การสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา

CAROTENOID EXTRACTION FROM HUSK OF PURPLE RICE

กมลชนก ศรีชัยธำรง
เชษฐวิทย์ อุดมวงศ์ศิริ
นวพร รังสฤษฎ์วุฒิกุล
วรเมธ วิมลาภิรัต

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา

CAROTENOID EXTRACTION FROM HUSK OF PURPLE RICE

T148858

กมลชนก ศรีชัยธำรง

เชษฐวิทย์ อุดมวงศ์ศิริ

นวพร รังสฤษฎ์วุฒิกุล

วรเมธ วิมลาภิรัต

b.12876501
l.

สถาบันฯ
เลขทะเบียน 148858
วัน.เดือน.ปี 30 พ.ย. 2560

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองพิเศษ

การสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา

CAROTENOID EXTRACTION FROM HUSK OF PURPLE RICE

จัดทำโดย

กมลชนก ศรีชัยธำรง รหัสนักศึกษา 55080143

เชษฐวิทย์ อุดมวงศ์ศิริ รหัสนักศึกษา 55080154

นวพร รังสฤษฎ์วุฒิกุล รหัสนักศึกษา 55080167

วรเมธ วิมลาภิรัต รหัสนักศึกษา 55080189

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

ประมวล ศรีกาหลง ..... 25 / พ.ค / 2559

(ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา
ชื่อนักศึกษา	กมลชนก ศรีชัยธำรง รหัสนักศึกษา 55080143
	เชษฐวิทย์ อุดมวงศ์ศิริ รหัสนักศึกษา 55080154
	นวพร รังสฤษฎ์วุฒิกุล รหัสนักศึกษา 55080167
	วรเมธ วิมลาภิรัต รหัสนักศึกษา 55080189
หลักสูตร	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาโดยสกัดด้วยเครื่องต้นแบบของคณะอุตสาหกรรมเกษตร โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย โดยทำการทดลองเพื่อหาว่าขนาดของแกลบ และจำนวนซ้ำในการสกัดมีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้หรือไม่ ดังนั้นในการเลือกขนาดของแกลบจึงทำการทดลองโดยใช้แกลบขนาดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ แกลบที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด บดหยาบ และบดละเอียดมาทำการทดลองสกัด และหาปริมาณสารด้วยการวัดค่าดูดกลืนแสงจากนั้นนำไปหาความเข้มข้นเทียบกับกราฟบีตาแคโรทีนมาตรฐาน ซึ่งเมื่อนำค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบทั้ง 3 ขนาดไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นจากกราฟบีตาแคโรทีนมาตรฐาน พบว่า แกลบที่ไม่ผ่านการบดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้มีความเข้มข้นสูงกว่าแกลบที่ผ่านการบดหยาบและบดละเอียดตามลำดับ เมื่อได้ขนาดแกลบที่เหมาะสมแล้วจึงนำแกลบที่ไม่ผ่านการบดมาทดลองหาจำนวนซ้ำที่ใช้ในการสกัดได้ โดยการทดลองได้นำแกลบมาทำการสกัดด้วยเฮกเซนเป็นเวลา 30 นาที โดยจะทำการสกัดซ้ำด้วยตัวอย่างเดิมแต่เปลี่ยนตัวทำละลายเพื่อหาว่าจำนวนซ้ำมีส่วนในการสกัดหรือไม่ ซึ่งจากการทดลองพบว่าจำนวนซ้ำไม่มีผลในการเพิ่มปริมาณสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้น ได้ทำการศึกษาเพื่อหาอายุการเก็บรักษาของสารสกัดแคโรทีนอยด์ โดย ทำการตรวจปริมาณแคโรทีนอยด์ทุก 1สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ และนำค่าดูดกลืนแสงมาคำนวณกลับเป็นความเข้มข้นจากกราฟบีตาแคโรทีนมาตรฐาน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ก่อนและหลังมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ข้าวเหนียวดำก่ำ แคโรทีนอยด์ การสกัด อายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title Carotenoid extraction from Thai purple rice

Student name Kamonchanok Srichaithumrong Student ID 55080143

Chasetavit Udomwongsiri Student ID 55080154

Navaporn Rangsaritwutikul Student ID 55080167

Worameth Wimalapirut Student ID 55080189

Program Bachelor of Science in Food Process Engineering

Year 2016

Advisor Assist. Prof. Dr. Pramoun Srikalong

ABSTRACT

This project studied about content of carotenoid extraction from purple rice husk, which extract by prototype machine from faculty of agro industry of KMITL. To determine carotenoid content of purple rice husk which different size and round of extraction were mixed with hexane as solvent. First we start with 3 different size (Original size, rough size, powder size) of purple rice husk to find which size have highest carotenoid content. After that Total carotenoids content was measured by using UV-visible spectrophotometer and compare this value on the standard curve of carotenoid. This result of study showed that the highest content of carotenoid were found in original size rough size powder size respectively. The original size was studied about round of extraction (1round 2round 3round) with same material but change the solvent. After that Total carotenoids content was measured by using UV-visible spectrophotometer and read off on the standard curve of carotenoid. The highest content of carotenoid were found in 1round 2round 3round respectively. and finally, the carotenoid extraction was studied on shelf-life every week carotenoid extraction was measured and compare this value on the carotenoid standard curve for 5 weeks. The content of carotenoid didn't change from the first concentration significantly.

Keywords: extraction, carotenoid, purple rice, shelf-life

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในหัวข้อ “การสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา” สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง ผู้ให้คำแนะนำ ข้อคิดและข้อเสนอแนะในด้านข้อมูลและการวางแผนการทดลอง ตลอดจนตรวจแก้ไข ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งให้ความสะดวกในการใช้ห้องทดลอง เครื่องมือและอุปกรณ์ จึงทำให้งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและแนวคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงาน ขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทดลอง

สุดท้ายนี้กลุ่มผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษา คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้กรุณาช่วยเหลือและแนะนำข้อเสนออื่นๆ จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

กมลชนก ศรีชัยธำรง
เชษฐวิทย์ อุดมวงศ์ศิริ
นวพร รังสฤษฎิวุฒิกุล
วรเมธ วิมลาภิรัต
25 พฤษภาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง V
สารบัญภาพ VI
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 แกลบ 3
2.2 สารแคโรทีนอยด์ 5
2.3 ผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์ 6
2.4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ 7
2.5 ประโยชน์ของสารแคโรทีนอยด์ 9
2.6 ประโยชน์ของโปรวิตามินเอต่อระบบร่างกาย 10
2.7 การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น 12
2.8 ความคงตัวของแคโรทีนอยด์ 13
2.9 คุณสมบัติของตัวทำละลาย 14
2.10 วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย 16
2.11 การเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 19
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 19
3.2 อุปกรณ์ 19
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 22
4.1 การศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีขนาดต่างกัน 22
4.2 การศึกษาสภาวะในการสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นโดยเปรียบเทียบจากจำนวนซ้ำที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบ 23
4.3 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของสารสกัดแคโรทีนอยด์ 25
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 26
บรรณานุกรม 28
ภาคผนวก 34
ภาคผนวก ก 35
ภาคผนวก ข 48
ภาคผนวก ค 51
ประวัติผู้เขียน 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่พบในแกลบ	4
2.2	องค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ (โลหะออกไซด์) ที่พบในแกลบ	5
2.3	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแคโรทีนอยด์	8
2.4	แสดงกิจกรรมของวิตามินเอของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์	10
2.5	คุณสมบัติของตัวทำละลาย	15
4.1	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบข้าวเหนียวดำ	22
4.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์จากรูปแบบการสกัดทั้ง 4 รูปแบบ	23
4.3	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์จากอายุการเก็บ	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของแกลบ กำลังขยาย 1x1 เท่า	3
2.2	พื้นผิวแกลบที่มีลักษณะเป็นร่องเรียงกัน กำลังขยาย 80 เท่า	3
2.3	พื้นผิวของแกลบที่มีความพรุนมากกำลังขยาย 200 เท่า	4
2.4	โครงสร้างของบีตาแคโรทีน	7
2.5	โครงสร้างของแอลฟาแคโรทีน	7
2.6	โครงสร้างของไลโคพีน	7
2.7	โครงสร้างของวิตามินเอ	7
4.1	แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบของข้าวเหนียวดำที่มีขนาดแตกต่างกัน	22
4.2	แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบของข้าวเหนียวดำที่จำนวนการสกัดซ้ำ	24
4.3	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์จากอายุการเก็บรักษา	25
ก.1.1	ข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา จาก กลุ่มบ้านชาวนาข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา ตำบลหงส์หิน อำเภอจุน จังหวัดพะเยา	35
ก.1.2	ทำการล้างสิ่งเจือปนที่ปนมากับวัตถุดิบและตากให้แห้ง	35
ก.1.3	เครื่องสีข้าว (รุ่นNW 1000 TURBO)	36
ก.1.4	เครื่องบดแกลบ (Blender)	36
ก.1.5	(A) แกลบไม่บด (B) แกลบบดหยาบ (C) แกลบบดละเอียด	37
ก.1.6	เครื่องซีลสุญญากาศ (Vacuum sealer)	38
ก.1.7	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	38
ก.1.8	เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator)	39
ก.1.9	ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

ก.1.10 เครื่องสเปคโตรโฟรโตมิเตอร์ (UV – Vis spectrophotometer1601)..... 40

ก.1.11 เครื่องเขย่าสาร (Vortex - Genie 2)..... 40

ก.1.12 ก๊าซไนโตรเจน..... 41

ก.1.13 ขวดสีชาขนาด5มิลลิลิตร..... 41

ก.2.1 โครงเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์..... 42

ก.2.2 ทำการต่อโครงเหล็กเพื่อใส่รอกไฟฟ้า..... 42

ก.2.3 ทำการติดตั้งรอกไฟฟ้า..... 43

ก.2.4 ทำการทดสอบรอกไฟฟ้า..... 43

ก.2.5 เจาะยึดท่อดูดอากาศ..... 44

ก.2.6 ชุดดูดอากาศพร้อมใช้งาน..... 44

ก.2.7 ประกอบหม้อสกัด..... 45

ก.2.8 หม้อสกัดพร้อมใช้งาน..... 45

ก.2.9 ตัดปะเก็นลองฝาหม้อสุญญากาศ..... 46

ก.2.10 ติดตั้งปะเก็นฝาหม้อสุญญากาศ..... 46

ก.2.11 ทำการติดตั้งล้อเลื่อน..... 47

ก.2.12 เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ (เครื่องต้นแบบ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) 47

ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบีตาแคโรทีนและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร..... 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพที่ทำมาจากธรรมชาติ เนื่องจากมีรายงานถึงอันตรายน้อยกว่าการใช้ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ทางเคมี ดังนั้นอุตสาหกรรมอาหารที่จำเป็นต้องใช้สีส้ม หรือสีเหลืองในการผลิตอาหารจึงนิยมใช้สารสีจากแคโรทีนอยด์ ซึ่งนอกจากจะให้สีที่มาจากธรรมชาติแล้วแคโรทีนอยด์ยังประกอบด้วยบีตาแคโรทีน ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอของร่างกาย และบีตาแคโรทีนยังมีคุณสมบัติเป็นแอนตีออกซิแดน ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย นอกจากในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว

แคโรทีนอยด์ยังเป็นสารที่มีการใช้มากใน อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง อย่างไรก็ตามแคโรทีนอยด์มีราคาสูงถึงประมาณกิโลกรัมละ 5,000-100,000 บาท เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งแม้ว่าความต้องการใช้แคโรทีนอยด์ในประเทศไทยยังไม่มีการรวบรวมไว้ แต่มีการประมาณการใช้บีตาแคโรทีน จากแหล่งธรรมชาติของทุกประเทศ ในปี 2001 สูงถึง 887 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (DSM: biggest slice of carotenoid market, 2006) แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการผลิตบีตาแคโรทีนโดยวิธีการสังเคราะห์ ซึ่งมีราคาที่ถูกกว่าบีตาแคโรทีนที่สกัดได้จากธรรมชาติ แต่ผู้บริโภคทั่วไปให้ความสนใจและยอมรับแคโรทีนอยด์ที่มาจากธรรมชาติมากกว่า

