาสติกสีขาว เรียงลำดับถ้วยแบบสุ่มและเขียนตัวเลขแบบสุ่มกำกับไว้ทุกถ้วย ซึ่งผู้ประเมินจะต้องกรอกระดับความชอบลงในตารางที่แนบมากับชุดตัวอย่าง (ตารางที่ 3.2)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสามสัมผัสจะประเมินจากความชอบหรือไม่ชอบของผู้ทำการประเมิน โดยจะกำหนดคะแนนความไม่ชอบมากที่สุดเป็น 1 และไปจนถึงความชอบมากที่สุดเป็น 9 ซึ่งผู้ประเมินจะได้ชิมไอศกรีมจากแต่ละตัวอย่าง 30 กรัม โดยก่อนชิมและกลืนไอศกรีมแต่ละตัวอย่างต้องมีการกลั้วปากด้วยน้ำดื่มสะอาดก่อนเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การวิเคราะห์การขึ้นฟูหรือโอเวอร์รัน (%Overrun)

ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมหรือค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รัน หมายถึง ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของไอศกรีมจากส่วนผสมของไอศกรีม เนื่องจากการผสมเอาอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการปั่นไอศกรีม การผสมอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนผสม หากอากาศมากเกินไปเนื้อไอศกรีมจะเบา โปร่ง หากอากาศน้อยเกินไปเนื้อไอศกรีมจะแน่นหรือหนัก โดยค่าโอเวอร์รันสามารถคำนวณจากเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร ดังสมการดังต่อไปนี้ (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ, 2531)

$$\text{Overrun, \%} = \frac{\text{น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสม} - \text{น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของไอศกรีม}}{\text{น.น.ต่อหน่วยปริมาตรของไอศกรีม}} \times 100 \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมผสมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 1

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

เพศ _____ อายุ _____ อาชีพ _____

คำชี้แจง: ให้ผู้ประเมินชิมไอศกรีมที่อยู่ในถ้วยพลาสติกที่มีหมายเลขกำกับ และประเมินโดยใส่หมายเลขตามระดับความชอบลงในช่องว่าง ซึ่งผู้ประเมินต้องกลั้วปากด้วยน้ำดื่มสะอาดก่อนการเริ่มชิมไอศกรีมตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง	คุณสมบัติที่ประเมิน						
	สี	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	ความหวาน	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
รหัส.....							
รหัส.....							
รหัส.....							
รหัส.....							

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมผสมสารสกัดมะขามป้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

เพศ _____ อายุ _____ อาชีพ _____

คำชี้แจง: ให้ผู้ประเมินชิมไอศกรีมที่อยู่ในถ้วยพลาสติกที่มีหมายเลขกำกับ และประเมินโดยใส่หมายเลขตามระดับความชอบลงในช่องว่าง ซึ่งผู้ประเมินต้องกลั้วปากด้วยน้ำดื่มสะอาดก่อนการเริ่มชิมไอศกรีมตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

ตัวอย่าง	คุณสมบัติที่ประเมิน					
	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	ความหวาน	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
รหัส.....						
รหัส.....						
รหัส.....						
รหัส.....						
รหัส.....						

3.9 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.9.1 วิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic compounds)

ปิเปตสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 1000, 500, 250 และ 100 µg/ml ปริมาตร 20 µl ใส่ในหลุม microplate จากนั้นเติมสารละลายของ Folin-Ciocalteu phenol 100 µl ในแต่ละหลุม ต่อมาเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 80 µl เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm

ในการทำวิธีทดสอบหาค่ามาตรฐาน ทำได้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) โดยเปลี่ยนจากสารละลายตัวอย่างเป็นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก จากนั้นคำนวณหาปริมาณโพลีฟีนอล โดยเปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

3.9.2 การทดสอบความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH

ปิเปตสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 200, 100, 50, 20 และ 10 µg/ml ปริมาตร 100 µl ใส่ในหลุม microplate จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 100 µl ใส่ในหลุม microplate เขย่าให้เข้ากัน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm โดยใช้สุรา 40 ดีกรี เป็น blank ของสารละลายตัวอย่าง

วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน และ control ที่ 517 nm โดยที่ control ประกอบด้วย Absolute ethanol 100 µl และ DPPH 100 µl ในแต่ละความเข้มข้นจะทดสอบซ้ำ 3 ครั้งคำนวณหาการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\%\text{DPPH radical scavenging activity} = \frac{(\text{Abs control} - \text{Abs sample})}{\text{Abs sample}} \times 100 \qquad (2)$$

$Abs_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลาย DPPH 100 µl กับ Absolute Ethanol 100 µl

Abs_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดมะขามป้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ 100 µl กับสารละลาย DPPH 100 µl

3.9.3 การทดสอบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค (Ferricd reducing antioxidant power; FRAP)

ใช้สารผสมของ FRAP reagent ปริมาตร 900 µl เติมน้ำกลั่นที่มีความบริสุทธิ์สูงปริมาณ 90 µl จากนั้นเติมสารตัวอย่าง 30 µl ลงในคิวเวท นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm ในแต่ละความเข้มข้นจะทดสอบซ้ำ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้ง คำนวณความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ แสดงค่าในรูป มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม

3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส จะเป็นการวิเคราะห์แบบตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ เนื่องจากการแปรปรวนระหว่างกลุ่มไม่สม่ำเสมอ (Levene's test, $p < 0.05$, $n = 9$) และไม่มีการแสดงตารางแจกแจงแบบปกติ (Shapiro-Wilk W test, $p < 0.05$, $n = 9$) และการเปรียบเทียบเชิงคู่สามารถทำได้โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงพหุคูณของลำดับค่าเฉลี่ยสำหรับกลุ่มการทดสอบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม

4.1.1 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic compounds)

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยพิจารณาจากการเทียบกราฟมาตรฐานกรดแกลิก ได้สมการดังนี้ $y = 3.9497x + 0.1138$, ($R^2 = 0.9999$) พบว่าในสารสกัดมะขามป้อมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 0.35±0.01 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Charoenteeraboon และคณะ (2010) ที่ได้รายงานผลว่าสารสกัดมะขามป้อมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 34.22±1.74 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งสารสกัด ในทำนองเดียวกัน Naik และคณะ (2005) รายงานผลว่าพบสารประกอบโพลีฟีนอลรวม 33% ของกรดแกลลิกในสารสกัดมะขามป้อม สารเคมีตามธรรมชาติที่มีอยู่ในผลมะขามป้อมประกอบไปด้วยแทนนิน (เช่น emblicanin-A, emblicanin-B, punigluconin และ pedunculagin) gallo-ellagitannoids, flavonoid (rutin) และphyllemblic acid นอกจากนี้ผลมะขามป้อมยังเป็นแหล่งของกรดแอสคอร์บิกอีกด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้ว่าในผลมะขามป้อมมีกรดแอสคอร์บิกเนื่องจากวิธีที่ใช้วัดค่ามีความแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา Ghosal และคณะ (1996) รายงานถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในมะขามป้อม ไม่ได้เป็นผลมาจากกรดแอสคอร์บิกในรูปอิสระ หรือ อนุพันธ์ แต่เป็นผลมาจากแทนนิน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในอีกหลายแห่งซึ่งยืนยันว่ามะขามป้อมมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงถึง 0.34 – 0.38% และ 0.40% โดยมวล คิดเป็น 45 – 70% ของสารต้านอนุมูลอิสระ (Charoenteeraboon และคณะ, 2010)

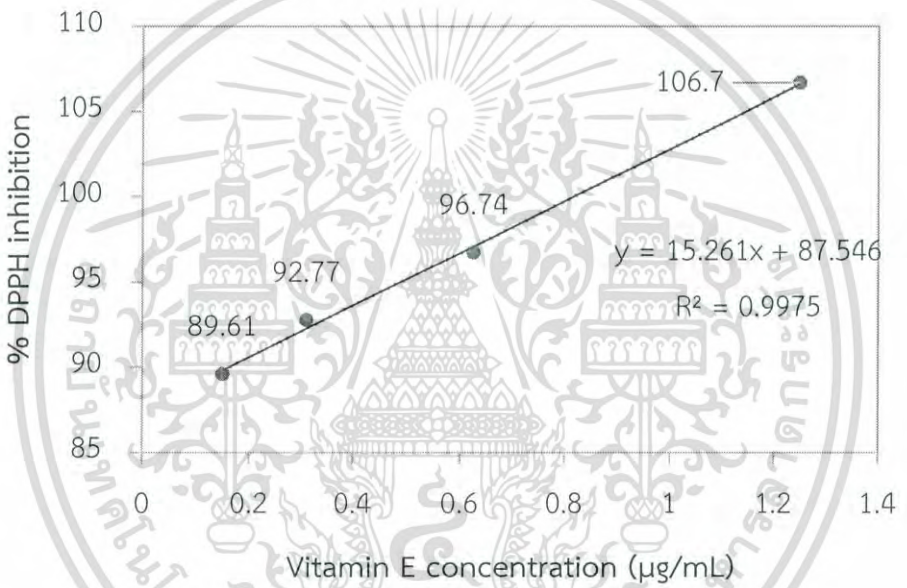
ตารางที่ 4.1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract)	DPPH IC_{50} (µg/mL extract)	TEAC (mg TE/g extract)
P.emblica	0.35±0.01	-1,367	285.42±3.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH

ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH และวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิด microplate reader ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และแสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (%inhibition) หรือ %DPPH radical scavenging activity และค่าร้อยละ 50 Inhibitory Concentrate (IC_{50}) เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณการต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลงร้อยละ 50 โดยสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นของสารมาตรฐาน α-tocopherol (วิตามินอี) เทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่คำนวณได้จากสูตรในสมการที่ (2) โดยแสดงในรูปที่ 4.1

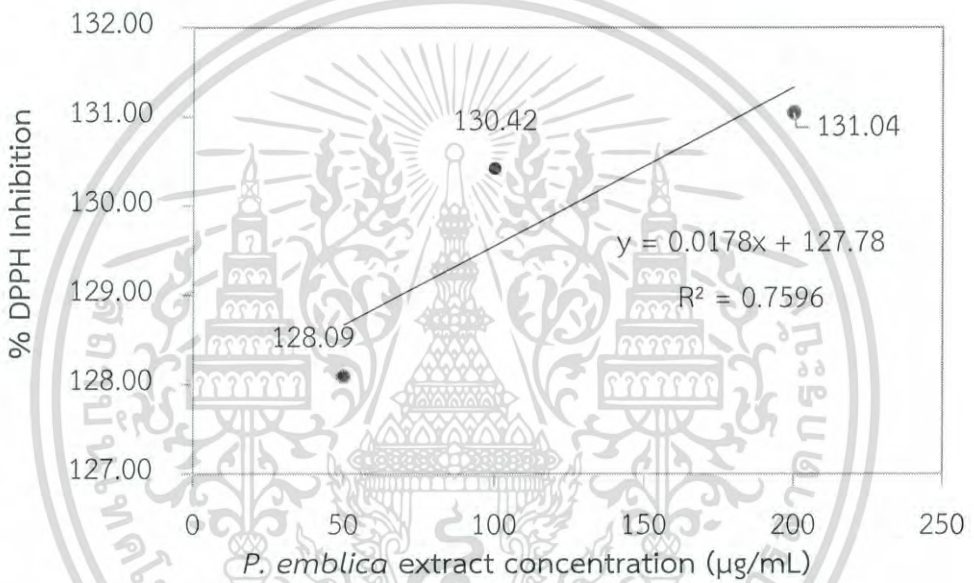


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของวิตามินอีกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของวิตามินอีเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และมีการยับยั้งสูงสุดที่ร้อยละ 106.70 ที่ความเข้มข้น 1.25 µg/mL เมื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณด้วยสมการเส้นตรงของกราฟในรูปที่ 4.2 พบว่า ความเข้มข้นของวิตามินอีที่ทำให้อนุมูลอิสระ DPPH ลดลงร้อยละ 50 (IC_{50}) คือ -2.46 µg/mL ส่วนการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบมะขามป้อมโดยให้ความเข้มข้นของสารสกัดอยู่ที่ 50 100 และ 200 µg/mL แสดงในรูปที่ 4.2 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดักจับอนุมูล DPPH จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และเมื่อนำค่าได้มาคำนวณหา IC_{50} โดยคำนวณจากสมการเส้นตรงของกราฟรูปที่ 4.2 พบว่ามีค่า -1,367.23 µg/mL จากค่า IC_{50} จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐานมีน้อยกว่าสารสกัดมะขามป้อม ซึ่งสอดคล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