จากการสืบค้นข้อมูลในเบื้องต้นพบว่า มีข้าวพื้นเมืองหลายสายพันธุ์ ที่มีสารสำคัญเหล่านี้อยู่มากพอสมควร จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นแคโรทีนอยด์เข้มข้น ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารต้นน้ำ สำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรม นอกจากนี้จะเป็นการยกระดับความสำคัญ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของ ข้าวพื้นเมืองที่ถูกละเลยความสำคัญมาเป็นระยะเวลานาน โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตที่พัฒนาขึ้นโดยคนไทย เพื่อการพึ่งพาตนเอง และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยอาศัยการนำเข้าเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 การศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีขนาดต่างกัน

1.2.2 ศึกษาสภาวะในการสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นได้โดยเปรียบเทียบจากจำนวนซ้ำที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบ

1.2.3 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์เข้มข้นที่สกัดได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ทราบขนาดของแกลบที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์
1.3.2 ได้ทราบจำนวนซ้ำที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบ
1.3.3 ได้ทราบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์เข้มข้นที่สกัดได้

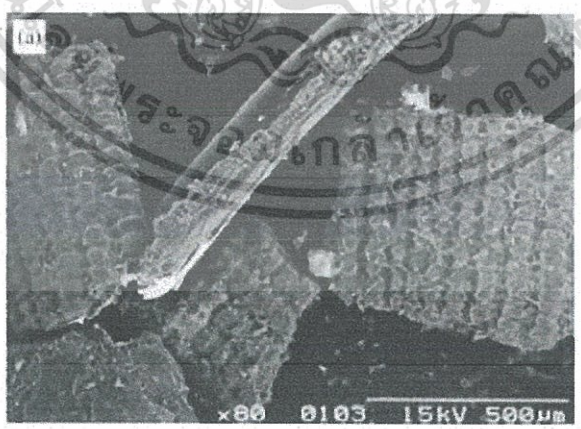
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แกลบ

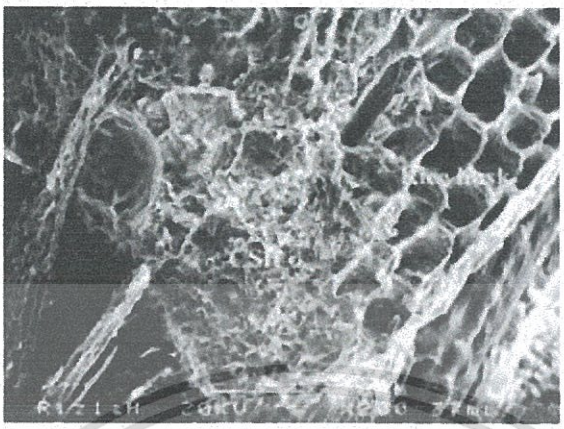
แกลบทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่ภายนอก ได้จากสีข้าว เป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน และซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกา เมื่อพิจารณาแกลบให้ชัดขึ้นโดยนำมาส่องที่กล้องจุลทรรศน์ จะมีลักษณะผิวเป็นร่องเรียงกัน อีกทั้งผิวแกลบยังมีความพรุนมาก

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของแกลบ กำลังขยาย 1x1 เท่า
ที่มา : Park et. al, (2003)



ภาพที่ 2.2 พื้นผิวแกลบที่มีลักษณะเป็นร่องเรียงกัน กำลังขยาย 80 เท่า
ที่มา : Park et. al, (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 พื้นผิวของแกลบที่มีความพรุนมากกำลังขยาย 200 เท่า
ที่มา : Jauberthie et. al,(2003)

แกลบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ แสดงในตารางที่ 2.1 และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและไม่นำความร้อน แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่เป็นอินทรีย์ที่พบในแกลบ

สารอินทรีย์	น้ำหนัก (Wt%)
Cellulose	43.30
Lignin	22.00
D - Xylose	17.52
L - Arabinose	6.53
Methyl glucoronic acid	6.53
D - galactose	2.37

ที่มา : Park et. al, (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ (โลหะออกไซด์) ที่พบในแกลบ

สารอินทรีย์	น้ำหนัก (Wt%)
Cellulose	43.30
Lignin	22.00
D - Xylose	17.52
L - Arabinose	6.53
Methyl glucoronic acid	6.53
D - galactose	2.37

ที่มา : Park et. al, (2003)

แกลบเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตร ที่ได้จากกระบวนการสีข้าว ในปีหนึ่งๆ ที่ปริมาณแกลบสูงถึง 5,878.14 พันตัน จากการสำรวจ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี 2540 นั้น คือ ถ้ามีการสีข้าว 1 ตัน ตะมีแกลบออกมาประมาณ 220 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 22 สำหรับประเทศไทยมีการประเมินได้ว่าแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4 ถึง 4.6 ล้านตัน (สมศักดิ์,2545)

2.2 สารแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารที่สะสมอยู่ในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) ถือเป็นรงควัตถุใน กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ของพืช ในธรรมชาติจะพบวาแคโรทีนอยด์จะอยู่ รวมกับคลอโรฟิลล์ เพื่อเพิ่มความเสถียร (Bauernfeind, 1981) ในรูป pigment-protein complex ภายในคลอโรพลาสต์ โดย เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 40 อะตอม สูตรโครงสร้างพื้นฐานของแคโรทีนอยด์ จัดเป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์พีน (terpene group) เกิด จากหมู่ไอโซพรีน 8 หน่วย ซึ่งเป็นสารประกอบอัลคีน (alkene) ที่มีพันธะคู่จำนวนมาก (polyene) ในโมเลกุลมาเรียงต่อกันเป็นสายยาว มีลักษณะที่สำคัญ คือ 2 พันธะคู่จะถูกแบ่งโดยพันธะเดี่ยว และมีการเชื่อมต่อกับหมู่เมทิล โดยการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีนในโครงสร้างโมเลกุลมี 2 แบบ คือ แบบหัวโมเลกุลต่อท้ายโมเลกุล (head to tail) และท้ายโมเลกุลต่อท้ายโมเลกุล (tail to tail) ซึ่งการเชื่อมต่อระหว่างหมู่ไอโซพรีนของแบบที่ 2 จะพบที่บริเวณส่วนกลางของในโครงสร้างโมเลกุลแคโรทีนอยด์ (Gross, 1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้โครงสร้างโมเลกุลของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ยังประกอบด้วยวงแหวนที่มีคาร์บอนอยู่ 5อะตอม หรือ 6 อะตอม (ส่วนใหญ่พบ 6 อะตอม) เป็นแบบวงแหวน (cyclic) โดยต่ออยู่ที่ปลายของโครงสร้างด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านของโครงสร้าง ตัวอย่างเช่นบีตาแคโรทีน อัลฟาแคโรทีน ไวโอเลริทริน (violerythrin) และอาจมีอนุพันธุ์อื่น ๆ ที่มีออกซิเจนอะตอมมาเกาะอยู่ด้วย ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) คีโต (keto) อีพอกซี (epoxy) เมทอกซี (methoxy) หรือหมู่กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic group) เช่น ในลูเทอีน (lutein) เป็นต้น (Britton,1995)

ลักษณะการเชื่อมต่อกันของหมู่ไอโซพรีน ทำให้เกิดการสมมาตรของโครงสร้างโมเลกุล ของแคโรทีนอยด์และพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุลเกิดการหมุน หรือเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะ (rotation) ในโครงสร้างได้ (Handelman,1996) ทำให้สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถ เปลี่ยนแปลงรูปแบบ (geometric) ได้หลายไอโซเมอร์ (isomer) คือ Z –E isomer โดย Z isomer ทั้ง ในรูปแบบ cis from และ trans from จะมีความคงตัวสูง เช่น บีตาแคโรทีน ในธรรมชาติจะพบรูป trans ประมาณร้อยละ 90

2.2.1 การจำแนกสารกลุ่มแคโรทีนอยด์

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามโครงสร้างทางเคมี ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ (Goodwin,1980) ดังนี้ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน (Hydrocarboncarotene) เป็นกลุ่มที่โครงสร้างภายในโมเลกุลของแคโรทีนประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจนอะตอมเท่านั้น เช่น บีตาแคโรทีน ลูเทอิน และไลโคพีน เป็นตน

กลุ่มออกซิจิเนเตดแซนโทฟิลล์ (Oxygenated xanthophylls) เป็นกลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ ที่มีหมู่อนุพันธ์ที่ประกอบด้วยออกซิเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล ได้แก่ แซนโทฟิลล์ เช่น ซีแซนทีน (zeaxanthin) ที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของไฮดรอกซิล และ สไปพิลโลแซนทิน (spipilloxanthin) เป็นตน

นอกจากลักษณะโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ทั้ง 2 กลุ่มจะแตกต่างกันแล้วจะเห็นได้ว่ากลุ่มออกซิจิเนเตดแซนโทฟิลล์มีความเป็นขั้ว (polar) มากกว่ากลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน จากคุณสมบัตินี้จึงใช้ตัวละลายในการแยกสารแคโรทีนอยดทั้ง 2 กลุ่มออกจากกัน

2.3 ผลิตภัณฑ์บีตาแคโรทีน

บีตาแคโรทีน ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีหลายรูปแบบเพื่อสนองความต้องการของ ผู้บริโภคที่ต้องการทดแทนสารอาหารที่ขาดไปโดยการใช้สารบีตาแคโรทีนในการเสริมให้สุขภาพ ร่างกายให้สมบูรณ์แข็งแรง ในปัจจุบันมีการผลิตแคโรทีนอยด์ให้เหมาะต่อการใช้งานไม่ว่าจะเป็น ทางด้านอุตสาหกรรมอาหารหรือยาโดย มีรูปแบบหลัก อยู่ 3 แบบดังนี้ (BASF, 2001)

2.3.1 บีตาแคโรทีนที่อยู่ในรูปน้ำมัน

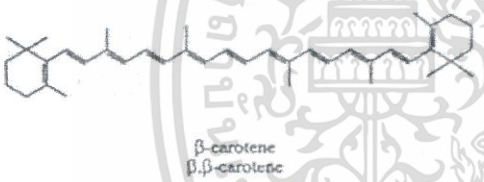
บีตาแคโรทีนในน้ำมัน (Betacarotene in vegetable oils) คือ ผลิตภัณฑ์ของบีตาแคโรทีนที่กระจายตัวอยู่ในน้ำมันซึ่งปกติเป็นน้ำมันพืช มีการเติมสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) หรืออาจไม่เติมก็ได้ การบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ก่อนปิดผนึกจะต้องมีการแทนที่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ผลิตภัณฑ์บีตาแคโรทีนในรูปของน้ำมันโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลแดงจนถึงสีน้ำตาลเข้มสามารถละลายได้เฉพาะในน้ำมันเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีตาแคโรทีนที่อยู่ในรูปน้ำมันส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจำพวกที่มีส่วนประกอบของไขมันหรือน้ำมัน โดยใช้เป็นสารให้สีเหลือง หรือส้ม ผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้ได้แก่ มาร์การีน (magarine) ชีส (cheese) ไอศกรีม (ice cream) ซุป (soup) และในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

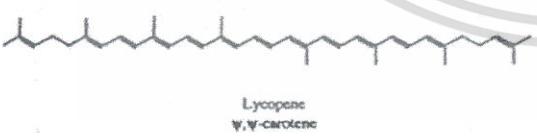
2.4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

แคโรทีนอยด์พบมากกว่า 600 ชนิด มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 40 คาร์บอน มีหน่วยย่อยที่เป็น isoprene 8 หน่วย แคโรทีนอยด์มีหลากหลายชนิดในธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อองค์ประกอบด้วย เช่น ไลโคพีน จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปในพืชแต่ละชนิด บีตาแคโรทีนที่เป็นที่รู้จักกันดีจะมีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอ เนื่องจากมีโครงสร้างเหมือน วิตามินเอ 2 โมเลกุลต่อกัน โดยที่หัว และท้ายของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน จะมี β-ionone ring จับอยู่ แคโรทีนอยด์ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอมีหลายชนิด เช่น บีตาแคโรทีน แอลฟาแคโรทีน แกมมาแคโรทีน และ บีตาคริปโตแซนทีน (Ronald และ Eitenmiller, 1999) โครงสร้างของบีตาแคโรทีน แอลฟาแคโรทีน ไลโคพีน และ วิตามินเอ แสดงดังภาพที่ 1-4 คุณสมบัติของแคโรทีนอยด์แสดงดังตารางที่ 4

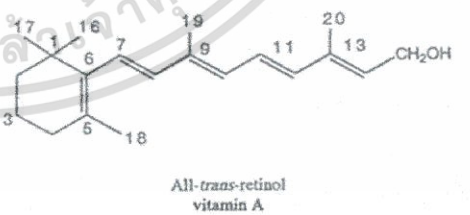


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของบีตาแคโรทีน
ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของแอลฟาแคโรทีน
ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของไลโคพีน
ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของวิตามินเอ
ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์	Molar Mass	สูตรโครงสร้าง	การละลาย	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	ลักษณะผลึก
Provitamin A Carotenoids					
β-carotene	536.88	$C_{40}H_{56}$	Soluble in CS2, benzene,chlorofor Freely soluble in CS2, chloroform;	183	Red rhombic square leaflets
α-carotene	536.88	$C_{40}H_{56}$	soluble in ether, benzene Somewhat less soluble than β-carotene	187.5	Deep purple prisms
γ-carotene	536.88	$C_{40}H_{56}$	Soluble in chloroform, benzene; insoluble in methanol, ethanol	152-153.5 (synthetic) 177.5 (natural)	Red plates (synthetic) Deep-red prisms (natural)
Other Carotenoids Lycopene	536.88	$C_{40}H_{56}$		172-173	Deep red needles

ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (*1999*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ประโยชน์ของสารแคโรทีนอยด์

2.5.1. เป็นสารสี

เนื่องจากโครงสร้างของแคโรทีนอยด์มี conjugated double bonds เรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophore) ทำให้แคโรทีนอยด์แต่ละชนิดดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันจึงมีผลต่อสีที่ปรากฏของผลไม้ที่มีสารแคโรทีเป็นส่วนประกอบ โดยสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์จะถูก นำไปใช้เป็นสีผสมอาหาร ตัวอย่างเช่น บีตาแคโรทีน แซนโทฟีลล์ และแคนทาแซนทิน (canthaxanthin) ในสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้สารทั้ง 4 ชนิดนี้ผสมในอาหารได้ (Ball, 1992) ซึ่งสารในกลุ่มแคโรทนอยด์ให้สีเหลือง-ส้ม และส้ม-แดง แก่ผลิตภัณฑ์อาหาร

ลักษณะของแคโรทีนอยดที่ใช้เป็นสีผสมอาหารในรูปละลายในน้ำมัน (Bauernfeind, 1981) ที่ผลิตจากเซลล์ยีสต์ Cryptococcus albidus สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนย มาการีน และ ผลิตภัณฑ์ขนมอบเป็นต้น หรืออาจอยู่ในรูปอิมัลชัน เช่น ในไอศกรีม และเครื่องดื่มชนิดต่างๆ

2.5.2. เป็นสารต้านการออกซิเดชัน (Antioxidation)

สารต้านการออกซิเดชัน หมายถึง สารที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยในแคโรทีนอยด์สามารถยับยั้งปฏิกิริยาทางเคมี (Handelman, 1996) เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเจน อะตอมเดี่ยว (singlet oxygen) เนื่องจากแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลที่สามารถจับกับ ออกซิเจนอะตอมเดี่ยวได้ เช่น ในไลโคพีน มีพันธะคู่อยู่ 11 ตำแหน่ง และบีตาแคโรทีนมีตำแหน่ง พันธะคู่อยู่ 9 ตำแหน่ง เป็นต้น อีกทั้งยังป้องกันสารเคมีและอนุมูลอิสระที่จะส่งผลเสียต่อร่างกาย ในกระบวนการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ชนิดไม่อิ่มตัวรวมถึงสารอื่นที่ไวต่อการ เกิดออกซิเดชัน ซึ่งมีกลไกการเกิด 3 ขั้นตอน (Madhavi et al, 1996) ดังนี้

2.5.2.1. กระบวนการเริ่มต้น(Initiation)

เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ(free radical) $R^{\bullet}$ (1)

2.5.2.2 กระบวนการแพรขยาย (Propagation)

$R\bullet + O2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$ (2)

$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet}$ (3a)

$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROORH^{\bullet}$ (3b)

3. กระบวนการสิ้นสุด (Termination)

$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow$ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ (4)

ในกระบวนการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เป็นการเริ่มต้นของความผิดปกติภายในร่างกาย โดยเมื่อเกิดอนุมูลอิสระขึ้น (R•) จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน แล้วได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปอนุมูลเพอร์ออกซิล (ROO•) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการแพร่ขยายของปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่จะเข้าไปทำลายกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวภายในร่างกาย ซึ่งปฏิกิริยาลูกโซนี้ สามารถถูกยับยั้งได้โดยการเติมสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ เช่น บีตาแคโรทีน วิตามินอีและ สารประกอบฟีนอล เป็นตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3. เป็นสารโปรวิตามินเอ

จากการศึกษาสารแคโรทีนอยด์ในปัจจุบัน พบว่าแคโรทีนอยด์มีมากกว่า 600 ชนิด แต่มีเพียง 50 ชนิดเท่านั้น ที่มีสมบัติเป็นโปรวิตามินเอ (Farombi, 1999) โดยบีตาแคโรทีนเป็น แคโรทีนอยด์ที่ใน 1 โมเลกุลสามารถเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอได้ถึง 2 โมเลกุล ซึ่งจะมีกิจกรรมของวิตามินเอสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสารแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.4 แสดงกิจกรรมของวิตามินเอของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์

สารแคโรทีนอยด์	Activity (%)
all-trans-β-carotene	100
9-cis-β-carotene	38
13- cis-β-carotene	53
all-trans-α-carotene	53
9-cis-α-carotene	13
13-cis-α-carotene	16
all-trans-cryptoxanthin	57
9-cis-cryptoxanthin	27
15-cis-cryptoxanthin	42
β-carotene 5,6-epoxide	21
β-carotene 5,8-epoxide	80
γ-carotene	42-50
β-zeacarotene	20-40

ที่มา : Crawley, 1993

2.6 ประโยชน์ของโปรวิตามินเอต่อระบบร่างกาย มีดังนี้

2.6.1 ด้านการมองเห็น

โปรวิตามินเอเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเปลี่ยนไปเป็นสารสำคัญที่เรียกว่า คือ เรตินัล (retinal) ซึ่งเรตินัลเป็นส่วนประกอบสำคัญของจอประสาทตา(retina) โดยเป็นสารไกลโคโปรตีน(glycoprotein) ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์รูปแท่ง (rod cells) สำหรับการเห็นภาพขาวดำในแสงสว่างและเป็นส่วนประกอบของไอโอดอปซิน (iodopsin) ที่อยู่ในเซลล์รูปกรวย (cone cells) สำหรับการเห็นภาพสีบนจอประสาทตา จากความสามารถนี้จึงทำให้บีตาแคโรทีน ช่วยในการป้องกันความผิดปกติทางสายตา เช่น อาการตาบอดกลางคืน (night blind illness) หรือทางการแพทย์เรียกว่า Xeropthalmia ซึ่งมีสาเหตุมาจากการขาดวิตามินเอ โดยจะแสดงอาการ คือกระจกตาเป็นแผลเยื่อบุตาขาวแห้งมีรอยย่นที่เรียกว่าเกร็ดกระดี่เป็นต้น (ศิริวรรณ,2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ด้านการเจริญเติบโตของกระดูกและเนื้อเยื่อบุผิว

สารโปรวิตามินเอในรูปของกรดเรติโนอิก (retinoic acid) ในร่างกายจะทำงานร่วมกับวิตามินดี ในการสร้างเสริมความแข็งแรงของกระดูก โดยกรดเรติโนอิกจะช่วยในการควบคุมเซลล์ออสทีโอคลาสต์ (osteoclast) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างของกระดูกและฟันในร่างกายให้มีการเจริญเติบโตอย่างเป็นปกติ ส่วนสารโปรวิตามินเอในรูปเรตินอล (retinol) จะทำหน้าที่ช่วยควบคุมรูปร่างและความแข็งแรงให้แก่เยื่อบุผิวภายในเซลล์ นอกจากนี้การรับประทานสารที่มีโปรวิตามินเอเข้าไปยังสามารถป้องกันโรคทางผิวหนัง ในลักษณะความผิดปกติจากการเพิ่มจำนวนของเซลล์ชั้นผิว การเกิดผิวลักษณะแข็งหรือแห้ง จนถึงเกิดการหลุดลอก รวมถึงในส่วนของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่เกิดจากภูมิคุ้มกันของร่างกายต่ำลง การอักเสบหรือติดเชื้อได้ง่ายตลอดจนความผิดปกติของเนื้อเยื่อในระบบทางเดินอาหารและระบบทางเดินหายใจ (อรชุน, 2539)

2.6.3 ด้านระบบสืบพันธุ์

โปรวิตามินเอเมื่อถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของวิตามินเอ ในเพศชายจะมีบทบาทในการเปลี่ยนสภาพของเซลล์เริ่มต้นเพื่อใช้ในการสร้างอสุจิ โดยหากได้รับวิตามินเอน้อยจะส่งผลทำให้เยื่อบุผิวต่อมลูกหมากและถุงเก็บน้ำอสุจิเกิดการเปลี่ยนแปลงผิดปกติ จนถึงการสร้างอสุจิจากเจอมินัลอิพิทีเลียม (germinal epithilium) ลดลงรวมทั้งส่งผลต่อการพัฒนาและการเจริญเติบโตของตัวอ่อนให้เป็นไปอย่างปกติในหญิงที่กำลังตั้งครรภ์ในเพศหญิงจะแสดงอาการบวมที่บริเวณชั้นใต้ผิวหนังภายในเซลล์ของท่อรังไข่ มดลูกรวมถึงช่องคลอด นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหลุดลอกของเยื่อบุผิวมดลูก ซึ่งกระทบต่อการเจริญของทารกและสายรกในระหว่างตั้งครรภ์ (อรชุน, 2539)

2.6.4 ป้องกันโรคมะเร็ง

สารโปรวิตามินเอเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและมีความสามารถในการจับกับออกซิเจนเดี่ยว โดยอนุมูลอิสระคือโมเลกุลที่ขาดอิเลคตรอนไปหนึ่งอิเลคตรอนทำให้สารดังกล่าวมีความไวต่อปฏิกิริยาทางเคมี และจะทำ การแย่งอิเลคตรอนจากโมเลกุลอื่น เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ จนทำให้ความสมดุลภายในร่างกายสูญเสียไป โดยอนุมูลอิสระจะเข้าไปทำลายสารประกอบจำพวกไขมัน ที่เป็นส่วนประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ สารจำพวกโปรตีนซึ่งเป็นโครงสร้างของร่างกายรวมถึงเอนไซม์ นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุทำให้ปฏิกิริยาขนาดเล็กที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตภายในเซลล์ผิดปกติ และก่อให้เกิดความผิดปกติของดีเอ็นเอในหน่วยพันธุกรรม สาเหตุดังกล่าวล้วนเป็นจุดเริ่มต้นของโรคมะเร็ง ในการทดลอง พบว่า โปรวิตามินเอ เช่น บีตาแคโรทีน มีความสามารถในการให้อิเลคตรอนอิสระแก่อนุมูลอิสระแล้วเสื่อมสลายไปโดยไม่เกิดอันตรายต่อร่างกาย (Madhavi *et al.*, 1996) และจากการศึกษาเกี่ยวกับโรคมะเร็งในผู้รับประทานวิตามินเอสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งในช่องปาก มะเร็งกระเพาะอาหาร รวมถึงมะเร็งปอด โดยพบว่าในการทดลองให้ปริมาณบีตาแคโรทีนแก่กลุ่มคนที่เป็นโรคมะเร็งและคนที่สูบบุหรี่จัดเป็นประจำ พบว่าปริมาณบีตาแคโรทีนในเลือดต่ำจะกว่ากลุ่มคนที่ไม่เป็นโรคมะเร็ง (อรชุน, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีปัจจัยดังนี้

2.7.1 ออกซิเจน

ออกซิเจนเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบทางตรง (direct oxidation) เกิดขึ้นเมื่อแคโรทีนอยด์สัมผัสกับอากาศ ตำแหน่งพันธะคู่ในโครงสร้างของโมเลกุลจะไปจับกับออกซิเจนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิลและสารระเหยอื่นๆ โดยอัตราการสูญเสียแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนแล้ว ความเข้มของแสง อุณหภูมิและความร้อน ก็เป็นปัจจัยร่วมในการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Crawley, 1993) การป้องกันการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากอากาศ สามารถกระทำได้โดยการเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (นิธิยา, 2548) เช่น BHA (Butylated hydroxyanisole) BHT (Butylated Hydroxytoluene) TBHQ (Tertiary ButylHydroquinone) และ PG (propyl gallate) เป็นต้น และการทำไฮโดรจิเนชัน คือ กระบวนการเติมไฮโดรเจนให้กับตำแหน่งพันธะคู่ภายในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เพื่อเพิ่มความคงตัวและลดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนลง อีกวิธีคือการป้องกันการเข้าไปสัมผัสอากาศ เช่น การใช้บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุก๊าซเฉื่อย การเก็บรักษาภายในระบบสุญญากาศ และการใช้น้ำมันเคลือบที่ผิวผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (Bauernfeind, 1981)