กับงานวิจัยของ Charoenteeraboon และคณะ (2010) ที่รายงานผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลองของสารสกัดมะขามป้อมมี ค่า IC_{50} อยู่ที่ 50 µg/mL ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าวิตามินอี ที่มีค่าอยู่ที่ 8.6 µg/mL โดยในงานวิจัยระบุว่ากรดแกลลิกที่อยู่ในสารสกัดมะขามป้อมมีบทบาทสำคัญในการดักขับอนุมูลอิสระ DPPH เนื่องจากในสารสกัดมะขามป้อมมีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ร้อย ละ 20 และนอกจากกรดแกลลิกแล้วยังมีสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นอยู่ในสารสกัดมะขามป้อมอีกด้วย จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้อนุมานได้ว่าในสารสกัดมะขามป้อมมีสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นที่ออกฤทธิ์ได้มากกว่า วิตามินอี จึงทำให้สารสกัดมะขามป้อมมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าวิตามินอี



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสารสกัดหยาบมะขามป้อมด้วยสุรา 40 ดีกรีกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

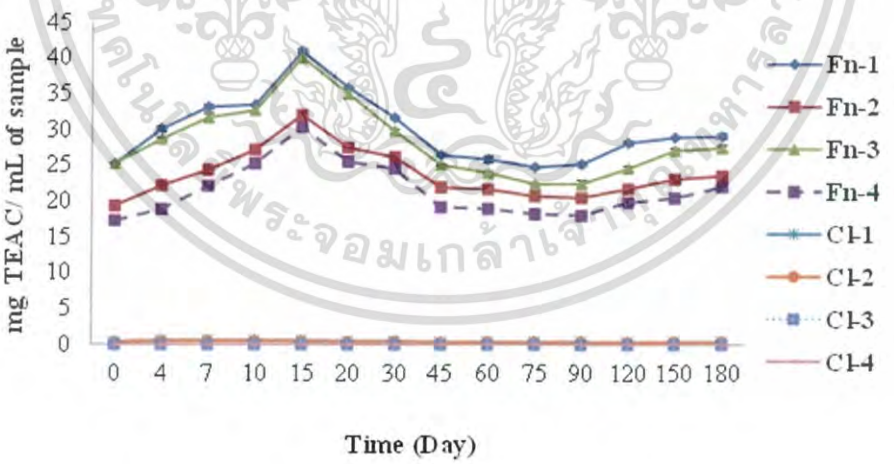
4.1.3 ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค

เมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ที่มีคุณสมบัติในการให้อิเล็คตรอนโดยใช้โทรลอกซ์เป็นสารละลายมาตรฐานในการเปรียบเทียบ จะรายงานค่าในรูป TEAC (Trolox equivalents antioxidant capacity) ซึ่งหมายถึงปริมาณของสารละลายโทรลอกซ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่ากับ 1 หน่วย (น้ำหนัก) ของสารตัวอย่าง สารใดๆ ที่มีค่าดังกล่าวสูง แสดงว่าสารนั้นมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่สูง จากการทดลอง พบว่าสารสกัดมะขามป้อมมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 285.42±3.27 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sartjin และคณะ (2016) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการหมักมะขามป้อมด้วย *Lactobacillus paracasei* HII01 โดยทำการหมักเป็นเวลา 180 วัน โดยให้น้ำตาลทรายและน้ำผึ้งเป็นแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน และนำผลที่ได้จากการหมักมาทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ แสดงผลดังกราฟในรูปที่ 4.3 จาก กราฟจะเห็นได้ว่าในวันที่ 15 ทุกสูตรการหมักจะมีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระยะเวลาอื่น โดยพิจารณาที่ Fn-2 และ Fn-4 ซึ่งเป็นสูตรที่ประกอบด้วย มะขามป้อมบด น้ำ และแหล่งคาร์บอน โดยสูตร Fn-2 ใช้น้ำตาล และสูตร Fn-4 ใช้น้ำผึ้ง ในอัตราส่วน 3:10:1 (น้ำหนัก/ปริมาตร/น้ำหนัก) และทั้งสองสูตรนี้ไม่ได้ใช้ *L. paracasei* HII01 เป็นเชื้อเริ่มต้น จากกราฟรูปที่ 4.3 พบว่า ในวันที่ 15 สูตร Fn-2 จะมีค่าประมาณการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ 30 มิลลิกรัม TEAC ต่อมิลลิลิตร และสูตร Fn-4 อยู่ที่ 29 มิลลิกรัม TEAC ต่อมิลลิลิตร ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของทั้งสองสูตร และเมื่อระยะเวลาการหมักมากขึ้น ค่าการต้านอนุมูลอิสระจะลดลง จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปสารสกัดมะขามป้อมจะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระน้อยลง

เมื่อนำผลจากงานวิจัยข้างต้นมาเทียบกับค่าที่ได้พบว่าค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อมมีค่ามากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกระบวนการทดลองแตกต่างกัน แต่สามารถนำมาสรุปได้ว่าสารสกัดมะขามป้อมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผลมะขามป้อมบด และฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลา



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการต้านอนุมูลอิสระของมะขามป้อมบดในระหว่างกระบวนการหมักด้วย *L. paracasei* HII01 ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักกับระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก (Fn-1: สูตรการหมักที่ 1, Fn-2: สูตรการหมักที่ 2, Fn-3: สูตรการหมักที่ 3, Fn-4: สูตรการหมักที่ 4, Cl-1: ชุดควบคุมที่ 1, Cl-2: ชุดควบคุมที่ 2, Cl-3: ชุดควบคุมที่ 3, Cl-4: ชุดควบคุมที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเลือกชนิดของไอศกรีม

ในการคัดเลือกไอศกรีมเพื่อหาสูตรที่ดีนิยมมากที่สุดไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากสูตรไอศกรีมทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอร์รี่ ไอศกรีมโยเกิร์ตสตรอเบอร์รี่ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท และไอศกรีมสตรอเบอร์รี่ซอร์เบท โดยแต่ละสูตรจะใส่สารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และผสมสตรอเบอร์รี่แช่แข็งเพื่อกลบรสชาติเปรี้ยวฝาดของสารสกัดมะขามป้อมจากนั้นนำไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมาทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่อทำการคัดเลือกสูตรที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากที่สุดมีผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

การประเมินคุณลักษณะทางด้านสี ตารางที่ 4.2 พบว่า สูตร 3 เป็นสูตรที่ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับสูตร 4 ในขณะที่สูตร 3 มีคะแนนเฉลี่ยมากกว่าสูตร 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยคุณลักษณะด้านสีของไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.03-7.13 ส่วนผลการประเมินของลักษณะปรากฏของไอศกรีมพบว่า ไอศกรีมสูตร 3 มีคะแนนเฉลี่ยมากกว่าสูตร 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตร 1 และ 4 ($p \geq 0.05$) โดยไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมีคะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 5.67-6.60 ส่วนการประเมินคุณลักษณะทางด้านความเรียบเนียน และความหวานของไอศกรีมทั้ง 4 สูตรเป็นไปในทิศทางเดียวกันกันคือ สูตร 3 จะมีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุดโดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับสูตร 1 แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับสูตร 2 และ 4 ซึ่งคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะทางด้านความเรียบเนียน อยู่ในช่วง 5.00-7.03 และความหวานอยู่ในช่วง 4.47-6.90 นอกจากนี้ ในส่วนของการประเมินความแน่นแข็ง รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของไอศกรีมพบว่าไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมีผลคะแนนเฉลี่ยในลักษณะเดียวกันโดย ไอศกรีม สูตร 3 มีคะแนนเฉลี่ยมากกว่าสูตร 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากสูตร 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) โดยคะแนนเฉลี่ยทางด้าน ความแน่นแข็งอยู่ในช่วง 4.97-6.73 คะแนนเฉลี่ยของรสชาติอยู่ในช่วง 5.43-7.43 และคะแนนเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมอยู่ในช่วง 5.60-7.37

จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้จากผู้ประเมินที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน บนพื้นฐานของความชื่นชอบส่วนบุคคล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่าไอศกรีมสูตร 3 เป็นสูตรที่ได้รับความนิยมมากที่สุด แสดงถึงรสชาติของสารสกัดที่อยู่ในไอศกรีมนั้นมีผลกระทบต่อคุณลักษณะทุกประการของ ไอศกรีมน้อยที่สุดและเป็นที่ยอมรับได้มากที่สุด ซึ่งจะเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คะแนนการยอมรับเฉลี่ยที่ได้จากสูตรที่ต่างกันของไอศกรีมและค่าการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมสูตรต่างๆ ที่เติมสารสกัดมะขามป้อม

สูตร	คะแนนการยอมรับเฉลี่ย							Overrun (%)
	สี	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	ความหวาน	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม	
1	5.30 ^{c}±1.97	5.97 ^{ab}±1.61	5.97 ^{ab}±1.43	6.67 ^{a}±1.49	6.70 ^{a}±1.68	6.87 ^{ab}±1.50	6.93 ^{ab}±1.60	11.95
2	6.03 ^{bc}±1.61	5.67 ^{b}±1.69	4.97 ^{c}±1.94	5.00 ^{b}±1.66	4.47 ^{b}±2.06	5.43 ^{c}±1.74	5.60 ^{c}±1.54	7.94
3	7.13 ^{a}±1.57	6.60 ^{a}±1.50	6.63 ^{a}±1.54	7.03 ^{a}±1.63	6.90 ^{a}±1.49	7.43 ^{a}±1.30	7.37 ^{a}±1.35	4.22
4	6.73 ^{ab}±1.51	6.20 ^{ab}±1.61	5.53 ^{bc}±1.48	5.50 ^{b}±1.48	5.37 ^{b}±1.90	6.20 ^{bc}±1.92	6.33 ^{bc}±1.54	2.43

หมายเหตุ

สูตรที่ 1 คือ ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอร์รี่

สูตรที่ 2 คือ ไอศกรีมโยเกิร์ตสตรอเบอร์รี่

สูตรที่ 3 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท

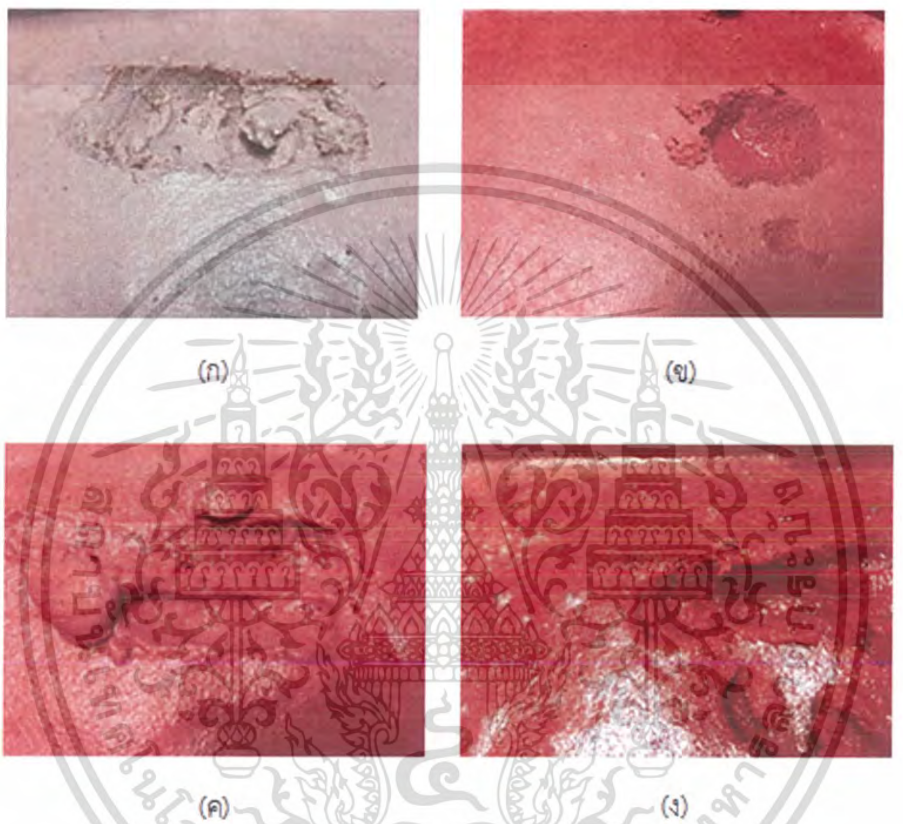
สูตรที่ 4 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่ซอร์เบท

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในคอลัมน์เดียวกันมีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ระดับความชื่นชอบ 1 ถึง 9

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

ว่าแต่ละสูตรจะมีผลประเมินที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจมาจากอัตราส่วนของส่วนผสม และวัตถุดิบที่แตกต่างกันในแต่ละสูตร รวมถึงอุปกรณ์ในการผลิตไอศกรีมด้วย นอกจากนี้ค่าการขึ้นฟู หรือค่าโอเวอร์รัน (%Overrun) ของไอศกรีมในตารางที่ 4.2 ที่คำนวณได้จากสมการในหัวข้อ 3.8 การวิเคราะห์การขึ้นฟูหรือโอเวอร์รัน (%Overrun) ยังเป็นปัจจัยที่ชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของไอศกรีมและสามารถเป็นข้อมูลรองรับผลของการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้



รูปที่ 4.4 ไอศกรีมสูตรต่างๆ ที่ผสมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 1 (ก) สูตร 1 ไอศกรีมหวานเย็นผสมนมรสสตรอเบอร์รี่ (ข) สูตร 2 ไอศกรีมโยเกิร์ตรสสตรอเบอร์รี่ (ค) สูตร 3 ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท และ (ง) สูตร 4 ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่ซอร์เบท

ไอศกรีมสูตร 1 จะมีปริมาณไขมันที่มากที่สุดเนื่องจากมีส่วนผสมของครีมข้นและนมสดระเหย นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของแป้งข้าวโพดที่ทำหน้าที่เป็นสารคงตัวผสมอยู่เล็กน้อย ทำให้เนื้อไอศกรีมที่ได้มีลักษณะเนียนนุ่มละเอียด มีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน และมีค่าการขึ้นฟูอยู่ที่ร้อยละ 11.95 ซึ่งเป็นค่าการขึ้นฟูที่สูงที่สุด เนื่องจากในนมมีองค์ประกอบประเภทโปรตีนที่เมื่อผ่านการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมแล้วจะทำให้โปรตีนขึ้นฟูได้มากขึ้น ส่วนสูตร 2 มีส่วนผสมของวิปปิ้งครีม และโยเกิร์ตที่ทำให้ลักษณะปรากฏและรสชาติแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างชัดเจนเนื่องจากมีรสชาติของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โยเกิร์ตผสมอยู่ด้วย ทำให้ได้รับคะแนนเฉลี่ยโดยรวมน้อยที่สุด จากรูปที่ 4.4 สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 จะเห็นได้ว่าเนื้อของไอศกรีมทั้งสองสูตรเป็นเนื้อที่เนียนเรียบ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะในครีมข้น นมสด ระเหย และโยเกิร์ตมีปริมาณไขมันมาก ซึ่งไขมันจะไปช่วยลดผลึกน้ำแข็งทำให้เนื้อไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน สูตร 3 จะไม่มีส่วนผสมของนม และแป้งแต่มีส่วนผสมของไข่ขาวทำให้เนื้อ ไอศกรีมเบาและโปร่งมากขึ้น เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนในไข่ขาวมีการขึ้นฟูจากการเคลื่อนที่เชิงกล ทั้งจากการตีด้วยมือและจากการปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมทำให้มีค่าการขึ้นฟูอยู่ที่ร้อยละ 4.22 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าสูตร 1 และ 2 ส่วนสูตร 4 เป็นสูตรที่ไม่ได้ใช้เครื่องปั่นไอศกรีมในการทำไอศกรีม ทำให้เนื้อของไอศกรีมมีความแน่นแข็งที่มากกว่าสูตรอื่น สังเกตได้จากค่าการขึ้นฟูที่ร้อยละ 2.43 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด เพราะเครื่องปั่นไอศกรีมจะช่วยให้มีอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมและทำให้ไอศกรีมขึ้นฟู ซึ่งอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีม

ดังนั้นในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและผลของสารสกัดมะขามป้อมในไอศกรีม จึงเลือกไอศกรีมสูตร 3 ชนิดไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทมาทำการศึกษาเนื่องจากเป็นไอศกรีมชนิดที่ได้การยอมรับจากกลุ่มตัวอย่างมากที่สุด

4.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไอศกรีมสตรอเบอรี่เชอร์เบทที่ผสมสารสกัดมะขามป้อม

4.3.1 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของไอศกรีมสตรอเบอรี่เชอร์เบท

เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของไอศกรีมชุดควบคุม และไอศกรีมสตรอเบอรี่เชอร์เบทที่เติมสารสกัดมะขามป้อมในปริมาณร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25 ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 จากการทดลองพบว่าไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมปริมาณร้อยละ 0.50, 0.75 และ 1.25 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีค่าสูงกว่าไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามปริมาณร้อยละ 0.25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมปริมาณร้อยละ 1.00 มีประมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด เท่ากับ 0.122±0.00 มิลลิกรัมสมมูลย์ กรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งไอศกรีมชุดควบคุม และไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมในปริมาณร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.25 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 0.022±0.00, 0.072±0.00, 0.098±0.01, 0.101±0.01 และ0.100±0.00 มิลลิกรัมสมมูลย์ กรดแกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม ตามลำดับ Cai และคณะ (2004) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกที่มีในพืชจะมีความสัมพันธ์กับสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระจากการศึกษาพบว่าถ้ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากก็จะมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมากด้วย

เมื่อนำค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมาเปรียบเทียบค่าก่อนใส่ กับหลังใส่สารสกัดมะขามป้อมลงไปในไอศกรีม พบว่าก่อนใส่สารสกัดมะขามป้อมลงในไอศกรีมที่ปริมาณร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25 มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่วัดได้อยู่ที่ 0.011±0.00, 0.021±0.00, 0.024±0.00, 0.029±0.00 และ0.025±0.01 มิลลิกรัมสมมูลย์ กรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม ตามลำดับ ส่วนค่าหลังใส่สารสกัดมะขามป้อมมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่วัดได้อยู่ที่ 0.072±0.00, 0.098±0.01, 0.101±0.01, 0.122±0.00 และ0.100±0.00 มิลลิกรัมสมมูลย์ กรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าหลังใส่สารสกัดมะขามป้อมลงในไอศกรีมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มสูงขึ้นมาก โดยสารสกัดมะขามป้อมปริมาณร้อย 1.00 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เป็นไปในทิศทางเดียวกับไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อม

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไอศกรีมที่มีความเข้มข้นของสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก

สารสกัดมะขามป้อม (%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract)	
	สารสกัดมะขามป้อม	ไอศกรีม
0.00	-	0.022^{d}±0.00
0.25	0.011^{d}±0.00	0.072^{c}±0.00
0.50	0.021^{c}±0.00	0.098^{b}±0.01
0.75	0.024^{b}±0.00	0.101^{b}±0.01
1.00	0.029^{a}±0.00	0.122^{a}±0.00
1.25	0.025^{b}±0.01	0.100^{b}±0.00

4.3.2 ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ของไอศกรีมสตรอเบอรี่เชอร์เบท

เมื่อนำสารสกัดมะขามป้อมที่ได้มาทำการวิเคราะห์กิจกรรมการดักจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทโดยการผสมสารสกัดมะขามป้อมลงในสูตรของไอศกรีมที่แบ่งออกเป็น 6 สูตร แต่ละสูตรมีส่วนผสมของสารสกัดที่ร้อยละ 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.00 และ 1.25 โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนัก ซึ่งวิเคราะห์จากการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิด microplate reader จากนั้นนำค่าการยับยั้งที่ได้มาเทียบกับความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดมะขามป้อมที่มีความเข้มข้นเทียบเท่ากับสารสกัดในไอศกรีมทั้ง 6 สูตร และแสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง และค่า IC_{50}

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าไอศกรีมสูตร 1 ที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ที่ร้อยละ 196.26 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในสตรอเบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระ ตามงานวิจัยของ Huang และคณะ (2012) รายงานว่าพบสารประเภทสารประกอบฟินอลิกเช่น ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินอยู่ในผลของสตรอเบอร์รี่ และในงานวิจัยของ Panico และคณะ (2009) ที่มีการทดลองเกี่ยวกับการต้านอนุมูลอิสระของสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกในดินที่ต่างกันในประเทศอิตาลี ได้รายงานว่า สตรอเบอร์รี่พันธุ์ Maletto ที่ปลูกในดินผสมตะกอนดินเหนียวมีค่าการยับยั้งอยู่ที่ร้อยละ 60 และในดินภูเขาไฟร้อยละ 78.24 ส่วนสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Tudla ที่ปลูกในดินผสมตะกอนดินเหนียวมีค่าการยับยั้งร้อยละ 40 และในดินภูเขาไฟอยู่ที่ร้อยละ 41.8 (สารสกัดสตรอเบอร์รี่เข้มข้น 0.028 µg/mL) จากงานวิจัยข้างต้นนี้จึงทำให้อนุมานได้ว่าค่าการยับยั้งที่คำนวณออกมานั้นมาจากค่าการยับยั้งของผลสตรอเบอร์รี่ที่เป็นส่วนผสมของไอศกรีม ทั้งนี้ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสตรอเบอร์รี่ในไอศกรีมอาจลดลง ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการบรรจุหีบห่อของโรงงานที่ทำการผลิตสตรอเบอร์รี่แช่แข็ง และความร้อนจากการผลิตไอศกรีมเหลว

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดมะขามป้อมที่มีความเข้มข้นเทียบเท่ากับสารสกัดที่ผสมในสูตรไอศกรีมและของไอศกรีมที่ผสมสารสกัดมะขามป้อมด้วยความเข้มข้นร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก

ความเข้มข้น	%inhibition	
	สารสกัดมะขามป้อม	ไอศกรีม
0.00	-	196.26^{a}±2.08
0.25	105.17^{a}±1.26	-6.66^{b}±2.75
0.50	80.54^{b}±2.56	-5.22^{b}±1.97
0.75	61.40^{c}±2.01	-26.05^{c}±9.80
1.00	30.01^{d}±0.77	-41.62^{d}±10.79
1.25	-7.01^{e}±6.67	-79.69^{e}±19.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของไอศกรีมสูตรต่างๆ เมื่อกำหนดให้สูตร 1 มีค่าการยับยั้งที่ร้อยละ 100

ไอศกรีม	ปริมาณสารสกัดมะขามป้อม (%โดยน้ำหนัก)	%inhibition
สูตร 1	0	100
สูตร 2	0.25	92.82
สูตร 3	0.50	94.25
สูตร 4	0.75	73.42
สูตร 5	1.00	57.85
สูตร 6	1.25	19.78