2.7.2 กรดไขมันชนิดไมอิ่มตัว

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบแบบทางอ้อม (indirect oxidation) เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถรวมตัวกับออกซิเจน และทำให้แคโรทีนอยด์ถูกออกซิไดซ์ไปด้วย โดยสามารถแก้ไขได้จากการใช้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวในการผสมกับสารแคโรทีนอยด์ (นิธิยา, 2548)

2.7.3 อิออนของโลหะ

หากในผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์ประกอบด้วยออนของโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย พบว่าการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ยิ่งรวดเร็วขึ้น เช่นในมะเขือเทศ พบว่าหากมีโลหะทองแดง ภายในส่วนประกอบ จะมีการเสื่อมสลายของไลโคพีนจะเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.5 เท่า เนื่องจากโลหะทองแดงเป็นตัวเร่งการเกิดอนุมูลอิสระได้อย่างดี (นิธิยา, 2548)

2.7.4 แสงสว่าง

ปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากแสงสว่างเป็นตัวเร่งมีปริมาณออกซิเจนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องโดยจะสามารถสังเกตจาก การเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติ ทั้งนี้สามารถแก้ไขได้โดยการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่ทึบแสง (Morais *et al.*, 2001)

2.7.5 เอนไซม์

การเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากเอนไซม์ (ปราณี, 2543) เป็นผลมาจากภายในเซลล์แคโรทีนอยด์จะอยู่ในรูปซึ่งก่อพันธะเชิงซ้อนอยู่กับโมเลกุลของโปรตีน (Pigmentprotein complex) โดยเอนไซม์หลักที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันมีอยู่ 3 ชนิดคือเปอร์ออกซิเดส(peroxidase) หรือ POD เป็นเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแคโรทีนอยด์ทั้ง ทางตรงและทางอ้อม ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอนไซม์นี้จะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอากาศทำให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาแคโรทีนอยด์ ทำ ให้แคโรทีนอยด์ลดลง และในเอนไซม์ไลโปเปอร์ออกซิเดส (lipoperoxidase) เอนไซม์ตัวนี้จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสลายของสารแคโรทีนอยด์ ซึ่งเกิดต่อเนื่องมาจากสารเปอร์ออกไซด์ ที่ได้จากการออกซิเดชันโดยอาศัยเอนไซม์ไลปอกซิเดส (lipoxidase) (นิธิยา, 2548)

2.7.6 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่ช่วยในกิจกรรมของเอนไซม์ โดยพบว่า หากมีการลดปริมาณน้ำลงจะทำให้เอนไซม์ทำงานได้ลดลง เนื่องจากสารตั้งต้นสามารถเคลื่อนที่ได้น้อย และไม่สามารถแพร่ไปยังตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้หากกำจัดน้ำออกไปหมดจะทำให้ผิวนอกของตัวอย่างสัมผัสกับอากาศโดยตรงทำให้แคโรทีนอยด์เกิดออกซิเดชันด้วยอากาศมากขึ้น (Bauernfeind, 1981)

2.8 ความคงตัวของแคโรทีนอยด์

ปัจจัยที่พบว่ามีผลต่อความคงตัวของแคโรทีนอยด์มีหลากหลาย คือ (Ronald และ Eitenmiller, 1999)

2.8.1 สิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนสารประกอบจากรูป trans isomer ไปเป็น cis-isomer ได้ เช่น แสง กรด โลหะหนัก เอ็นไซม์ไลพอกซีจีเนส และความร้อนจากกระบวนการผลิต

2.8.2 แคโรทีนอยด์จะเกิดออกซิเดชั่นได้เนื่องจากปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชั่นของไขมัน ซึ่งจะมีผลให้เกิดการสูญเสียวิตามินเออย่างรวดเร็ว ซึ่งปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชั่นเกี่ยวข้องกับจำนวนพันธะคู่ขององค์ประกอบของสารนั้นด้วย

2.8.3 แคโรทีนอยด์อาจเกิดความไม่คงตัวเนื่องจากองค์ประกอบของอาหารซึ่งการแยกองค์ประกอบบางส่วนออกจากอาหาร จะเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ไลพอกซีจีเนสซึ่งทำลายแคโรทีนอยด์ได้

2.8.4 การลวกผลิตภัณฑ์พืชก่อนการแช่แข็ง เพื่อเป็นการทำลายเอ็นไซม์ไลพอกซีจีเนสและเป็นการไล่ออกซิเจนออกจากเนื้อเยื่อ จะช่วยป้องกันการเสื่อมเสียได้

2.8.5 การทำแห้งโดยใช้อากาศ และการทำแห้งโดยวิธีระเหิดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ ดังนั้นระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์เหล่านี้ควรบรรจุโดยเติมก๊าซเฉื่อย หรือทำระบบสุญญากาศ เป็นต้น

2.8.6 แคโรทีนอยด์ จะคงตัวได้ดีกว่าในสภาวะที่เป็นด่าง

ความคงตัวและอายุการเก็บแคโรทีนอยด์ ที่ทำเป็นสีผสมอาหารหรือใช้เป็นแหล่ง วิตามิน ที่มีจำหน่ายในทางการค้ามีดังนี้

β-carotene 15M

แคโรทีนอยด์ชนิดนี้ สามารถละลายได้ในน้ำมัน มีบีตาแคโรทีนเป็นองค์ประกอบอยู่ ร้อยละ 15 ในน้ำมันข้าวโพด มีความไวต่อออกซิเจน แสง ความร้อน และความชื้น สีจะค่อยๆซีดจางลงเมื่อเก็บที่ 60 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บนาน 12 เดือน เมื่อเก็บในสภาวะปิดสนิท ทึบแสง และอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ภายหลังการเปิดใช้งาน ก่อนการปิดฝาเก็บควรพ่นด้วยไนโตรเจน สีชนิดนี้ใช้ได้ดีกับอาหารที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำมัน เช่น มาการีน เนยแข็ง ไอศกรีม ซุป หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (BASF Technical bulletin, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

β-Carotene Emulsion 8010

ผลิตภัณฑ์นี้มีองค์ประกอบของบีตาแคโรทีน ร้อยละ 1 มีอายุการเก็บ 6 เดือน ในสภาวะปิดสนิท แห้ง มืด และเย็น ควรเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ใช้ได้กับอาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำ เช่น เครื่องดื่ม อาหารแช่แข็ง ไส้ขนมต่างๆ เป็นต้น (Colorcon Technical bulletin, 2004)

β-carotene 20% DC

แคโรทีนอยด์ชนิดนี้ มีลักษณะเป็นผงประกอบด้วยสารบีตาแคโรทีนร้อยละ 20 ไวต่อออกซิเจน แสง ความร้อน และความชื้น มีอายุการเก็บ 3 ปี ในสภาวะอุณหภูมิการเก็บสูงสุดไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส และบรรจุภัณฑ์ต้องป้องกันแสงได้ สามารถนำไปทำเป็นเม็ด หรือ แคปซูลได้ (BASF Technical bulletin, 2001)

2.9 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

การเลือกใช้ตัวทำละลายต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่นความมีขั้วของโมเลกุล อัตราการระเหย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ และความสามารถในการละลายสารที่ต้องการ เป็นต้น ความมีขั้วของตัวทำละลายพิจารณาจากค่า electric dipole ในโมเลกุล ซึ่งเกิดจากค่าความแตกต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี้ ออกซิเจนและไนโตรเจนอะตอม จะทำหน้าที่เหมือนเป็นขั้วลบในโมเลกุล เพื่อจะใช้ยึดหรือจับกับโมเลกุลของคาร์บอนหรือไฮโดรเจน (Rydberg et al., 1992)

ความสามารถในการละลายของสาร จะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวมาจับกันของโมเลกุล โดยโมเลกุลของของเหลวหรือของแข็ง จะอยู่ใกล้ชิดหรือติดกัน จากแรงยึดเหนี่ยวภายในแต่โมเลกุลเอง และแรงดึงดูดภายในโมเลกุลของตัวทำละลาย จะไม่สามารถสู้แรงดึงดูดภายในของตัวถูกละลายได้ ตัวทำละลายจึงไปแทรกอยู่ระหว่างและรอบๆ โมเลกุลของตัวถูกละลาย และขณะเดียวกันโมเลกุลของตัวถูกละลาย จะไปแยกโมเลกุลของตัวทำละลายออกจากกันด้วย ดังนั้น ความสามารถในการจับกันของโมเลกุลของทั้งตัวทำละลาย และตัวถูกละลาย ควรใกล้เคียงกัน จึงจะสามารถละลายเข้ากันได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าโมเลกุลของทั้งตัวทำละลายและตัวถูกละลายมีความสามารถในการจับกันของโมเลกุลที่แตกต่างกันมาก โมเลกุลที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดสูงก็จะจับตัวกันเอง และไม่สามารถละลายเข้ากันได้ ตัวอย่างเช่น น้ำและน้ำมันไม่สามารถละลายเข้ากันได้ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำ จะจับกันเองอย่างเหนียวแน่น โดยไม่ยอมให้น้ำมันที่มีแรงดึงดูดต่ำกว่าแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของน้ำได้ (Burke, 1984) คุณสมบัติบางอย่างของตัวทำละลายบางชนิด แสดงในตารางที่ 5

จากทฤษฎีเกี่ยวกับ ความสามารถในการเป็นตัวทำละลายที่ดี พบว่าเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ มีค่า electric dipole ต่ำ จึงสามารถใช้ได้ดีกับตัวถูกละลายที่มีขั้วต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับตัวถูกละลายที่เป็นน้ำมัน และเฮกเซนยังมีจุดเดือดต่ำ ทำให้สามารถระเหยแยกออกจากตัวถูกละลายได้ง่าย และมีสารตกค้างภายหลังการระเหยที่ต่ำมาก ประมาณร้อยละ 0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย	น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	Dielectric constant[b]	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)
c-Hexane	84.2	2.02	80.74
n-Hexane	86.2	1.88	68.7
n-Octane	114.3	1.95	258.3
Benzene	78.1	2.28	80.1
Toluene	92.1	2.38	110.6
Dichloromethane	89.9	8.9	39.8
Chloroform	119.4	4.9	61.2
Carbon tetrachloride	153.8	2.24	76.5
Chlorobenzene	112.6	5.6	131.7
Carbon disulfide	76.1	2.63	46
Water	18.0	78.4	100.0
Methanol	32.0	32.7	64
Ethanol	46.1	26.6	78.3
Diethyl ether	74.1	4.34	34.6
Acetone	58.1	20.7	56.3
Ethyl acetate	88.1	6.0	77.1
Propylene carbonate	102.1	66.1	240
Nitrobenzene	123.1	34.8	210.9
Acetonitrile	41.1	37.5	81.6

b At 25 องศาเซลเซียส ที่มา: ดัดแปลงจาก Rydberg et al. (1992) และ Boiling Point Fuels (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายได้มีการศึกษาในวัตถุดิบหลายประเภท ยกเว้นน้ำมันปาล์มดิบ ดังนี้ Ghazi (1999) ได้ทำการสกัดบีตาแคโรทีนจากเปลือกส้ม พบว่า สารละลายที่ใช้สกัดที่ให้ปริมาณบีตาแคโรทีนสูงที่สุดคือ สารละลายผสมระหว่างอะซิโตนและเฮกเซน ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร โดยใช้อัตราส่วนสารละลายต่อตัวอย่างเท่ากับ 15:1 โดยปริมาตร และใช้เวลาในการสกัด 15 นาที Kajadphai et al. (1997) ได้ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดแคโรทีนอยด์ เพื่อนำไปวิเคราะห์แคโรทีนอยด์จากน้ำมะเขือเทศกระป๋อง พบว่า สารละลายที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุดในการสกัดบีตาแคโรทีนคือ การใช้สารละลายผสมระหว่าง เอทานอล:เฮกเซน ในอัตราส่วน 4:3 โดยปริมาตร โดยสกัด 2 ครั้ง จะได้ไลโคพีนร้อยละ 96 แอลฟ่าแคโรทีนร้อยละ 102 และบีตาแคโรทีนร้อยละ 93-100 Park et al. (1998) ได้ทำการสกัดแคโรทีนอยด์จาก Chrysanthemum boreale โดยสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 21 ในสัดส่วน 143 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม เป็นเวลา 19 ชั่วโมง พบว่าได้แคโรทีนอยด์ร้อยละ 75 Teixeira และ Rodriguez (1998) สกัดแคโรทีนอยด์จาก Brazilian nectarine (*Prunus persica*) โดยใช้อะซิโตน และแยกอะซิโตนออกด้วยน้ำ จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชั่นด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ในเมทานอล และนำไปทำให้เป็นกลางพบว่าจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์อยู่ 8.9-10.2 mug/g Boehm และ Bitsch (1997) สกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำผลไม้และผักด้วยเฮกเซนหลายๆครั้ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณและ Isomer ของแคโรทีนอยด์ พบว่าแคโรทีนอยด์ที่ได้จากน้ำผลไม้และผักหลายชนิดจะมีปริมาณและ Isomer ของแคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกันออกไป Wu et al. (1996) สกัดสารสีเหลืองจากเปลือกฟักทองโดยใช้สารละลายแล้วนำมากรอง และกลั่นเพื่อนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ จากนั้นนำไปทำให้เข้มข้นด้วยระบบสุญญากาศ พบว่าในสารสกัดจะมีบีตาแคโรทีนอยด์ร้อยละ 16.84 ที่ละลายในน้ำมัน และทำให้ละลายในรูปน้ำได้โดยการผสมอิมัลซิไฟเออร์ลงไป บีตาแคโรทีนอยด์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นสารผสมอาหารได้ Delgado และ Paredas (1997) สกัดแคโรทีนอยด์จากดอกแมรี่โกลด์ ที่เติมเอนไซม์จากเชื้อราชนิดต่างๆ 5 ชนิด เพื่อดูผลของเอนไซม์ที่มีต่อสารสกัดแคโรทีนอยด์ ด้วยสารละลายเฮกเซน พบว่าเอนไซม์ ECONASE-CEP เข้มข้นร้อยละ 0.1 จะให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุด Heidlas et al. (1997) สกัดสีประเภทแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะบีตาแคโรทีน จากวัตถุดิบธรรมชาติที่แห้งและเป็นของแข็ง ด้วยสารละลายเอทิลอะซิเตตและเอทิลอะซิเตตผสมกับ บิวทิวอะซิเตต ในวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันเริ่มต้น ประมาณร้อยละ 3-25 ใช้เวลาในการสกัดหลายชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-125 เซลเซียส พบว่าสีที่สกัดได้มีปริมาณสูงและบริสุทธิ์ Heidlas et al. (1996) สกัดแคโรทีนอยด์ จากวัตถุดิบแห้งตามธรรมชาติ โดยใช้ก๊าซความดันสูง เช่น โพรเพน และโพรเพนผสมกับบิวเทน เป็นสารสกัด วิธีการนี้จะให้สารที่สกัดได้มีแคโรทีนอยด์มีอยู่สูง ซึ่งสามารถใช้เป็นสีผสมอาหารได้ Wilberg และ Rodriguez (1995) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดแคโรทีนอยด์จาก ฝรั่ง มะม่วง และมะละกอ

โดยใช้สารละลายหลายประเภท ได้แก่ เอทานอลผสมกับเฮกเซน ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร หรือผสมอะซิโตน เมทานอล เอทานอล และ เฮกเซนในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า การใช้สารละลาย เอทานอลผสมกับเฮกเซนจะให้ ประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุด Pokorny et al. (1993) สกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมัน rapeseed โดยนำเมล็ด rapeseed ไปอัด กรอง เหวี่ยง และสกัดด้วยสารละลาย ในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร Ihl et al. (1994) สกัดแคโรทีนอยด์จาก green leaves of Swiss Chard โดยใช้สารละลาย N,N-dimethylformamide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

และนำไปหาปริมาณเม็ดสีโดยใช้การวัดค่า L* a* b* พบว่าคลอโรฟิลล์จะมีค่า correlation coefficient (R^2) = 0.9264 และแคโรทีนอยด์จะมีค่า R^2= 0.9264 Abou และคณะ (1992) สกัดแคโรทีนอยด์จากดอก calendula โดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นสีผสมเครื่องดื่ม พบว่าอะซิโตนร้อยละ 95 มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุด รองลงมาตามลำดับคือ เฮกเซนร้อยละ 95 และเอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลาย starch จะเป็นตัวกลางที่ที่สุด ที่ทำให้แคโรทีนอยด์กระจายตัวเมื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร Vollbrecht et al. (1998) ข้อถือสิทธิ์คือ กระบวนการสกัดสีแคโรทีนอยด์ จากวัตถุดิบธรรมชาติ โดยใช้แก๊สที่อัดจนเป็นของเหลว เช่น โพรเพน และหรือ บิวเทน แต่ในขั้นตอนต้องมีการทำให้วัตถุดิบที่ต้องการสกัดแห้งก่อน ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้ได้สีแคโรทีนอยด์ที่มีความเข้มข้นสูง Union (1957) สกัดน้ำมันโบเลโกะหรือน้ำมันไอซาโนะ โดยใช้ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีการเติมคลอรีนหรือออกซิเจน ที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส Ig (1935) รายงานว่าสารบางชนิดที่สามารถละลายในน้ำมัน เช่น วิตามิน ในเนื้อเยื่อสัตว์ เนื้อเยื่อพืช สามารถแยกออกได้โดยการสกัดด้วยแอลกอออล์ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ หก จนถึง สิบ อะตอม หรืออาจใช้แบบผสมกัน ยกตัวอย่างเช่น ตับที่ผ่านการบดแล้ว จะถูกผสมด้วย ออกธิลแอลกอฮอล์ โนนิลแอลกอฮอล์ หรือเฮกซิลแอลกอฮอล์ และป้องกันออกซิเดชั่นด้วย ไนโตรเจน ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง และขณะสกัดทำความเย็นด้วยน้ำแข็ง ทำการกรองแยกของแข็ง และแยกตัวทำละลายด้วยการระเหยที่ความดันต่ำ และยังมีการเลือกใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำให้แคโรทีนเข้มข้นที่จดสิทธิบัตรโดย Passino (1952)

จากการศึกษาที่ผ่านมา สามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการสกัดนี้ ได้ดังนี้

ข้อดี –สามารถสกัดได้ทั้งวัตถุดิบที่เป็นของเหลวและของแข็ง

- มีตัวทำละลายหลายชนิดให้เลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม

- ใช้ได้ผลดีกับการสกัดสารที่สลายตัวได้ง่ายโดยความร้อน

-สามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้

ข้อจำกัด –ตัวทำละสายบางชนิดมีความเป็นพิษต่อมนุษย์

ทั้งนี้จากการวิจัยของ Amonrat Thanonkaewa, และคณะ (2012) พบว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวจะใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลาย(เฮกเซน)นั้นจะเป็นวิธีการสกัดแบบธรรมดาและมักใช้ในอุตสาหกรรมในการผลิตน้ำมันรำข้าว ทั้งนี้วิธีการสกัดดังกล่าวจะใช้สารละลาย organic ที่มีราคาแพงและบางครั้งก็อาจเป็นพิษ ถึงแม้ว่าวิธีการใช้สารละลายในการสกัดน้ำมันก็ยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ในบางอุตสาหกรรมก็ยังพบกับปัญหาบางประการ อาทิเช่น ปัญหาความปลอดภัยในโรงงาน การระเหยของสารประกอบอินทรีย์สู่บรรยากาศต้นทุนในกระบวนการผลิตสูงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีคุณภาพเนื่องจากการใช้อุณหภูมิในกระบวนการผลิตที่สูงเกินไป (Uquiche et al., 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

148858

2.11 การเก็บรักษาแคโรทีนอยด์

การเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ในที่มืดหรือบริเวณที่ไม่ได้รับแสงแดด ซึ่งจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้ 12 - 36 เดือน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของน้ำมันพืช

มีการศึกษาผลของการเติมสารต้านอนุมูลอิสระต่ออายุการเก็บรักษา และความคงตัวต่อความร้อนของสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยศึกษาในสีผสมอาหารชนิดที่อยู่ในรูปน้ำมัน และชนิดที่อยู่ในรูปอิมัลชัน โดยเปรียบเทียบผลของการเติมสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์สามชนิด ได้แก่ BHA, BHT และ TBHQ กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมสารต้านอนุมูลอิสระ การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีตาแคโรทีนในสีผสมอาหารวิเคราะห์โดยใช้วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี

สีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ในรูปน้ำมันและรูปอิมัลชัน ที่เก็บรักษาในขวดสีชา พ่นแก๊สไนโตรเจนที่ผิวหน้า ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 30±5 และ 5±2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความคงตัวสูงตลอดช่วงเก็บรักษา โดยปริมาณบีตาแคโรทีนในทุกสิ่งทดลองมีปริมาณลดลงน้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเก็บนาน 180 วัน ($p>0.05$) ค่ากรดและค่าเพอร์ออกไซด์ของสีผสมอาหารในรูปน้ำมันมีค่าไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้น ($p>0.05$) และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของสีผสมอาหารในรูปอิมัลชันมีแนวโน้มลดลงจากปริมาณเริ่มต้น

การสลายตัวของบีตาแคโรทีนในสีผสมอาหารที่อยู่ในรูปน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 140.0-160.0 องศาเซลเซียส เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง มีค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a)และค่า z เท่ากับ 67.40-105.94 กิโลจูลต่อโมล และ 32-51 องศาเซลเซียส โดยสีผสมอาหารที่มีความคงตัวจากมากไปหาน้อย คือ สีผสมอาหารที่เติม BHT, TBHQ, BHA และชุดควบคุม ซึ่งจะให้ค่า z เท่ากับ 32.36, 36.63, 39.22 และ 51.02 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การสลายตัวของบีตาแคโรทีนในสีผสมอาหารที่อยู่ในรูปอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 90.0-100.0 องศาเซลเซียส เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง มีค่า E_a และค่า z เท่ากับ 101.07-125.48 กิโลจูลต่อโมล และ 21-26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยสีผสมอาหารที่มีความคงตัวจากมากไปหาน้อย คือ สีผสมอาหารที่เติม BHT, TBHQ, BHAและชุดควบคุม ซึ่งจะให้ค่า z เท่ากับ 20.66, 22.27, 22.32 และ 25.64 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้น การเติม BHT จะช่วยให้บีตาแคโรทีนในสีผสมอาหารทั้งสองชนิดมีความคงตัวดีที่สุด และการพ่นแก๊สไนโตรเจนที่ผิวหน้าจะช่วยให้สีผสมอาหารมีความคงตัวต่อความร้อนมากขึ้น (กฤติกา,2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

ข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา จาก กลุ่มบ้านชาวนาข้าเหนียวดำก่ำพะเยา ตำบลหงส์หิน อำเภอจุน จังหวัดพะเยา

3.1.2 สารเคมี

เฮกเซน (Hexane)

สารมาตรฐานบีตาแคโรทีน (Standard β-carotene) 97%, Fluka, USA

3.2 อุปกรณ์

เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ (Carotenoid Extractor Protocol of Agro-industry, KMITL, 2016)

เครื่องสีข้าว (Rice Mill Machine) : NW 1000 TURBO, Natrawee, Thailand

เครื่องบด (Blender) : DMF - 6B, Daming, China

เครื่อง Ultra Violet - Visible Spectrophotometer : UV1601, Shimadzu, BaraWindsorGroup, Thailand

เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) : 4EKF56CX-4, Vacuubrand, Germary

กระดาษกรอง (Whatman filter paper No 5)

ไมโครปิเปต (micropipette) 0.1 ml.

ไมโครปิเปต (micropipette) 1 ml.