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.5 โดยกำหนดให้ไอศกรีมสูตร 1 มีค่าการยับยั้งเทียบเป็นร้อยละ 100 จะเห็นได้ว่าค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระของ DPPH ของไอศกรีมทั้ง 6 สูตรมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระจะลดลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสารสกัดมะขามป้อมผสมลงในสูตรของไอศกรีมที่ความเข้มข้นต่างๆ กับสารสกัดมะขามป้อมที่มีความเข้มข้นเทียบเท่ากับสารสกัดในสูตรของไอศกรีม เพื่อดูประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดมะขามป้อมพบว่า เมื่อสารสกัดอยู่ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท สารสกัดจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระลดลงมาก สาเหตุอาจเกิดจากสารสกัดมะขามป้อมหายไประหว่างกระบวนผลิตไอศกรีม เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตจำเป็นต้องมีการใช้ความร้อน และเกิดค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงจากส่วนผสมของไอศกรีม เช่น น้ำมะนาว รวมทั้งสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นสาเหตุของการสูญสลายของสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับสารโพลีฟีนอลที่อยู่ในสารสกัดมะขามป้อม (Charoenteeraboon และคณะ, 2010) และโปรตีนจากไข่ขาวที่เป็นส่วนผสมหลักของไอศกรีมด้วย กล่าวคือการจับกันระหว่างสารโพลีฟีนอลกับโมเลกุลโปรตีน ซึ่งมีข้อสันนิษฐานว่าหากโมเลกุลของโพลีฟีนอลจับกับโปรตีนจะส่งผลทางด้านลบกับการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือจะทำให้โครงสร้างของสารโพลีฟีนอลเปลี่ยนไป และไม่สามารถออกฤทธิ์ได้ (มณฑณา, 2556) ด้วยปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นเหตุให้สารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดมะขามป้อมออกฤทธิ์น้อยลงหรือสลายหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริคของไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไอศกรีมด้วยวิธี (Ferric reducing antioxidant power, FRAP) โดยมีไอศกรีมชุดควบคุม และไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมในปริมาณร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ1.25 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.6 จากการทดลองพบว่าไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมมีค่าเพิ่มขึ้นจากไอศกรีมชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อม ปริมาณร้อยละ 0.75, 1.00 และ 1.25 โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีค่า TEAC (Trolox equivalents antioxidant capacity) น้อยกว่าไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมในปริมาณร้อยละ 0.50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมในปริมาณร้อยละ 0.25 ที่มีค่า TEAC สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากการวิเคราะห์ไอศกรีมชุดควบคุม และไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อมในปริมาณร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25 มีค่า TEAC เท่ากับ 0.01±0.00, 60.71±4.97, 31.65±3.30, 22.67±1.91, 17.38±1.37 และ15.55±0.06 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าที่ TEAC ลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณสารสกัดที่ใส่ลงไปในไอศกรีม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสูญเสียสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีค่า EC_1 (ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชันที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ ได้เท่ากับ Fe(II) 1 mM) ต่ำกว่าจะมีความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่า Trolox (ปรียนันท์, 2549) โดยสารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น (Meyer และคณะ, 2002) ซึ่งจันทิมา และคณะ (2005) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญในมะขามป้อม ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ กรดแอสคอร์บิก และแทนนิน ซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในมะขามป้อม และจากการทดลองของ Wegrzyn และคณะ (2008) พบว่านมที่เติมสารสกัดจากแอปเปิ้ลและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนลดลงจากค่าเริ่มต้น ประมาณ 19 และ 38% ตามลำดับทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสมบัติต้านอนุมูลอิสระนั้นอาจเนื่องมาจากการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งจะไปมีผลต่อตำแหน่งที่มีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+}-TPTZ ในการวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค หรืออาจมีผลต่อความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอม นอกจากนี้การเกิดอันตรกิริยาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบฟีนอลิก และองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร เช่น โปรตีน หรือพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกัน หรืออาจเกิดปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ เช่น การเกิดพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล และ ไฮดรอกซิล นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในส่วนของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic complexation) ของโปรตีนมีผลทำให้กักสารประกอบฟีนอลิกเอาไว้ได้เช่นกัน ซึ่งการเกิดอันตรกิริยาเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้

เมื่อเปรียบเทียบค่าของสารสกัดมะขามป้อมก่อนใส่ กับหลังใส่ลงในไอศกรีมที่ความเข้มข้นเท่ากัน พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ที่รายงานเป็นค่า TEAC (Trolox equivalents antioxidant capacity) มีค่าเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่า หลังจากที่ใส่ลงไปในไอศกรีมแล้ว และค่า TEAC ของสารสกัดมะขามป้อมยังมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับ ค่า TEAC ของไอศกรีมที่สารสกัดมะขามป้อมปริมาณร้อยละ 0.25 มีค่าสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของไอศกรีมที่มีความเข้มข้นของสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก

สารสกัดมะขามป้อม (%โดยน้ำหนัก)	TEAC (mg TE/g extract)	
	สารสกัดมะขามป้อม	ไอศกรีม
0.00	-	0.01^{d}±0.00
0.25	22.17^{a}±2.78	60.71^{a}±4.97
0.50	11.53^{b}±1.21	31.65^{b}±3.30
0.75	8.00^{c}±0.74	22.67^{c}±1.91
1.00	6.31^{cd}±.48	17.38^{c}±1.37
1.25	5.28^{d}±.34	15.55^{c}±0.06

4.4 ผลของสารสกัดมะขามป้อมที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

จากการทดลองเกี่ยวกับสารสกัดมะขามป้อมที่ส่งผลต่อไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่มีส่วนผสมของสารสกัดมะขามป้อมในสูตรของไอศกรีมที่ร้อยละ 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 และ 1.25 โดยเป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 สูตร พบว่ามีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้รับการประเมินโดยผู้ประเมินที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน แสดงในตารางที่ 4.7

การประเมินคุณสมบัติทางด้านลักษณะปรากฏและความแน่นแข็งพบว่า สูตร 4 มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับสูตร 1 2 3 และ 5 แต่แตกต่างอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญกับสูตร 6 ($p < 0.05$) โดยลักษณะปรากฏจะมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 6.17-5.03 และความกระด้างมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.60-4.47 คะแนน ส่วนด้านความเรียบเนียน พบว่าสูตร 4 มีคะแนนเฉลี่ยมากกว่าสูตร 1 2 3 และ 5 โดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตร 6 ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด คะแนนเฉลี่ยของคุณสมบัติความเรียบเนียน อยู่ในช่วง 4.67-5.97 คะแนน ทั้งนี้เนื่องมาจากไอศกรีมสูตร 4 มีค่าการขึ้นฟูอยู่ที่ร้อยละ 73.10 ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นไอศกรีมที่มีคุณภาพระดับคุณภาพดี (Goff และHatel, 2004) และสาเหตุของการขึ้นฟูของไอศกรีมนั้นอาจมาจากหลายปัจจัย คือในสูตรของไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทมีส่วนผสมของไข่ขาวที่ต้องตีให้ขึ้นฟูก่อนนำไปผสมกับไอศกรีมเหลว และเมื่อนำไอศกรีมไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมโดยใช้เครื่องปั่นที่แตกต่างกับสูตรอื่นๆ ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ปริมาตรของไอศกรีมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ลักษณะปรากฏ ความแน่นแข็ง และความเรียบเนียนเป็นที่ยมรับของกลุ่มตัวอย่างจึงได้รับคะแนนเฉลี่ยของทั้งสามคุณลักษณะมากกว่าสูตรอื่นๆ ในทางตรงกันข้าม ผลการประเมินของคุณสมบัติทางด้านความหวานพบว่า สูตร 1 ได้คะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับสูตร 2 3 4 5 และ 6 โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.37-6.60 ทางด้านของรสชาติพบว่าสูตร 1 มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตร 2 ($p \geq 0.05$) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับสูตร 3 4 5 และ 6 ซึ่งคุณลักษณะทางด้านรสชาติมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.37-6.93 ส่วนการยอมรับโดยรวมพบว่าสูตร 5 มีคะแนนเฉลี่ยมากกว่าสูตร 6 และไม่แตกต่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับสูตร 1 2 3 และ 4 ซึ่งสูตร 3 และ 4 มีคะแนนเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และสูตร 1 มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด การยอมรับโดยรวมมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.53-6.73 คะแนน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไอศกรีมสูตร 1 เป็น สูตรที่ไม่ได้ผสมสารสกัดมะขามป้อมลงไป ทำให้ไม่มีรสชาติของสารสกัดมารบกวน จากคะแนนเฉลี่ยในคุณลักษณะทางด้านความหวาน รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของสูตร 4 ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด อาจเป็นเพราะมีอัตราส่วนของสารสกัดมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 1.25 โดยรสชาติของสารสกัดจะเป็นลักษณะเปรี้ยวฝาดไม่เป็นที่นิยมของกลุ่มตัวอย่าง จึงส่งผลต่อรสชาติไอศกรีม จึงสรุปได้ว่าสูตรที่ใส่สารสกัดและเป็นที่นิยมของกลุ่มตัวอย่างคือ ไอศกรีมสูตร 2 เนื่องจากเป็นสูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยเป็นอันดับที่ 2 ในการประเมินทุกคุณลักษณะ และมีค่าการขึ้นฟูอยู่ที่ร้อยละ 38.57 สามารถบ่งบอกได้ว่าไอศกรีมสูตร 2 เป็นไอศกรีมระดับดีเยี่ยม (Goff และ Hatel, 2004) และเป็นที่ยอมรับของกลุ่มตัวอย่าง

การขึ้นฟูของไอศกรีมที่คำนวณจากสมการที่ (1) สามารถบ่งบอกคุณภาพของไอศกรีมได้ ทั้งนี้ไอศกรีมแต่ละสูตรมีส่วนผสมชนิดเดียวกันและอยู่ในอัตราส่วนที่เท่ากัน ยกเว้นอัตราส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสกัดมะขามป้อมที่แตกต่างกัน คือสูตร 1 ไม่ผสมสารสกัด สูตร 2 3 4 5 และ 6 มีอัตราส่วนของสารสกัดอยู่ที่ร้อยละ 0.25 0.5 0.75 1.00 และ 1.25 ตามลำดับ นอกจากอัตราส่วนของสารสกัดที่แตกต่างกันจะส่งผลในด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสแล้ว ยังส่งผลต่อการขึ้นฟูของไอศกรีมอีกด้วย จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าการขึ้นฟูเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราส่วนของสารสกัด สาเหตุของการขึ้นฟูในลักษณะนี้อาจเป็นเพราะสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในสารสกัดมะขามป้อมที่มีทั้งสารประเภทกรดและด่างอยู่หลายชนิด (Charoenteeraboon และคณะ, 2010) ส่งผลต่อไข่ขาวที่อยู่ในไอศกรีม โดยสารเหล่านั้นได้เข้าทำปฏิกิริยากับไข่ขาวที่ขึ้นฟู โดยสารประเภทด่างจะช่วยทำให้ไข่ขาวขึ้นฟูได้มากขึ้น จากการเข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีนในไข่ขาวและสารประเภทกรดจะช่วยทำให้ฟองอากาศที่ได้แข็งแรงมากขึ้น (สุนทร ตรีนันทวัน, 2553) โดยไข่ขาวเป็นสารประเภทโปรตีน มีสมบัติเชิงหน้าที่ในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เกิดโฟม (foaming ability) และเป็นสารคงตัว ไข่ขาวมีสมบัติในการเกิดโฟมที่สูงมาก แต่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และสารคงตัวในระดับต่ำ รวมทั้งไม่มีสารที่ช่วยป้องกันการรวมตัวเป็นก้อน (Anticaking agent) เช่น แป้งข้าวโพด จึงทำให้ไอศกรีมขึ้นฟูได้ไม่นาน และจากตารางที่ 4.7 จะพบว่าไอศกรีมสูตรที่ 5 มีการใส่สารสกัดอยู่ที่ร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณเดียวกันกับไอศกรีมสูตรที่ 3 ในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ามีค่าโอเวอร์รันที่แต่ต่างกันมาก อาจเป็นเพราะผสมไข่ขาวนานเกินไปในขั้นตอนการทำไอศกรีม จึงทำให้ค่าโอเวอร์รันมีค่าไม่เท่ากัน

จากสรุปผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าสูตรไอศกรีมที่ใส่สารสกัดมะขามป้อมและเป็นที่นิยมของผู้ประเมินคือ ไอศกรีมสูตร 2 เนื่องจากเป็นสูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยเป็นอันดับที่ 2 รองจากไอศกรีมสูตร 1 ที่ไม่ผสมสารสกัดมะขามป้อมในการประเมินทุกคุณลักษณะ และมีค่าการขึ้นฟูอยู่ที่ร้อยละ 38.57 สามารถบ่งบอกได้ว่าไอศกรีมสูตร 2 เป็นไอศกรีมระดับดีเยี่ยม (Goff และ Hatel, 2004) และเป็นที่ยอมรับของกลุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 คะแนนการยอมรับเฉลี่ยที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันของสารสกัดมะขามป้อมในไอศกรีมและค่าการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมสูตรต่างๆ