หลอดทดลอง (Test tube)

เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator) : Rotavapor R-215, Buchi, Thailand

เครื่องซีลสุญญากาศ (Vacuum seal) : CPS99, Champ AMCI., Thailand

ขวดสีชา (Reagent bottle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas) : Thonburiwattana , Thailand

ตู้แช่แข็ง (Freezers) : SNH-0303, Sanden Intercool, Thailand

3.3 ขั้นตอนและวิธีทำการทดลอง

3.3.1 การทำความสะอาดวัตถุดิบ

3.3.1.1 นำข้าวเปลือกไปล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดเศษฝุ่นและสิ่งสกปรกออกจากข้าวเปลือก

3.3.1.2 นำข้าวเปลือกที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปตากให้แห้ง

3.3.1.3 เก็บข้าวเปลือกที่ล้างทำความสะอาดแล้วในกระสอบ เพื่อเอาไปทำการทดลองต่อไป

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.2.1 นำข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วจากข้อ 3.3.1.3 มาทำการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าว รุ่น NW 1000 TURBO จาก เพื่อทำการแยกระหว่าง แกลบ และเมล็ดข้าว

3.3.2.2 นำแกลบจากข้อ 3.3.2.1 มาทำการบดลดขนาดด้วยเครื่องบด blenderให้มีขนาดในช่วง (ระหว่าง 1x1 มิลลิเมตร ถึง 2x2 มิลลิเมตร) และนำไปสกัดเพื่อหาความแตกต่างของขนาดกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้

3.3.2.3 นำแกลบจากข้อ 3.3.3.1 มาบดต่อให้ละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 1x1 มิลลิเมตร)

3.3.2.4 นำแกลบที่ได้จากการสีข้าวจากข้อ 3.3.2.1, 3.3.2.2, 3.3.2.3 เก็บในถุงบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และนำไปแช่ตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -25 c เพื่อใช้ในการสกัดในขั้นตอนต่อไป

3.3.3 การศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีขนาดต่างกัน

3.3.3.1 นำแกลบจากข้อ 3.3.2.4 มาทำการสกัดด้วยเครื่องต้นแบบของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระจอมเกล้าลาดกระบัง โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน แกลบ : เฮกเซน (1 : 50) เป็นเวลา 30 นาที

3.3.3.2 นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 3.3.3.1มาทำให้เข้มข้นโดยใช้วิธีการระเหยตัวทำละลายเฮกเซนออกด้วยเครื่องต้นแบบของคณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.3.3 นำสารสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นจากข้อ 3.3.3.2 มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ

3.3.3.4 นำสารสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นจากข้อ 3.3.3.3 ไปวิเคราะห์ปริมาณสารโดยการวัดค่าดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องUV–Visible Spectrophotometer รุ่น 1601 ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็น blank โดยนำไปหาความเข้มข้นเปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐานของบีตาแคโรทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การศึกษาสภาวะในการสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นโดยเปรียบเทียบจากจำนวนซ้ำที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบ

3.3.4.1 นำแกลบที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.3.3 มาทำการสกัดด้วยเครื่องต้นแบบของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วนแกลบ : เฮกเซน (1 : 50) เป็นเวลา 30 นาที

3.3.4.2 นำแกลบที่สกัดแล้วจากข้อ 3.3.4.1 มาทำการสกัดซ้ำ โดยเปลี่ยนตัวทำละลายใหม่ โดยทำการสกัดเป็นจำนวนซ้ำ 2รอบ, 3รอบ และ 4รอบ

3.3.4.3 นำสารสกัดรวมของแคโรทีนอยด์จากข้อ 3.3.4.2 มาทำความเข้มข้นโดยใช้วิธีการระเหยตัวทำละลายเฮกเซนออกด้วยเครื่องต้นแบบของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.4.4 นำสารสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้น จากข้อ 3.3.4.3 มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ

3.3.4.5 นำสารสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นจากข้อ 3.3.4.4 ไปวิเคราะห์ปริมาณสารโดยการวัดค่าดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องUV = Visible Spectrophotometer รุ่น 1601 ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตรโดยใช้เฮกเซนเป็น blank โดยนำไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานของบีตาแคโรทีน

3.3.5 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของสารสกัดแคโรทีนอยด์

3.3.5.1 ทำการสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบด้วยวิธีการที่ดีที่สุดที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีขนาดต่างกันและขั้นตอนการศึกษาสภาวะในการสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นโดยเปรียบเทียบจากจำนวนซ้ำที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบและนำสารละลายแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ แล้วทำการเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ 3 มิลลิลิตรบรรจุใส่ในขวดสีชาขนาด 5 มิลลิลิตร ในสภาวะสุญญากาศแบบใช้ไนโตรเจนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยทำการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

3.3.5.2 นำสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากข้อ 3.3.5.1 ไปวิเคราะห์ปริมาณสารโดยการวัดค่าดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่อง Ultra Violet – Visible Spectrophotometer รุ่น 1601 ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็น blank โดยนำไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานของบีตาแคโรทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีขนาดต่างกัน

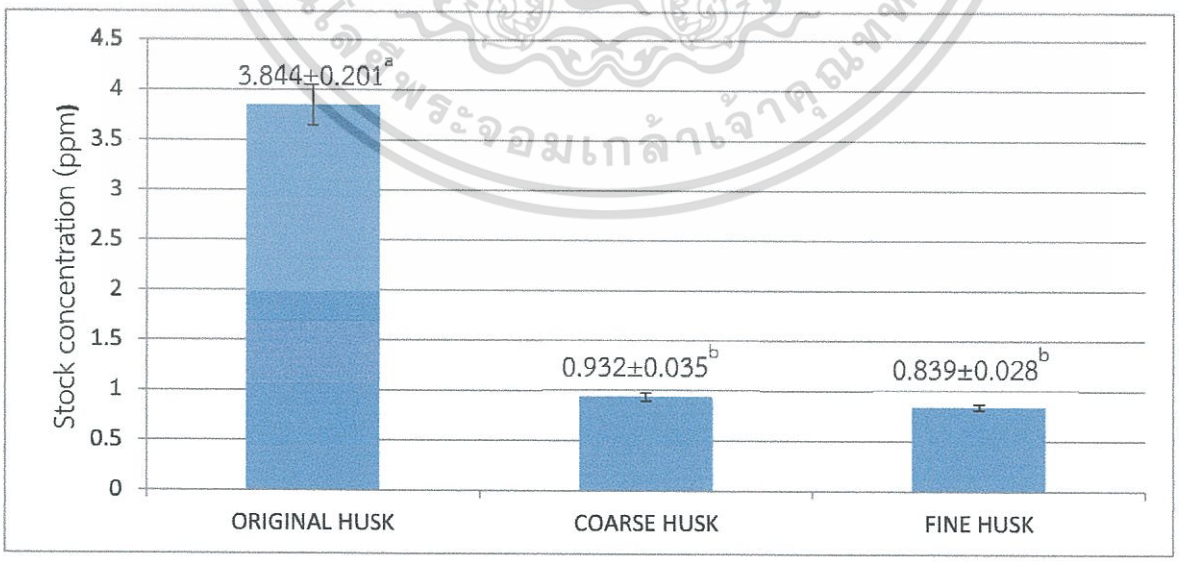
จากการทดลองสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา ที่มีขนาดแตกต่างกันได้แก่ แกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาด แกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบ (ขนาดอยู่ระหว่าง 1x1 มิลลิเมตร ถึง 2x2 มิลลิเมตร) และ แกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 1x1 มิลลิเมตร) ด้วยเฮกเซน เป็นระยะเวลาในการสกัด 30 นาที โดยในการเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จะใช้กราฟของบีตาแคโรทีนมาตรฐานในการเปรียบเทียบ จากการทำการสกัดได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา

ผลิตภัณฑ์	แกลบที่ไม่ผ่านการบด	แกลบบดหยาบ	แกลบบดละเอียด
แคโรทีนอยด์ (ppm)	3.844 ± 0.201^{a}	0.932 ± 0.035^{b}	0.839 ± 0.028^{b}

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าแกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 3.844±0.201 ppm แกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.932±0.035 ppm และแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียดปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.839±0.028 ppm

จากผลการทดลองจะพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีขนาดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.1 จะพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบของข้าวเหนียวดำกำพะเยาที่มีขนาดแตกต่างกัน คือแกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาด แกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบ (ขนาดอยู่ระหว่าง 1x1 มิลลิเมตร ถึง 2x2 มิลลิเมตร) และ แกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 1x1 มิลลิเมตร) โดยในการเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จะใช้กราฟของบีตาแคโรทีนมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบ จะมีแนวโน้มที่มีความแตกต่างกัน โดยแกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด รองลงมาจะเป็นแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบ (ขนาดอยู่ระหว่าง 1x1 มิลลิเมตร ถึง 2x2 มิลลิเมตร) และแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 1x1 มิลลิเมตร) ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากระบวนการบดแกลบด้วยเครื่องบด blender มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ซึ่งในระหว่างกระบวนการบดแกลบด้วยวิธีนี้จะเกิดความร้อนสูง เนื่องจากใบมีดเสียดสีกับแกลบที่มีความแข็งและคม จึงทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ลดลงเนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบและแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียด มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากในกระบวนการบดด้วยเครื่องบด blender นั้น จะได้แกลบบดขนาดหยาบก่อน และจะทำการบดต่ออีกด้วยระยะเวลาอันสั้นเพื่อให้ได้แกลบบดขนาดละเอียด

ถึงแม้ว่าขนาดของแกลบของข้าวเหนียวดำกำพะเยา จะมีผลต่อปริมาณสารละลายแคโรทีนอยด์เนื่องจากแกลบที่ผ่านการบดจะมีพื้นที่ผิวมากกว่า แต่เนื่องจากแคโรทีนอยด์สามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆได้อีกด้วยเช่น แสงแดด ความร้อน และออกซิเจนทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เป็นผลทำให้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์มีปริมาณลดลง (Morais *et al.*, 2001: Crawley, 1993)

4.2 การศึกษาสภาวะในการสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นโดยเปรียบเทียบจากจำนวนซ้ำที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแกลบ

จากที่ได้ทำการทดลองทำการสกัดแคโรทีนอยด์จากวัตถุดิบที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้ด้วยเฮกเซนเป็นระยะเวลาในการสกัด 30 นาที โดยใช้เครื่องสกัดที่สร้างขึ้นจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการสกัด 4 รูปแบบ ดังนี้คือ รูปแบบที่ 1 ทำการสกัด 1 ครั้ง (RD1) รูปแบบที่ 2 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 2 (RD2) รูปแบบที่ 3 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 3 (RD3) และรูปแบบที่ 4 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 4 (RD4) ผลการทดลองแสดงดัง ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2

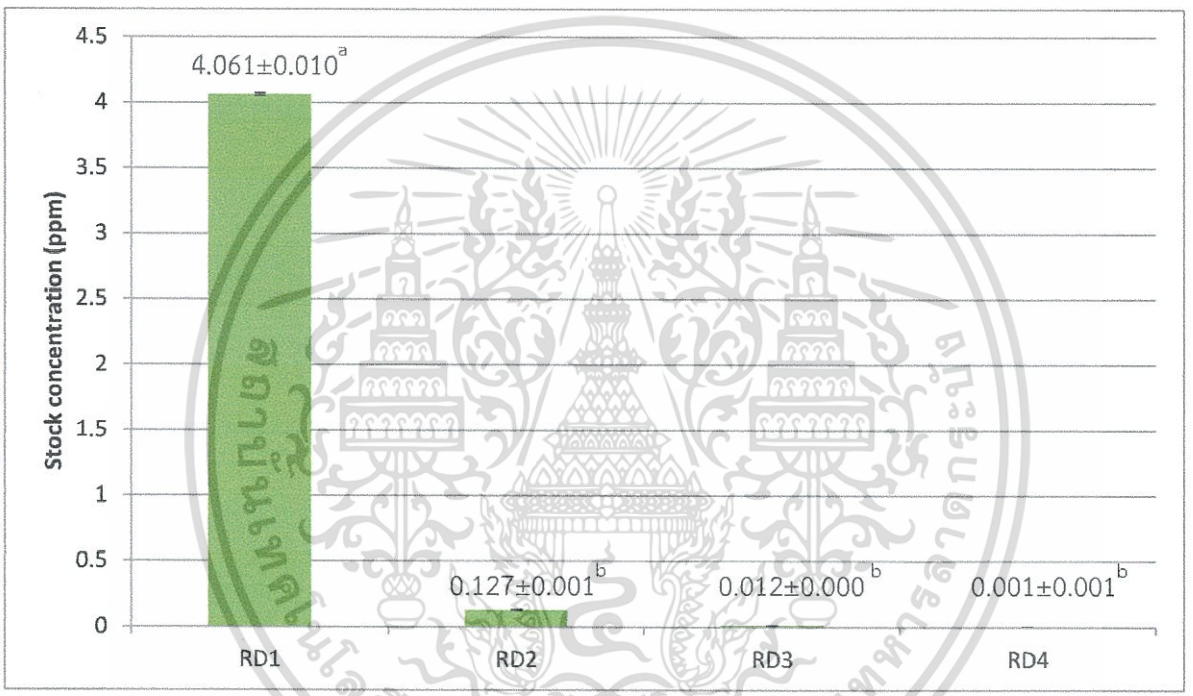
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์จากรูปแบบการสกัดทั้ง 4 รูปแบบ

รูปแบบที่	RD1	RD2	RD3	RD4
แคโรทีนอยด์ (ppm)	4.061 ± 0.010^{a}	0.127 ± 0.001^{b}	0.012 ± 0.000^{b}	0.001 ± 0.001^{b}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าแกลบที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยเฮกเซน จำนวนซ้ำ 1 ซ้ำมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 4.061±0.010 ppm แกลบที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยเฮกเซน จำนวนซ้ำ 2 ซ้ำมีปริมาณแคโรทีนอยด์0.127±0.001 ppm แกลบที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยเฮกเซน จำนวนซ้ำ 3 ซ้ำมีปริมาณแคโรทีนอยด์0.012±0.000 ppm และแกลบที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยเฮกเซน จำนวนซ้ำ 4 ซ้ำมีปริมาณแคโรทีนอยด์0.001±0.001

จากผลการทดลองจะพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่จำนวนการสกัดซ้ำ

จากภาพที่ 4.2 จะพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีวิธีการสกัดแตกต่างกันคือ รูปแบบที่ 1 ทำการสกัด 1 ครั้ง (RD1) รูปแบบที่ 2 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 2 (RD2) รูปแบบที่ 3 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 3 (RD3) และรูปแบบที่ 4 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 4 (RD4) พบว่าการสกัดในรูปแบบที่ 1 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้สูงที่สุด แต่เมื่อมีการสกัดซ้ำครั้งที่ 2 3 และ 4 โดยใช้ตัวทำละลายใหม่พบว่าจะได้แคโรทีนอยด์เพียงเล็กน้อย แสดงว่าเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการสกัดสูงและปริมาณแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในแกลบมีปริมาณน้อย จึงทำให้การสกัดในครั้งแรกมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุดและจะลดลงตามจำนวนการสกัดซ้ำ ซึ่งมีความคล้ายกับเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอื่นเช่น วิธีการสกัดไขมันแบบ Soxhlet (AOAC 1990) ซึ่งวิธีการนี้จะได้ปริมาณสารที่สกัดในซ้ำรอบแรกที่มีปริมาณสูง และจะลดลงตามลำดับของจำนวนการสกัดซ้ำ

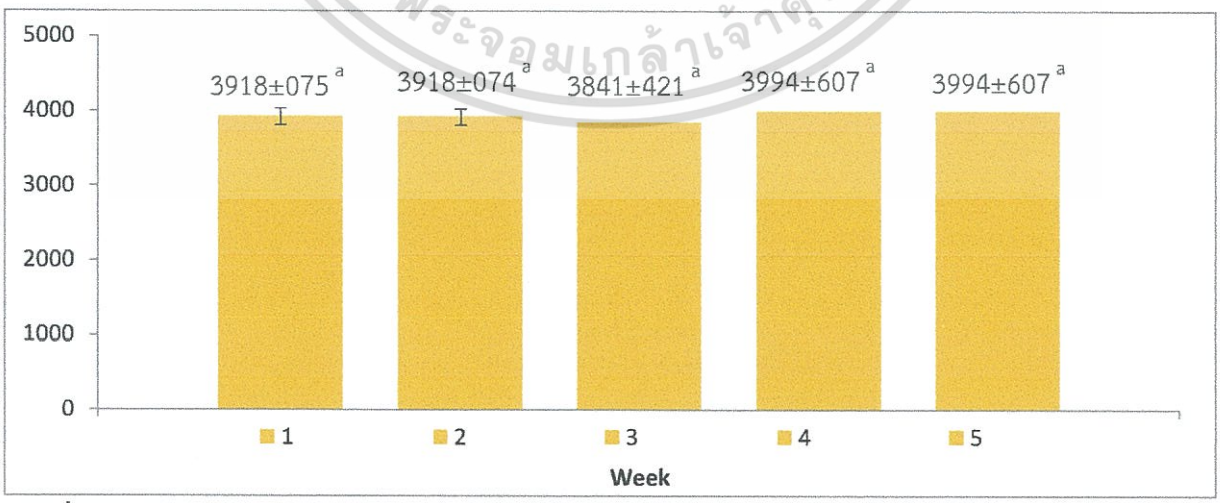
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาของสารสกัดแคโรทีนอยด์

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของสารสกัดแคโรทีนอยด์ทำโดยการเก็บในขวดสีชาปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ 3 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมก๊าซไนโตรเจน เพื่อแทนที่อากาศ จากนั้นปิดฝาขณะที่กำลังเติมก๊าซ เพื่อไม่ให้ อากาศไหลกลับเข้าไปแทนที่ก๊าซไนโตรเจน แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิห้องจากนั้นสุ่มตัวอย่างมาตรวจสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 5 สัปดาห์ และนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์โดยทำการเจือจาง ในอัตราส่วน 1 : 5 เป็นจำนวน 6 ครั้งต่อ 1 ซ้ำการทดลอง แล้วนำสารละลายไปทำการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้ มาคำนวณด้วยกราฟมาตรฐานของบีตาแคโรทีน ซึ่งผลที่ได้ หลังจากทำการตรวจหาอายุการเก็บรักษา เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก ทำการเก็บในสภาวะที่ไม่มีอากาศ และอยู่ในขวดสีชาป้องกันแสงแดด ซึ่งเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งสอดคล้องกับ Morais *et al.* (2001) และสอดคล้องกับ Bauernfeind (1981) ซึ่งกล่าวว่าการป้องกันการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากอากาศ คือการเก็บรักษาภายในระบบสุญญากาศเพื่อป้องกันการเข้าไปสัมผัสกับอากาศ เช่นเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุก๊าซเฉื่อย โดยในสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่สองมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 3918.0747ppm ในสัปดาห์ที่3 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 3841.4215ppm และในสัปดาห์ที่ 4 ถึง สัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 3994.607843 ppm

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์จากอายุการเก็บ

	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์	3918±075 [a]	3918±074 [a]	3841±421 [a]	3994±607 [a]	3994±607 [a]



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์จากอายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาวิจัยเทคนิคการสกัดแคโรทีนอยด์จากข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา ด้วยเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ที่สร้างขึ้นจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ผลการสกัดแคโรทีนอยด์ จากแกลบของข้าวเหนียวดำก่ำพะเยาที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ระดับ คือแกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาด แกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบ (ขนาดอยู่ระหว่าง 1x1 มิลลิเมตร ถึง 2x2 มิลลิเมตร) และ แกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 1x1 มิลลิเมตร) โดยในการเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จะใช้บีตาแคโรทีนมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่าแกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด ตามด้วยแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบ และแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียด ตามลำดับซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากระบวนการบดแกลบด้วยวิธีการเฉือนด้วยใบมีดตัดความเร็วสูง มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ซึ่งในระหว่างกระบวนการบดแกลบด้วยวิธีนี้จะเกิดความร้อนสูงเนื่องจากใบมีดเสียดสีกับแกลบที่มีความแข็งและคม จึงทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ลดลง เนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน และเมื่อบดแล้วจะทำให้มีพื้นที่ที่สัมผัสอากาศ และแสงมากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยในการเสื่อมเสียคุณภาพและปริมาณสารแคโรทีนอยด์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบหยาบ และแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเพื่อลดขนาดแบบละเอียด มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากในกระบวนการบดด้วยวิธีการเฉือนด้วยใบมีดตัดความเร็วสูงนั้น จะได้แกลบบดขนาดหยาบก่อน และจะทำการบดต่ออีกด้วยระยะเวลาอันสั้นเพื่อให้ได้แกลบบดขนาดละเอียด

ผลจากการสกัด 4 รูปแบบโดยใช้แกลบที่คัดเลือกได้เป็นวัตถุดิบในการสกัดและใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ด้วยระยะเวลาในการสกัด 30 นาที โดยใช้เครื่องสกัดที่สร้างขึ้น โดยทำการสกัด 4 รูปแบบ ดังนี้คือ รูปแบบที่ 1 ทำการสกัด 1 ครั้ง (RD1) รูปแบบที่ 2 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 2 (RD2) รูปแบบที่ 3 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 3 (RD3) และรูปแบบที่ 4 ทำการสกัดซ้ำครั้งที่ 4 (RD4)พบว่า การสกัดในรูปแบบที่ 1 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้สูงที่สุด แต่เมื่อมีการสกัดซ้ำครั้งที่ 2 3 และ 4 โดยใช้ตัวทำละลายใหม่พบว่าจะได้ปริมาณแคโรทีนอยด์เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ว่าเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการสกัดสูง

ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบสภาวะและอายุการเก็บรักษาของสารสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นในภาชนะบรรจุขวดสีชาโดยทำการเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าไปแทนที่อากาศและเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าใน 5 สัปดาห์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในสารสกัดแคโรทีนอยด์เข้มข้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการใช้เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ ต้องทำการศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องสกัดให้ดีเสียก่อนทำการทดลอง เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุระหว่างการใช้งาน

5.2.2 ควรศึกษาข้าวสายพันธุ์อื่นเพื่อเปรียบเทียบหาสายพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด และนำไปพัฒนาในผลิตภัณฑ์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัณณพนต์ โล่ห์เพชรัตน์. 2538. การสกัดบีตาแคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. การขจัดสารเจือปนในไขมันและน้ำมัน. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรรณา ตั้งเจริญชัย. 2531. ท่านจะใช้คาโรทีนอยด์ในเครื่องดื่มได้อย่างไร. วารสารอาหาร, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2, 126-130.

อนุตตรา นวมถนอม และบุญตา เหตะโยธิน. 2539. การสกัดบีตาแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มและการทำให้บริสุทธิ์. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Adhikari, C., Proctor A. and Blyholder G. 1997. An infrared spectroscopy study of lipid adsorption from hexane onto an acid-activated bleaching clay. Journal of the American oil chemists society, 74: 1265-1268.

Anderson L., "Extraction of carotenoid pigments from shrimp processing waste" US patent number 3906112, 1975.

BASF technical bulletin. 2001. Natural colour bulletin. BASF corporation. New Jersey.

Batistella, C. and Wolf M. 1998. Recovery of carotenoids from palm oil by molecular distillation. Computer and chemical engineering, 22: 53-60.

Bauernfeind JC (ed). 1981. Carotenoids as colorants and vitamin A precursors. New York: Academic Press.

Blaizot, P., "Carotenoid from palm oil" US patent number 2652433, 1953.

Boehm, V. and Bitsch R. 1997. Isomer specific carotenoid analyses of fruit and vegetable juices. Zeitschrift fuer ernaehrungswissenschaft, 36: 78.

"Boiling point fuels" *[online] Available* http://wwwEngineeringToolBox.com (8 Febuary 2007).

Britton, G. 1995. Structure and properties of carotenoid in relation to function, Dec; 9 (15): 1551-8.

Burke J. 1984. Solubility parameters: theory and application. Appeared in the AIC book and paper group annual, 3: 13-58.

Choo Y. 1994. Palm oil carotenoids. Food and nutrition bulletin, 15: 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cocero, M., Gonzalez, S., Perez S. and Alonso E. 2000. Supercritical extraction of unsaturated products. Degradation of β-carotene in supercritical extraction processes. The journal of supercritical fluids, 19: 39-44.

Colorcon technical bulletin. 2004. Colour bulletin. Colorcon Co. Ltd. Pennsylvania.

Delgado, F. and Paredas O. 1997. Effects of enzymatic treatments on carotenoid extraction from marigold flowers (*Tagetes erecta*). Food Chemistry, 58: 255-258.

Desai, B. and Dubash P. 1994. Recovery of carotenes from crude palm oil by adsorption method. Journal of food science and technology. India, 31: 60-61.

Dontas, S., Liodakis S. and Parissakis G. 1998. Isolation of palm oil carotenoids using preparative liquid chromatography. Rivista Italiana EPPOS, 9: 29-39.

"DSM: biggest slice of carotenoid market" *[online] Available* http://www. Confectionerynews . com / news / ng . asp ? n = 60476 – dsm – biggest - slice (3 December 2006).

Eckey E. "Carotenoid concentrates from palm oil" US Patent number 2460796, 1943.

Fernandez, M., Sanroma V., De Bloos D. and Ferrater M. "Process for preparing carotenoid pigments" US patent number 5998678, 1999.

Ghazi A. 1999. Extraction of beta carotene from orange peels. Die nahrung, 43: 274-277.

Graves, F. and Gallaher D. "Extraction of carotenoids from natural sources" US patent number 5510551, 1996.