สูตร	คะแนนการยอมรับเฉลี่ย						Overrun (%)
	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	ความหวาน	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม	
1	5.90 ^{ab}±1.56	5.30 ^{ab}±2.04	5.93 ^{a}±2.08	6.60 ^{a}±1.54	6.93 ^{a}±1.11	6.73 ^{a}±1.41	36.51
2	5.90 ^{ab}±1.54	5.30 ^{ab}±1.76	5.63 ^{ab}±1.81	5.63 ^{bc}±1.71	6.07 ^{ab}±1.64	6.07 ^{ab}±1.57	38.57
3	5.90 ^{ab}±1.54	5.23 ^{ab}±1.87	5.70 ^{ab}±1.74	5.13 ^{bc}±1.63	5.40 ^{bc}±1.67	5.90 ^{bc}±1.21	67.23
4	6.07 ^{a}±1.46	5.60 ^{a}±1.63	5.97 ^{a}±1.69	5.37 ^{b}±1.79	5.50 ^{bc}±1.68	5.97 ^{ab}±1.71	73.10
5	5.60 ^{ab}±1.63	5.03 ^{ab}±1.90	5.37 ^{ab}±1.81	4.77 ^{bc}±2.06	4.73 ^{cd}±2.02	5.00 ^{bc}±1.80	123.81
6	5.13 ^{b}±1.87	4.47 ^{b}±1.66	4.67 ^{b}±2.12	4.37 ^{c}±1.99	4.37 ^{d}±2.04	4.53 ^{c}±1.98	127.66

หมายเหตุ

สูตรที่ 1 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบท

สูตรที่ 2 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่มีสารสกัดมะขามป้อม 0.25% โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 3 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่มีสารสกัดมะขามป้อม 0.5% โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 4 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่มีสารสกัดมะขามป้อม 0.75% โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 5 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่มีสารสกัดมะขามป้อม 1.00% โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 6 คือ ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่มีสารสกัดมะขามป้อม 1.25% โดยน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในคอลัมน์เดียวกันมีตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ระดับความชื่นชอบ 1 ถึง 9

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

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อมโดยวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 0.35±0.01 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม และเมื่อศึกษาสมบัติการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH รวมทั้งความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค (Ferric reducing antioxidant power, FRAP) พบว่าสารสกัดมะขามป้อมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ค่า IC_{50} เท่ากับ -1,367.23 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดมะขามป้อม สูงสุดที่ร้อยละ 131.044 ที่ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และค่า TEAC เท่ากับ 285.42±3.27 มิลลิกรัมสมมูลย์ โทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม

การศึกษาผลของการเติมสารสกัดมะขามป้อมในไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอเบท ในปริมาณร้อยละ 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25 โดยน้ำหนักสารสกัดมะขามป้อมต่อน้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม พบว่าสูตรที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดคือสูตร 5 (สารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.122 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม เมื่อศึกษาสมบัติการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าสูตร 1 คือสูตรที่ไม่มีสารสกัดมะขามป้อมผสมในไอศกรีมมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ที่ร้อยละ 196.26 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด และเมื่อปริมาณสารสกัดมากขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH น้อยลง ส่วนความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค ซึ่งทดสอบด้วยวิธี FRAP พบว่าไอศกรีมสูตร 2 มีความสามารถในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริคมากที่สุด มีค่าอยู่ที่ 60.71 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดมะขามป้อมก่อนและหลังใส่ลงในสูตรไอศกรีม พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริคเพิ่มมากขึ้นหลังจากใส่สารสกัดลงในสูตรของไอศกรีม ซึ่งเป็นผลตรงข้ามกับการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีประสิทธิภาพน้อยลงหลังจากใส่ลงในสูตรของไอศกรีม

จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่เติมสารสกัดมะขามป้อม โดยคะแนนเฉลี่ยของ ลักษณะปรากฏ ความแน่นแข็ง ความเรียบเนียน ความหวาน รสชาติ และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอมรับโดยรวมของไอศกรีมสูตรที่ 2 หรือที่เติมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0.25 เป็นที่ยอมรับ และสามารถบ่งบอกได้ว่าไอศกรีมสูตรที่ 2 เป็นไอศกรีมระดับดีเยี่ยมเนื่องจากมีค่าการขึ้นฟูร้อยละ 38.57 รวมทั้งเป็นที่ยอมรับของกลุ่มตัวอย่าง

ดังนั้นสูตรไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่เหมาะสมสำหรับการเติมสารสกัดมะขามป้อมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในงานวิจัยนี้คือสูตรที่ 2 ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ปริมาณสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าไอศกรีมสูตรอื่นๆ และเป็นที่ยอมรับของกลุ่มตัวอย่าง นอกจากนี้ไอศกรีมสตรอเบอร์รี่เชอร์เบทที่ผสมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักยังเป็นไอศกรีมที่มีคุณภาพระดับดีเยี่ยมอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ออกแบบและวางแผนการทดลองทุกกระบวนการล่วงหน้า และเก็บรักษาวัตถุดิบตัวอย่างซึ่งในงานวิจัยนี้คือผลมะขามป้อมให้พ้นต่อปัจจัยที่ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระสูญสลายหรือเสื่อมประสิทธิภาพ เช่น เก็บไว้ในที่เย็นและพ้นแสง และหลังจากเก็บเกี่ยวผลจากลำต้นให้ดำเนินการแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบผงให้เร็วที่สุดเพื่อลดโอกาสการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2. คัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการใส่สารสกัดมะขามป้อม โดยไม่ทำให้สารสำคัญในสารสกัดเสื่อมประสิทธิภาพหรือสูญสลาย โดยศึกษาจากงานวิจัย และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภคและคุ้มค่าต่อต้นทุนในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จันทิมา หอมกลบ, สุพนิดา วินิจฉัย, หทัยรัตน์ ริมคีรี, นคร เหลืองประเสริฐ วิชัย หฤทัยธนาสันติ์. 2010. “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเอทิลอะซีเตดจากผลมะขามป้อมจากแหล่งในประเทศไทย.” ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรรณี แสนทวีสุข, ดวงใจ จงตามกลาง, ทัศน์วรรณ สมจันทร และปิติพงษ์ โตบันลือภพ. 2555. ปริมาณ สารฟีนอลิคทั้งหมด ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสมุนไพรบางชนิด. แก่นเกษตร. 40(2) : 480-483.

ชัยรัตน์ พึ่งเพียร. 2552. สมบัติและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากขิงที่สกัด ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตและการประยุกต์ใช้สารสกัดในไอศกรีม. วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บังอร วงศ์รักษ์, ศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ์. 2549. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน. ปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต. คณะเภสัชศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ปรียนันท์ บัวสด. 2549. การตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของเครื่องดื่มชาโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี. วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ปณัฐฐา ไชยมุติ. 2547. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของพืชสมุนไพร 7 ชนิด. วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/395/lipid- oxidation (10 กันยายน 2559)

พิมุกต์ พันธรักษ์เดชา, ศิริวรรณ ปัญญาติ. 2559. มะขามป้อม สรรพคุณ และการปลูกมะขามป้อม. [ออนไลน์]. http://puechkaset.com (10 กันยายน 2559)

มณฑนา วีระวัฒนากร. 2556. ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนและพอลีฟีนอลและผลต่อระบบชีวภาพ ของปฏิกิริยา. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. มหาวิทยาลัยนเรศวร. 18(1): 210-218.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ริตา อาคิรา. 2558. สูตรไอศกรีมสตอเบอร์รี่โยเกิร์ต [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.easycookingmenu.com (20 มกราคม 2560)

วิชัย โชควิวัฒน์. 2558. มะขามป้อม (MAKHAM POM). วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. คณะอนุกรรมการจัดทำตำราอ้างอิงยาสมุนไพรไทย. 13(1): 46-49.

วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ. 2531. นมและผลิตภัณฑ์นม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

วัลลภ วีชะรังสรรค์ และประณีต โอปณะโสภิต. 2547. ภาพรวมของอนุมูลอิสระและการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากพืชในหลอดทดลอง. ศรีนครินทรวิโรฒเภสัชสาร. 9(1): 73-80.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. อาหาร. 32: 245-253.

สุนทร ตรีนันทวัน. 2553. การขึ้นฟูของไข่ [ออนไลน์] สืบค้นจาก: file:///D:/OPOR/ProJect/Ref (23 มิถุนายน 2560)

อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ, ประภัสสร รักถาวร, นคร เหลืองประเสริฐ,นวลปรางค์ ไชย ตะขบ และนิภา เขื่อนควบ. 2553. สารออกฤทธิ์ ทางชีวภาพและการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะขามป้อม 12 สายพันธุ์. วารสารสำนักการแพทย์ทางเลือก. 3(1): 20-7.

อนันต์ สกุลกิม. 2551. อนุมูลอิสระ สารอันตรายต่อสุขภาพและร่างกาย. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 8(1): 28-33.

อินทิรา ลิจันทร์พร, อาภรณ์ สาระจันทร์, ภูมรินทร์ ขันสัมฤทธิ์ และกาวรรณ วงศ์นิกร. 2556. ผลของการเสริมผงเปลือกมะม่วงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในคุกกี้. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 44(2): 405-408.

Akoh, C., and Min, B., 1998. Antioxidants in food lipids. New York Davies, K., 1995. Oxidative stress the paradox of aerobic life. Biochem. Soc. Sym. 61: 1-31.

Ames, B. N., Shigenaga, M. K. and Hagen, T. M. 1993. Oxidants, antioxidants, and the degenerative disease of aging. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 90: 7915-7922.

Arbuckle, W. S. 1986. Ice Cream. 4th Ed. The A VI Publishing. Connecticut.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Balasundram, N., Sundram. K., and Samman. S., 2006. Phenolic compounds in plants and agri industrial by-products: antioxidant activity, occurrence and potential uses. Food Chem. 99: 191-203.

Bast, A., Haeren, G., and Doelmen, C., 1991. Oxidants and antioxidants: state of art. American Journal of Medicine. 91: 2-13.

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. Anal. Biochem. 239: 70-76.

Cai, Y., Luo, Q., Sun, M. And Corke, H. 2004. Antioxidant activity and and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medical plants associated with anticancer. Life Sci. 74: 2157-2184

Charoenteeraboon, J., Ngamkitidechakul C., Soonthornchareonnon, N., Jaijoy, K., Sireeratawong, S., 2010. Antioxidant activities of the standardized water extract from fruit of *Phyllanthus emblica* Linn. Songklanakarin journal of science and technology. 32(6): 599-604.

Denisov, E., Denisova, T., Ismail F., 2005. Intramolecular Reactions of Free Radicals Formed from Artemisinin. International Journal of Chemical Kinetics. 37: 554-564

Dimitrios, B., 2006. Source of natural phenolic antioxidants. Trends Food Sci. Tech. 17: 505-512.

Foubert, L., Fleming, B., Latimer, R., Tomas, M., Oduro, A., Borland, C., and Higenbottam, T., 1992. Safety guidelines for use of nitric oxide. 339: 1615-1616.

Ghosal, S., Tripathi, V.K. and Chouhan, S. 1996. Active constituents of Emblica officinalis. PartI. The chemistry and antioxidant effect of two new hydrolysable tannins, emblicanin A and B. Indian Journal of Chemistry. 35: 941–948.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Goff. H. D., Hartel. R. W., 2004. Ice cream and frozen dessert. Hand book of frozen foods. Marcel Dekker. New York.

Gordon, M. H. 2001. The Development of Oxidative Rancidity in Foods. In Antioxidants in Food: Practical application. Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. (eds.). Woodhead Publishing. Cambridge. p. 7-70.

Gressier, B., Lebegue, S., and Brunet, C., 1994. Proxidant properties of methotrexate evatuation and prevention by an antioxidant drug. Archiv der Pharmazie-Chemistry in Life Science. 49: 679-681.

Halliwell, B., Aeschbach, R., Loliger, J., 1995. The characterization of antioxidants. Food and Chemical Toxicology 33: 601-617

Halliwell, B., 1999. Antioxidant defense mechanism: from the beginning to the end. Society for Free Radical Biology and Medicine. 31: 261-272.

Howell, N.K. and Saeed, S. 1999. The effect of antioxidants on the production of lipid oxidation products and transfer of free radicals in oxidized lipid-protein systems. In T. K. Basu, N.J. Temple and M.L. Garg (eds.), Antioxidants in human health and disease. p. 43-54.

Huabprasert, S., Kasetsinsombat, K.., Kangsadalampai, K., Wongkajornsilp, A., Akarasereenont, P., Panich, U., Laohapand, T., 2012. The *Phyllanthus emblica* Linn Infusion Carries Immunostimulatory Activity in a Mouse Model. Center of Applied Thai Traditional Medicine, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand. Journal of the Medical Association of Thailand. 95: S75-S82.

Huang, W., Zhang, H., Liu, W., and Li, C. 2012. Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing. Journal of Zhejiang University Science B. 13(2): 94-102.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Hwamg, J. Y., Shyu, Y. S. and Hsu, C. K. 2009. Grape wine lees improves the rheological and adds antioxidant properties to ice cream. LWT Food Sci. Technol. 42: 312-318.

Keller, R., 2009. Foods high in antioxidants [อ อ น ไ ล น์]. สื บ ค้ น จ า ก : http://www.kellersformula.com/what-are-antioxidants (13 มกราคม 2560).

Kuljarachanan, T., Devahastin, S. and Chiewchan, N. 2009. Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. Food Chem. 113: 944-949.

Liu, H., Qiu, N. Ding, H. and Yao, R. 2008. Polyphenol contents and and antioxidant capacity of 68 Chinese herbals suitable for medical or food uses. Food Res. Int. 41: 363-370.

Majeed, M., Bhat, B., Jadhav, A., Srivastava, J., Nagabhushanam, K., 2009. Ascorbic Acid and Tannins from Emblica officinalis Gaertn. Fruits-A Revisit. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57: 220-225.

Mes, S., Shigenaga, M., and Hagen, T., 1993. Oxidants, antioxidants, and the degenerative disease of aging. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 90: 7915-7922.

Meyer, A. S., Suhr, K. I., Nielsen, P. and Holm, F. 2002. Natural Food Preservatives. In Minimal Processing Technologies in Food Industry. Ohlsson, T. and Bengtsson, N., (eds). Woodhead Publishing. Cambridge. 124-174.

Naik, G.H., Priyadarsini, K.I., Bhagirathi, R.G., Mishra, B., Mishra, K.P., Banavalikar, M.M. and Mohan, H. 2005. *In vitro* antioxidant studies and free radical reactions of triphala, an ayurvedic formulation and its constituents. Phytotherapy Research. 19(7): 582-586.

Nakabeppu, Y., 2006. "Mutagenesis and carcinogenesis caused by the oxidation of nucleic acids". Journal of Biological Chemistry. 387: 373-382.

Nawar, W., 1996. Lipids. In: Food Chemistry. Fennema, O.R. (Ed) Marcel Dekker, New York. p. 225-319.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

O'Donnell, E., Vereker, E., and Lynch, M., 1999. Age-related impairment in LTP is accompanied by enhanced activity of stress-activated protein kinases: analysis of underlying mechanisms.European Journal of Neuroscience 12: 345-352.

Sartjin, P., Chaiyavat C., Sasithorn. S., Khontaros. C., Periyanaina. K., Bhagavathi. S. S. 2016. Enrichment of nutritional value of Phyllanthus emblica fruit juice using the probiotic bacterium, Lactobacillus paracasei HII01 mediated fermentation. Food Science and Technology Research. Health Innovation Institute. Chiang Mai University. Chiang Mai, Thailand. 36: 119-120.

Panico. A. M., Garufi. F. S., Nitto, Mauro. R. D., Longhitano. R. C., Magrì. G., Catalfo. A., Serrentino. M. E., Guidi. G. D. 2009. Antioxidant activity and phenolic content of strawberry genotypes from Fragaria x ananassa. Pharmaceutical biology. 47(3): 203-208.

Prior, R., Wu, X., and Schaich. K., 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics. In foods and dietary supplements. J., Agric. Food Chem. 53: 4290-4302.

Pulido, R., Bravo, L. and Saura-Calixto, F. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. J. Agric. Food Chem. 48: 3396-3402.

Ramírez-Maganda, J., Blancas-Benitez, F. J., Zamora-Gasga, V. M., Garcia-Magana, M. L., Bello-Perez, L. A., Tovar, J., Sayago-Ayerdi, S. G. 2015. Nutritional properties and phenolic content of a bakery product substituted with a mango (Mangifera indica) 'Ataulfo' processing by-product. Food Research International. 73: 117-123.

Sen, C., 1995. Oxygen toxicity and antioxidant: state of art. Indian J.Physio. Pharmacol, 39: 177-196.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Singleton, V. L., Rossi J. A., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. American Journal Enolgy and Viticulture. 16: 144-158.

Stephens, R., Freeman, G., and Evans, M., 1972. Early response of lung to low levels of nitrogen light and electron microscopy. Arch. Ennviron. Health 24: 160-179.

Sumalatha, D., 2013. Antioxidant and Antitumor activity of *Phyllanthus emblica* in colon cancer cell lines. Department of Biotechnology, Valliammal College for women. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2(5): 189

Surveswaran, S., Cai Y. Z., Corke, H. and Sun, M. 2007. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidant from 133 Indian medicinal plant. Food Chem. 102: 938-953.

Valacchi, G. et al. 2004. "*In vivo* ozone exposure induces antioxidant stress-related responses in murine lung and skin". Free Radical Biology and Medicine. 36: 673-681.

Valko, M., 2007. "Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease". International Journal of Biochemistry & Cell Biology. 39: 4484-4489.

Voest, E., Vreugdenhil, G., and Marx, J., 1994. "Iron- chelating agents in non-iron overload conditions." Annals of Internal Medicine. 120: 490-499.

Wegrzyn, T. F., Farr, J. M., Hunter, D. C., Au., J., Wohlers, M. W., Skinner, M. A., Stanley, R. A. and Sun-Waterhouse, D. 2008. Stability of antioxidants in an apple polyphenol-milk model system. Food Chem. 109: 310-318.

Yanishlieva, N. V. 2001. Inhibiting oxidation. In: J. Pokorny, N. Yanishlieva and M. Gordon (eds.), Antioxidants in food: practical applications. New York: CRC Press. p. 22-57.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Yamasaki, K., Hashimoto, A., Kokusenya, Y., Miyamoto, T., and Sato, T. 1994. Electrochemical method for estimating the antioxidative effects of methanol extracts of crude drugs. Chem. Pharm. Bull. 42: 1414-1419.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม

1. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Singleton และ Rossi, 1965)

สารเคมี

1. สารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent
2. กรดแกลลิก (Gallic acid)
3. โซเดียมคาร์บอเนต แอนไฮดรัส (Sodium carbonate anhydrous; Na_2CO_3)
4. เอทานอล 99% (Absolute Ethanol 99%)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ไมโครปิเปตขนาด 20-200 µl
2. หลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 15 ml
3. 96-well plates
4. เครื่อง Microplate reader
5. เครื่อง centrifuge

วิธีการ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในมะขามป้อม

1. นำผลมะขามป้อมมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ หลังจากนั้นนำอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส บดให้ละเอียดจนกลายเป็นผง

2. นำผงมะขามป้อมมาสกัดด้วยสุรา 40 ดีกรี ในอัตราส่วน มะขามป้อมแห้ง:สุรา 40 ดีกรี (1 กรัม : 9 มิลลิลิตร) แช่ทิ้งไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปกรอง

3. สกัดน้ำที่ได้ด้วยเครื่อง Rotary evaporator และเข้าเครื่อง freeze dry จนแห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในไอศกรีม (ดัดแปลงวิธีจาก Hwang และคณะ, 2008)

1. วางไอศกรีมให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง ชั่งไอศกรีมที่ละลายให้ได้ น้ำหนัก 10 g

2. เติม Absolute Ethanol ปริมาตร 40 ml กวนผสมตัวอย่างให้เข้ากัน

3. ตั้งสารสกัดตัวอย่างไว้นาน 24 ชั่วโมง

4. นำตัวอย่างที่ได้ไปเซนตริฟิวส์ ที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent และโซเดียมคาร์บอเนต

1. เตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ความเข้มข้น 10% โดยเจือจางสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 10 ml ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

2. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 7.5% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 3.75 g เติมน้ำกลั่น ผสมจนละลายหมด แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 50 ml

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายกรดแกลลิกให้มีความเข้มข้น 1000 µg/ml โดยใช้ Absolute Ethanol เป็นตัวทำละลาย จากนั้นเจือจางให้มีความเข้มข้น 1, 0.5, 0.25 และ 0.125 µg/ml

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่าง 20 µl ลงในหลุมไมโครเพลท

2. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 100 µl

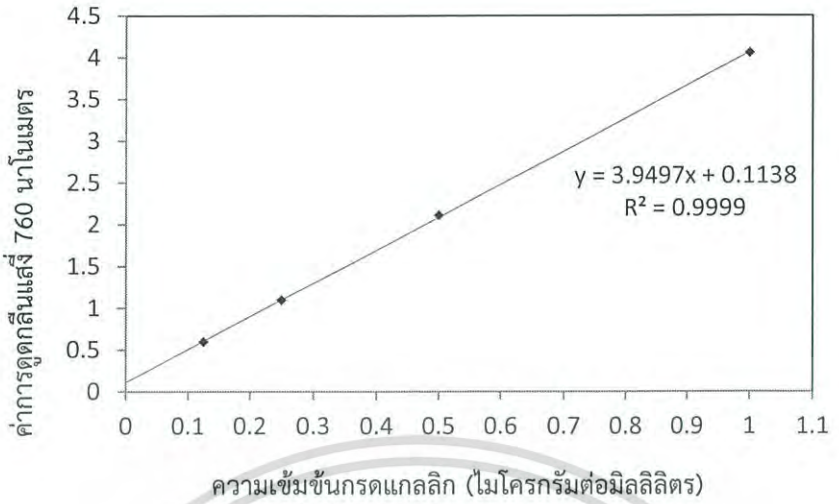
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 80 µl

4. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm

5. สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก โดยนำสารละลายกรดแกลลิกที่แต่ละความเข้มข้น มาทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1-4

6. คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก รายงานค่าในรูป มิลลิลิกรัม สมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดมะขามป้อม (mg GAE/g extract)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกรดแกลลิก

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH (Yamasaki และคณะ, 1994)

สารเคมี

1. DPPH 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
2. วิตามิน อี (α-tocopherol)
3. เอทานอล 99% (Absolute Ethanol 99%)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ไมโครปิเปตขนาด 20-200 µl
2. 96-well plates
3. เครื่อง Microplate reader

วิธีการ

การเตรียมสารละลาย DPPH

ชั่ง DPPH 0.0024 กรัม ละลายใน Absolute Ethanol และปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน α-tocopherol

เตรียมสารละลายมาตรฐาน α-tocopherol ให้มีความเข้มข้น 1,000 µg/ml โดยชั่ง α-tocopherol 5 mg ละลายใน Absolute Ethanol 5 ml จากนั้นเจือจางให้มีความเข้มข้น 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.31, 0.15 µg/ml

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างของแต่ละความเข้มข้น 100 µl ลงในหลุมไมโครเพลท
2. เติมสารละลาย DPPH 100 µl (ความเข้มข้นสุดท้ายของสารตัวอย่าง เท่ากับ 200 100 50 20 10 µg/ml ตามลำดับ)
3. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm
4. สำหรับสารละลายมาตรฐาน α-tocopherol ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนจากตัวอย่างเป็นสารละลาย α-tocopherol ที่ความเข้มข้นต่างๆ
5. คำนวณหาการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\%\text{DPPH radical scavenging activity} = \frac{(\text{Abs control} - \text{Abs sample})}{\text{Abs sample}} \times 100$$

หมายเหตุ

$Abs_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลาย DPPH 100 µl กับ Absolute Ethanol 100 µl

Abs_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดมะขามป้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ 100 µl กับสารละลาย DPPH 100 µl

3. การวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริค (Ferricd reducing antioxidant power; FRAP) (ดัดแปลงวิธีการจาก Benzie และ Strain, 1996)

สารเคมี

1. โซเดียมอะซิเตท ไตรไฮเดรต ($CH_3COONa.3H_2O$)
2. กรดอะซิตริก
3. TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-*s*-triazine)
4. กรดไฮโดรคลอริก
5. เฟอริกคลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3.6H_2O$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ไมโครปิเปตขนาด 20-200 ไมโครลิตร
2. คิวเวท
3. เครื่อง spectrophotometer
4. Waterbath

วิธีการ

1. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตรท 300 มิลลิโมลาร์ พีเอช 3.6 (ชั่งโซเดียมอะซิเตรท ($CH_3COONa.3H_2O$) 1.5 กรัม เติมกรดอะซิติกมา 8 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 0.5 ลิตร ปรับให้บัฟเฟอร์มีค่าความเป็นกรดพีเอช 3.6)

2. เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3.6H_2O$) 20 มิลลิโมลาร์ (ชั่งเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.541 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร)

3. เตรียมสารละลาย TPTZ 10 มิลลิโมลาร์ (ชั่ง TPTZ 0.312 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริค 40 มิลลิโมลาร์ 100 มิลลิลิตร)

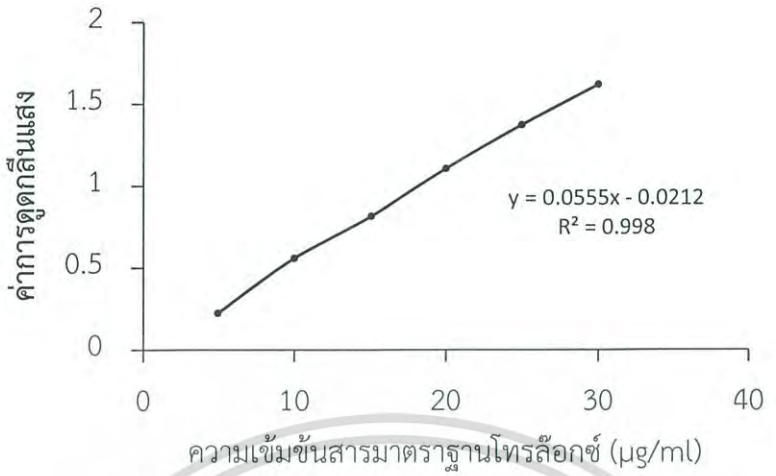
4. เตรียมกรดไฮโดรคลอริค 40 มิลลิโมลาร์ (กรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 1 โมลาร์ 4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร)

5. ผสมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตรท 300 มิลลิโมลาร์ พีเอช 3.6 + สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 20 มิลลิโมลาร์ + สารละลาย TPTZ ให้เข้ากันในอัตราส่วน 10 : 1 : 1 (v/v) ได้เป็นสารละลาย FRAP reagent แล้วนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

การวิเคราะห์

1. ผสมสารละลาย FRAP reagent 900 µl น้ำกลั่น 90 µl และตัวอย่าง 30 µl ลงในคิวเวท
2. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 ชั่วโมง จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm
3. คำนวณความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์ประจุเฟอร์ริคโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของโทลอกซ์ แสดงค่าในรูป ไมโครโมล สมมูลย์ของโทลอกซ์ต่อกรัมสารสกัดมะขามป้อม (µmol TE/g extract)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าสารโทรลอกซ์ของสารสกัดมะขามป้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

1. แบบประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

เพศ _____ อายุ _____ อาชีพ _____

คำชี้แจง: ให้ผู้ประเมินชิมไอศกรีมที่อยู่ในถ้วยพลาสติกที่มีหมายเลขกำกับ และประเมินโดยใส่หมายเลขตามระดับความชอบลงในช่องว่าง ซึ่งผู้ประเมินต้องกลั้วปากด้วยน้ำดื่มสะอาดก่อนการเริ่มชิมไอศกรีมตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

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

ตัวอย่าง	คุณสมบัติที่ประเมิน						
	สี	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	ความหวาน	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
รหัส.....							
รหัส.....							
รหัส.....							
รหัส.....							

รูปที่ ข-1 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมผสมสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 1

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

เพศ _____ อายุ _____ อาชีพ _____

คำชี้แจง: ให้ผู้ประเมินชิมไอศกรีมที่อยู่ในถ้วยพลาสติกที่มีหมายเลขกำกับ และประเมินโดยใส่หมายเลขตามระดับความชอบลงในช่องว่าง ซึ่งผู้ประเมินต้องกลั้วปากด้วยน้ำดื่มสะอาดก่อนการเริ่มชิมไอศกรีมตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

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

ตัวอย่าง	คุณสมบัติที่ประเมิน					
	ลักษณะปรากฏ	ความแน่นแข็ง	ความเรียบเนียน	ความหวาน	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
รหัส.....						
รหัส.....						
รหัส.....						
รหัส.....						
รหัส.....						

รูปที่ ข-2 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมผสมสารสกัดมะขามป้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณลักษณะและวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

2.1 สี (Color)

พิจารณาจาก สีของเนื้อไอศกรีม

2.2 ลักษณะปรากฏ (Appearance)

พิจารณาจาก ความสม่ำเสมอ ความเรียบเนียน ของไอศกรีม

2.3 เนื้อสัมผัส (Texture)

2.3.1 ความแน่นแข็ง (Hardness) เป็นคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสของไอศกรีม ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการทำให้ไอศกรีมยุบตัวลง

วิธีการประเมิน ตักไอศกรีม 1 ช้อน เข้าในปาก จากนั้นประเมินความแน่นแข็งของไอศกรีมโดยใช้ลิ้นออกแรงกดต้านกับเพดานปากเพื่อทำให้ไอศกรีมยุบตัว

2.3.2 ความเรียบเนียน (Smoothness) เป็นการสัมผัสของลิ้นกับอนุภาคต่างๆ หรือผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม

วิธีการประเมิน ตักไอศกรีม 1 ช้อน เข้าในปาก จากนั้นใช้ลิ้นกวาดตัวอย่างไอศกรีมให้ทั่วเพดานปาก แล้วทำการประเมินความเรียบเนียนของไอศกรีม

2.4 ความหวาน (Sweetness)

พิจารณาจาก การรับรสหวานของน้ำตาลที่เป็นส่วนผสมในไอศกรีม ซึ่งสามารถรับรสหวานได้ภายหลังจากรับประทานไอศกรีม

2.5 รสชาติ (Ice cream flavor)

พิจารณาจาก รสชาติของส่วนผสมต่างๆ ในไอศกรีม ซึ่งสามารถรับรู้ได้ภายหลังจากรับประทานไอศกรีม

2.6 การยอมรับโดยรวม (Overall Acceptance)

พิจารณาจาก สี ลักษณะปรากฏ ความแน่นแข็ง ความเรียบเนียน ความหวาน รสชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไอศกรีมที่มีความเข้มข้นของสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก

Descriptives

Total Phenolic Content

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
P.emblica 0.25%	3	.01143	.00070	.00041	.00969	.01317	.01062	.01184
P.emblica 0.50%	3	.02050	.00061	.00035	.01898	.02203	.01984	.02106
P.emblica 0.75%	3	.02404	.00072	.00041	.02226	.02582	.02322	.02454
P.emblica 1.00%	3	.02915	.00068	.00039	.02746	.03085	.02845	.02982
P.emblica 1.25%	3	.02501	.00218	.00126	.01959	.03044	.02256	.02675
Total	15	.02203	.00626	.00161	.01856	.02549	.01062	.02982

ANOVA

Total Phenolic Content

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	4	.000	101.020	.000
Within Groups	.000	10	.000		
Total	.001	14			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Total Phenolic Content

Duncan[a]

Sample	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
P.emblica 0.25%	3	.01143			
P.emblica 0.50%	3		.02050		
P.emblica 0.75%	3			.02404	
P.emblica 1.00%	3			.02501	
P.emblica 1.25%	3				.02915
Sig.		1.000	1.000	.326	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Descriptives

Total Phenolic Content (Ice cream)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
F1	3	.02181	.00044	.00026	.02071	.02291	.02130	.02213
F2	3	.07205	.00102	.00059	.06951	.07459	.07146	.07323
F3	3	.09814	.01096	.00633	.07092	.12536	.08978	.11055
F4	3	.10135	.00614	.00355	.08609	.11661	.09556	.10779
F5	3	.12156	.00471	.00272	.10987	.13326	.11629	.12534
F6	3	.10027	.00319	.00184	.09235	.10819	.09799	.10392
Total	18	.08586	.03333	.00786	.06929	.10244	.02130	.12534

ANOVA

Total Phenolic Content (Ice cream)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.018	5	.004	115.983	.000
Within Groups	.000	12	.000		
Total	.019	17			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Total Phenolic Content (Ice cream)

Duncan[a]

Formula	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
F1	3	.02181			
F2	3		.07205		
F3	3			.09814	
F4	3			.10027	
F5	3			.10135	
F6	3				.12156
Sig.		1.000	1.000	.521	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.6 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของไอศกรีมที่มีความเข้มข้นของสารสกัดมะขามป้อมร้อยละ 0-1.25 โดยน้ำหนัก

Descriptives

FRAP

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
P.emblica 0.25%	3	22.1698	2.77942	1.6047	15.2654	29.0743	20.47	25.38
P.emblica 0.50%	4	11.5330	1.20906	.6045	9.6091	13.4569	10.24	12.78
P.emblica 0.75%	4	8.0031	.74483	.3724	6.8180	9.1883	7.33	8.65
P.emblica 1.00%	3	6.3129	.48181	.2781	5.1160	7.5098	5.97	6.86
P.emblica 1.25%	3	5.2767	.34241	.1976	4.4261	6.1273	4.89	5.53
Total	17	10.5543	6.09483	1.4782	7.4206	13.6880	4.89	25.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANOVA

FRAP

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	572.152	4	143.038	77.322	.000
Within Groups	22.199	12	1.850		
Total	594.351	16			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

FRAP

Duncan[a,b]

Sample	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
P.emblica 0.25%	3	5.2767			
P.emblica 0.50%	3	6.3129	6.3129		
P.emblica 0.75%	4		8.0031		
P.emblica 1.00%	4			11.5330	
P.emblica 1.25%	3				22.1698
Sig.		.345	.135	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Descriptives

FRAP (Ice cream)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
F1	3	.0088	.0002	.0001	.00816	.0093	.00851	.00899
F2	4	60.7075	9.9356	4.9678	44.8978	76.5172	54.81132	75.56604
F3	3	31.6509	5.7190	3.3019	17.4441	45.8578	28.34906	38.25472
F4	4	22.6729	3.8170	1.9085	16.5992	28.7467	19.21384	26.13208
F5	5	17.3821	3.0642	1.3704	13.5773	21.1868	13.46698	19.59906
F6	3	15.5535	.1089	.06289	15.2829	15.8241	15.49057	15.67925
Total	22	25.5487	19.6666	4.1929	16.8290	34.2684	.00851	75.56603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANOVA

FRAP (Ice cream)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7679.420	5	1535.884	55.491	.000
Within Groups	442.851	16	27.678		
Total	8122.272	21			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

FRAP (Ice cream)

Duncan[a,b]

วิธี	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
F1	3	.00875			
F2	3		15.55346		
F3	5		17.38208		
F4	4		22.67296		
F5	3			31.65094	
F6	4				60.70755
Sig.		1.000	.107	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.529.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.2 คะแนนการยอมรับเฉลี่ยที่ได้จากสูตรที่ต่างกันของไอศกรีมและค่าการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมสูตรต่างๆ ที่เติมสารสกัดมะขามป้อม

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
สี	F1	30	5.3000	1.96784	.35928	4.5652	6.0348	1.00	8.00
	F2	30	6.0333	1.60781	.29354	5.4330	6.6337	2.00	8.00
	F3	30	7.1333	1.56983	.28661	6.5471	7.7195	1.00	9.00
	F4	30	6.7333	1.50707	.27515	6.1706	7.2961	4.00	9.00
	Total	120	6.3000	1.79448	.16381	5.9756	6.6244	1.00	9.00
ลักษณะ	F1	30	5.9667	1.60781	.29354	5.3663	6.5670	3.00	8.00
ปรากฏ	F2	30	5.6667	1.68836	.30825	5.0362	6.2971	2.00	8.00
	F3	30	6.6000	1.49943	.27376	6.0401	7.1599	3.00	9.00
	F4	30	6.2000	1.60602	.29322	5.6003	6.7997	3.00	9.00
	Total	120	6.1083	1.61815	.14772	5.8158	6.4008	2.00	9.00
ความ	F1	30	5.9667	1.42595	.26034	5.4342	6.4991	3.00	9.00
กระด้าง	F2	30	4.9667	1.93842	.35391	4.2428	5.6905	2.00	8.00
	F3	30	6.6333	1.54213	.28155	6.0575	7.2092	3.00	9.00
	F4	30	5.5333	1.47936	.27009	4.9809	6.0857	2.00	8.00
	Total	120	5.7750	1.70251	.15542	5.4673	6.0827	2.00	9.00
ความ	F1	30	6.6667	1.49328	.27263	6.1091	7.2243	3.00	9.00
นุ่มลื่น	F2	30	5.0000	1.66091	.30324	4.3798	5.6202	2.00	9.00
	F3	30	7.0333	1.62912	.29743	6.4250	7.6417	2.00	9.00
	F4	30	5.5000	1.45626	.26588	4.9562	6.0438	2.00	8.00
	Total	120	6.0500	1.75303	.16003	5.7331	6.3669	2.00	9.00
ความหวาน	F1	30	6.7000	1.68462	.30757	6.0710	7.3290	2.00	9.00
	F2	30	4.4667	2.06336	.37672	3.6962	5.2371	1.00	8.00
	F3	30	6.9000	1.49366	.27270	6.3423	7.4577	3.00	9.00
	F4	30	5.3667	1.90251	.34735	4.6563	6.0771	1.00	8.00
	Total	120	5.8583	2.03868	.18611	5.4898	6.2268	1.00	9.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
รสชาติ	F1	30	6.8667	1.50249	.27432	6.3056	7.4277	2.00	9.00
	F2	30	5.4333	1.73570	.31689	4.7852	6.0815	2.00	8.00
	F3	30	7.4333	1.30472	.23821	6.9461	7.9205	4.00	9.00
	F4	30	6.2000	1.91905	.35037	5.4834	6.9166	1.00	9.00
	Total	120	6.4833	1.77747	.16226	6.1620	6.8046	1.00	9.00
การยอมรับโดยรวม	F1	30	6.9333	1.59597	.29138	6.3374	7.5293	2.00	9.00
	F2	30	5.6000	1.54474	.28203	5.0232	6.1768	3.00	9.00
	F3	30	7.3667	1.35146	.24674	6.8620	7.8713	4.00	9.00
	F4	30	6.3333	1.53877	.28094	5.7587	6.9079	2.00	9.00
	Total	120	6.5583	1.63366	.14913	6.2630	6.8536	2.00	9.00

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
สี	Between Groups	58.600	3	19.533	6.980	.000
	Within Groups	324.600	116	2.798		
	Total	383.200	119			
ลักษณะปรากฏ	Between Groups	13.958	3	4.653	1.813	.149
	Within Groups	297.633	116	2.566		
	Total	311.592	119			
ความแน่นแข็ง	Between Groups	44.558	3	14.853	5.736	.001
	Within Groups	300.367	116	2.589		
	Total	344.925	119			
ความเรียบเนียน	Between Groups	82.567	3	27.522	11.276	.000
	Within Groups	283.133	116	2.441		
	Total	365.700	119			
ความหวาน	Between Groups	119.158	3	39.719	12.272	.000
	Within Groups	375.433	116	3.236		
	Total	494.592	119			
รสชาติ	Between Groups	66.967	3	22.322	8.380	.000
	Within Groups	309.000	116	2.664		
	Total	375.967	119			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
การยอมรับโดยรวม	Between Groups	52.892	3	17.631	7.726	.000
	Within Groups	264.700	116	2.282		
	Total	317.592	119			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

สี

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตร1	30	5.3000		
สูตร2	30	6.0333	6.0333	
สูตร4	30		6.7333	6.7333
สูตร3	30			7.1000
Sig.		.094	.110	.400

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

ลักษณะปรากฏ

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตร2	30	5.6667	
สูตร1	30	5.9667	5.9667
สูตร4	30	6.2000	6.2000
สูตร3	30		6.6000
Sig.		.228	.152

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแน่นแข็ง

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตร2	30	4.9667		
สูตร4	30	5.5333	5.5333	
สูตร1	30		5.9667	
สูตร3	30			6.8000
Sig.		.166	.289	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

ความเรียบเนียน

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตร2	30	5.0000	
สูตร4	30	5.5000	
สูตร1	30		6.6667
สูตร3	30		7.0333
Sig.		.218	.365

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

ความหวาน

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตร2	30	4.4667	
สูตร4	30	5.3667	
สูตร1	30		6.7000
สูตร3	30		6.9000
Sig.		.055	.668

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รสชาติ

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตร2	30	5.4333		
สูตร4	30	6.2000	6.2000	
สูตร1	30		6.8667	6.8667
สูตร3	30			7.4333
Sig.		.071	.116	.181

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

การยอมรับโดยรวม

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตร2	30	5.6000		
สูตร4	30	6.3333	6.3333	
สูตร1	30		6.9333	6.9333
สูตร3	30			7.3667
Sig.		.063	.127	.269

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.7 คะแนนการยอมรับเฉลี่ยที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันของสารสกัดมะขามป้อมในไอศกรีมและค่าการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมสูตรต่างๆ

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ลักษณะปรากฏ	สูตร1	30	5.9000	1.56139	.28507	5.3170	6.4830	2.00	8.00
	สูตร2	30	5.9000	1.53914	.28101	5.3253	6.4747	3.00	9.00
	สูตร3	30	5.9000	1.42272	.25975	5.3687	6.4313	3.00	9.00
	สูตร4	30	6.0667	1.46059	.26667	5.5213	6.6121	2.00	8.00
	สูตร5	30	5.6000	1.63158	.29789	4.9908	6.2092	2.00	8.00
	สูตร6	30	5.1333	1.87052	.34151	4.4349	5.8318	1.00	8.00
	Total	180	5.7500	1.59565	.11893	5.5153	5.9847	1.00	9.00
ความกระด้าง	สูตร1	30	5.3000	2.03673	.37185	4.5395	6.0605	1.00	9.00
	สูตร2	30	5.3000	1.76459	.32217	4.6411	5.9589	2.00	9.00
	สูตร3	30	5.2333	1.86960	.34134	4.5352	5.9315	2.00	9.00
	สูตร4	30	5.6000	1.63158	.29789	4.9908	6.2092	3.00	9.00
	สูตร5	30	5.0333	1.90251	.34735	4.3229	5.7437	2.00	8.00
	สูตร6	30	4.4667	1.65536	.30223	3.8485	5.0848	1.00	7.00
	Total	180	5.1556	1.82418	.13597	4.8873	5.4239	1.00	9.00
ความนุ่มลื่น	สูตร1	30	5.9333	2.08332	.38036	5.1554	6.7113	2.00	9.00
	สูตร2	30	5.6333	1.80962	.33039	4.9576	6.3091	3.00	9.00
	สูตร3	30	5.7000	1.74494	.31858	5.0484	6.3516	2.00	9.00
	สูตร4	30	5.9667	1.69143	.30881	5.3351	6.5983	2.00	9.00
	สูตร5	30	5.3667	1.80962	.33039	4.6909	6.0424	2.00	8.00
	สูตร6	30	4.6667	2.12267	.38755	3.8740	5.4593	1.00	9.00
	Total	180	5.5444	1.90947	.14232	5.2636	5.8253	1.00	9.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ความหวาน	สูตร1	30	6.6000	1.54474	.28203	6.0232	7.1768	4.00	9.00
	สูตร2	30	5.6333	1.71169	.31251	4.9942	6.2725	3.00	9.00
	สูตร3	30	5.1333	1.63440	.29840	4.5230	5.7436	2.00	8.00
	สูตร4	30	5.3667	1.79046	.32689	4.6981	6.0352	1.00	9.00
	สูตร5	30	4.7667	2.06253	.37656	3.9965	5.5368	1.00	9.00
	สูตร6	30	4.3667	1.99107	.36352	3.6232	5.1101	1.00	8.00
	Total	180	5.3111	1.90937	.14232	5.0303	5.5919	1.00	9.00
รสชาติ	สูตร1	30	6.9333	1.11211	.20304	6.5181	7.3486	5.00	9.00
	สูตร2	30	6.0667	1.63861	.29917	5.4548	6.6785	3.00	9.00
	สูตร3	30	5.4000	1.67332	.30551	4.7752	6.0248	2.00	8.00
	สูตร4	30	5.5000	1.67641	.30607	4.8740	6.1260	1.00	9.00
	สูตร5	30	4.7333	2.01603	.36807	3.9805	5.4861	1.00	9.00
	สูตร6	30	4.3667	2.04237	.37288	3.6040	5.1293	1.00	9.00
	Total	180	5.5000	1.89530	.14127	5.2212	5.7788	1.00	9.00
การยอมรับโดยรวม	สูตร1	30	6.7333	1.41259	.25790	6.2059	7.2608	3.00	9.00
	สูตร2	30	6.0667	1.57422	.28741	5.4788	6.6545	2.00	9.00
	สูตร3	30	5.9000	1.21343	.22154	5.4469	6.3531	4.00	8.00
	สูตร4	30	5.9667	1.71169	.31251	5.3275	6.6058	2.00	9.00
	สูตร5	30	5.0000	1.80038	.32870	4.3277	5.6723	2.00	9.00
	สูตร6	30	4.5333	1.97804	.36114	3.7947	5.2719	1.00	9.00
	Total	180	5.7000	1.76844	.13181	5.4399	5.9601	1.00	9.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ลักษณะปรากฏ	Between Groups	17.117	5	3.423	1.358	.242
	Within Groups	438.633	174	2.521		
	Total	455.750	179			
ความแน่นแข็ง	Between Groups	22.044	5	4.409	1.337	.251
	Within Groups	573.600	174	3.297		
	Total	595.644	179			
ความเรียบเนียน	Between Groups	34.911	5	6.982	1.967	.086
	Within Groups	617.733	174	3.550		
	Total	652.644	179			
ความหวาน	Between Groups	89.644	5	17.929	5.542	.000
	Within Groups	562.933	174	3.235		
	Total	652.578	179			
รสชาติ	Between Groups	127.733	5	25.547	8.627	.000
	Within Groups	515.267	174	2.961		
	Total	643.000	179			
การยอมรับโดยรวม	Between Groups	94.933	5	18.987	7.107	.000
	Within Groups	464.867	174	2.672		
	Total	559.800	179			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subse

ลักษณะปรากฏ

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตร6	30	5.1333	
สูตร5	30	5.6000	5.6000
สูตร1	30	5.9000	5.9000
สูตร2	30	5.9000	5.9000
สูตร3	30	5.9000	5.9000
สูตร4	30		6.0667
Sig.		.098	.320

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแน่นแข็ง

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตร6	30	4.4667	
สูตร5	30	5.0333	5.0333
สูตร3	30	5.2333	5.2333
สูตร1	30	5.3000	5.3000
สูตร2	30	5.3000	5.3000
สูตร4	30		5.6000
Sig.		.116	.290

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

ความเรียบเนียน

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตร6	30	4.6667	
สูตร5	30	5.3667	5.3667
สูตร2	30	5.6333	5.6333
สูตร3	30	5.7000	5.7000
สูตร1	30		5.9333
สูตร4	30		5.9667
Sig.		.053	.280

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหวาน

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตร6	30	4.3667		
สูตร5	30	4.7667	4.7667	
สูตร3	30	5.1333	5.1333	
สูตร4	30		5.3667	
สูตร2	30		5.6333	
สูตร1	30			6.6000
Sig.		.121	.090	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

รสชาติ

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
สูตร6	30	4.3667			
สูตร5	30	4.7333	4.7333		
สูตร3	30		5.4000	5.4000	
สูตร4	30		5.5000	5.5000	
สูตร2	30			6.0667	6.0667
สูตร1	30				6.9333
Sig.		.410	.105	.159	.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยอมรับโดยรวม

Duncan[a]

สูตร	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตร6	30	4.5333	
สูตร5	30	5.0000	
สูตร3	30		5.9000
สูตร4	30		5.9667
สูตร2	30		6.0667
สูตร1	30		6.7333
Sig.		.270	.072

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้