Haberkorn, H., Rauschenberger V., Bohn H., Horn D., Auweter H. and Lueddecke E. "Production of carotenoid preparations in the form of coldwater-dispersible powders, and the use of the novel carotenoid preparations" US patent number 5998678, 1999.

Hama, N., Tanaka Y., Yogo Y. and Okabe T. "Carotenes-containing concentration" JP Patent number 61109764, 1986.

Hara, N., Hama I., Izumimoto H. and Nakamura. "Treatment of natural fats and oil for carotene recovery" JP Patent number 6305074, 1988.

Harold, E. and Purcell A. 1967. Carotenoid pigments of peanut oil. Journal Am Oil Chemistry Society, 44: 328-330.

Heidlas, J., Cully J., Wiesmueller J. and Vollbrecht L. 1997. Process for extraction of natural carotenoid colourants. German federal republic patent application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heidlas, J., Huber G. and Cully J. 1996. Process for extraction of carotenoid pigments from natural materials. German federal republic patent application.

Hills, CB., "Extraction of anti-mutagenic pigments from algae and vegetables" US patent number 4851339, 1989.

Hoffmann La Roche. "Carotenoid preparations suitable for colouring foodstuffs and animal feeds and a process for the manufacture" GB patent number 803077, 1958.

Hong, S., Jang E., Kim S. and Park J. "Extraction method for preparation of carotene" KR patent number 9704413, 1997.

Ibuki, M., Imamura Y., Nishimoto T., and Kubota H. 1996. Oil with high carotene content. Trends in food science and technology, 7:135.

Inakuma, T., Yasumoto M., Koguchi M. and Kobayashi T. 1998. Effect of drying methods on extraction of lycopene in tomato skin with supercritical carbon dioxide. Journal of the Japanese society for food science and techology, 45: 740-743.

Ig Farbenindustrie Ag. "Improvements in the extraction of lipoids and other substances having the character of fats from animal and vegetable organisms" GB patent number 435798, 1935.

Ihl, M., Shene C., Schenermann E. and Bifani V. 1994. Correlation for pigment content through colour determination wing tristimulus values in a green leafy vegetable, Swiss chard. Journal of the science of food and agriculture, 66: 527-531.

Jaeschke, D. 2016. Evaluation of non-thermal effects of electricity on ascorbic acid and carotenoid degradation in acerola pulp during ohmic heating Food. Food Chemistry. 199: 128-134.

Jauberthie, R., Rendell, F., Tamba, S., & Cisse, I. K. 2003. Properties of cement-rice husk mixture. Construction and Building Material, 17: 239-243.

Kajadphai, A., Taungbodhitham, G., Jones P., Mark L. and David R. 1997. Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables. Food chemistry, 63: 577-584.

Katsumi T. and Rikagaku K. "A process for the extraction of the fat-soluble vitamin" GB patent number 220697, 1924.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kimura, M., Rodriguez D. and Godoy H. 1990. Assessment of the saponification step in the quantitative determination of carotenoids and provitamins A. Food chemistry, 33: 985-992.

Kitaoka, M., Kiyota T. and Tsubokura A., "Process for extraction of carotenoids from bacterial cells" EP patent number 0719866, 1996.

Lee, H., and Castle W. 2001. Seasonal changes of carotenoid pigments and colour in Hamlin, Eartygold, and Budd blood orange juices. Journal of agricultural and food chemistry, 877-882.

Luiz, F., Georg M., Angela A., Meireles T. and Gerd B. 1999. Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (*Mauritia flexuosa*), A Fruit from the amazon region .The journal of supercritical fluids, 14: 247-256.

Luiz, F., and M. Angela A. Meireles. 2000. Modeling the extraction of carotene and lipid .The journal of supercritical fluids, 18: 35-47.

Mamuro, H., Kubota Y. and Shiina H. "Carotene concentrates" JP patent number 61282357, 1986.

Manuf de Machines Auxiliaires. "Process for the cold extraction of fish oils" GB patent number 306020, 1929.

Marsili, J. and Callahan M. 1993. Comparison of a liquid solvent extraction technique and supercritical fluid extraction for the determination of alpha- and beta-carotene in vegetables. Journal of chromatographic science, 31: 422-428.

Mayne, S.T., Handelman, G.J. & Beecher, G. 1996. β-carotene and lung cancer promotion in heavy smokers: A plausible relationship? (Editorial). J. natl Cancer Inst., 88, 1513-1515.

Messerschmidt, K., Raasch A. and Knorr D. 1993. Colours from waste products. Extraction of natural plant pigments from sea buckthorn using supercritical CO2. Lebensmitteltechnik, 25: 37-40.

Minguez, M. and Garrido J. 1989. Chlorophyll and carotenoid presence in olive fruit (*Olea europaea*), Journal of Agricultural and Food Chem., 37: 1-7.

Murakoshi, M., Takayasu J. and Kimura O. 1989. Inhibitory effect of carotene on proliferation of the human neuroblastoma cell line GOTO. Journal of Natural Cancer Institute, 81: 1649-52.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ong, K., Fakhrul A., Baharin B. and Hassan M. 1999. Degumming of crude palm oil by membrane filtration. Artificial cells, blood substitutes, and Immobilization Biotechnology, 27: 381-385.

Ooi, C., Choo Y. and Ong A. "Recovery of carotenoids" US Patent number 5019668, 1991.

Park, B.D, Wi, S. G., Lee, K. H., Singh, A. P., Yoon, T.H., and Kim, Y.S. 2003. Characterization of anatomical features and silica distribution in rice husk using microscopic and micro-analytical technique," Biomass. Bioenergy. 25: 319-327.

Park, N., Gee L., Yong J. and Joong K. 1998. Optimization of extraction conditions for physicochemical properties of ethanol extracts from *chrysanthemum boreale*. Journal of the Korean society of food science and nutrition, 27: 585-590.

Passino, H. "Concentrating carotenes" US Patent number 2615927, 1952.

Patte, H. and Purcell A. 1969. Changes in carotenoid and oil content during maturation of peanut seeds. Journal Am Oil Chemistry Society, 46: 629-631.

Pokorny, J., Velisek J., Panek J., Kanova J., Parizkova H., Holasova M., Koplik R. and Cmolik H. 1993. Minor lipophilic components in crude rapeseed oil. Potravinarske Vedy, 11: 189-196.

Rich, GT., Fillery A. and Parker M. 1998. Low pH enhances the transfer of carotene from carrot juice to olive oil. Lipids, 33: 985-992.

Ronald, R., and Eitenmiller W. 1999. Vitamin A and carotenoids. Department of food science and technology. University of Georgia. CRC Press. Boca Raton London. Newyork Washington D.C., 1-18.

Rydberg, J., Musikas C., and Choppin G., 1992. Principles of solubility and solutions. Principles and practices of solvent extraction. Marcel Dekker Inc., 22-25.

Saburova, N. and Lepilin V. 1988. Adsorption of carotenoids from vegetable oils by activated carbon. Pishchevaya Promyshlennost. USSR, 5: 32.

Sanusi, R.2009. Beta Carotene Content of Commonly Consumed Foods and Soups in Nigeria. Pakistan Journal of Nutrition 8 (9): 1512-1516.

Siong, T. and Lam L. 1992. Analysis of carotenoids in vegetables by HPLC. ASEAN Food Journal, 7: 91-99.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sonntag, N. 1984. New developments in the fatty acid industry in America. Journal Am Oil Chemistry society, 61: 229-232.

Spanos, G., Hao, C., and Schwartz S. 1993. Supercritical CO2 extraction of beta-carotene from sweet potatoes. Journal of food science, 58: 817-820.

Stahl W. and Sies H. 1999. Carotenoids: Occurrence, biochemical activities, and bioavailability. *In "Antioxidant food supplements in human health"* (P. Lester, H. Midom, and I. Ioshikazu). Acadamic Press, New York, 191.

Stein, H., Viardot K. and Yang B., "Process for preparing a finely divided pulverous carotenoid retinoid or natural colourant preparation" US patent number 2001008644, 2001.

Tabor, J., Seibert H. and Frohring P. "Extracting pigments" US patent number 2440029, 1948.

Tech Zusammenarbeit Gtz Gmbh d (de). "Process for obtaining an oil with adjustable carotene content from palm oil" EP patent number 0529107, 1993.

Teixeira, H. and Rodriguez D. 1998. Carotenoid composition of brazilian nectarine (*Prunus perica*). Revista do Instituto Adolfo Lutz, 57: 73-79.

Thanonkaewa, A., Wongyai, S., McClements D.J. and Decker E.A. 2012. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (Oryza saltiva L.), LWT - Food Science and Technology, 48:231-236.

Union Chimique Belge. "Improvements in the extraction of boleko oil" GB patent number 770843, 1957.

Vesper, H. and Nitz S .1997. Composition of extracts from paprika (*Capsicum annuum* L.) obtained by conventional and supercritical fluid extraction. Advances in food sciences, 19: 172-177.

Vollbrecht, H., Cully J., Heidlas J. and Wiesmueller J., "Process for the extraction of natural carotenoid dyes" US patent number 5789647, 1998.

Wilberg, V. and Rodriguez D. 1995. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. Lebensmittel wissenschaft und technologie, 28: 474-480.

Wu, W., Wang L. and Liu H. 1996. Extraction and properties of pumpkin yellow pigment. Journal of zhengzhou grain college, 17: 25-28.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาพวัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

ก.1 อุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ ก.1.1 ข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา จาก กลุ่มบ้านชาวนาข้าวเหนียวดำก่ำพะเยา ตำบลหงส์หิน อำเภอจุน จังหวัดพะเยา

ภาพที่ ก.1.2 ทำการล้างสิ่งเจือปนที่ปนมากับวัตถุดิบและตากให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.1.3 เครื่องสีข้าว (รุ่นNW 1000 TURBO)

ภาพที่ ก.1.4 เครื่องบดแกลบ

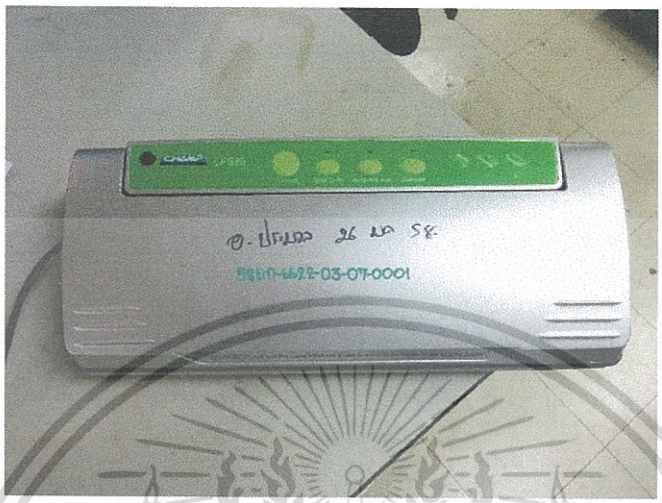
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(A)

(B) (C)

ภาพที่ ก.1.5 (A) แกลบไม่บด (B) แกลบบดหยาบ (C) แกลบบดละเอียด

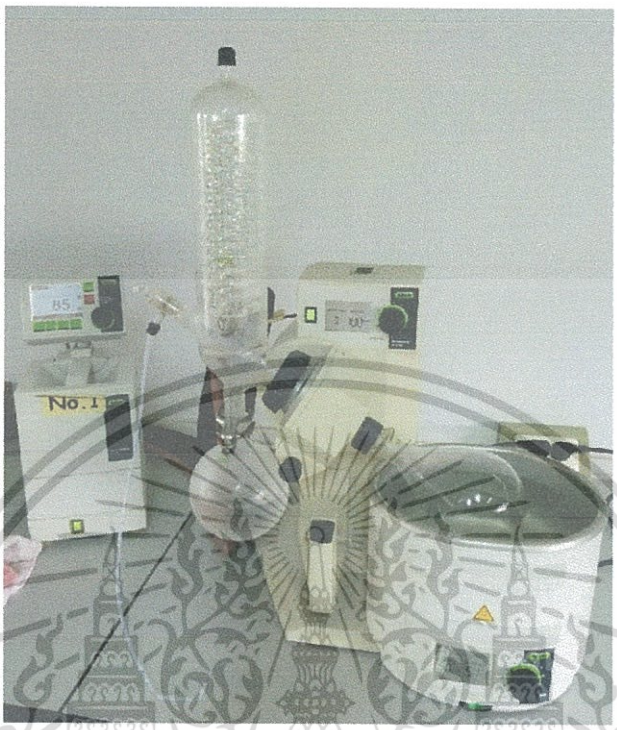
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



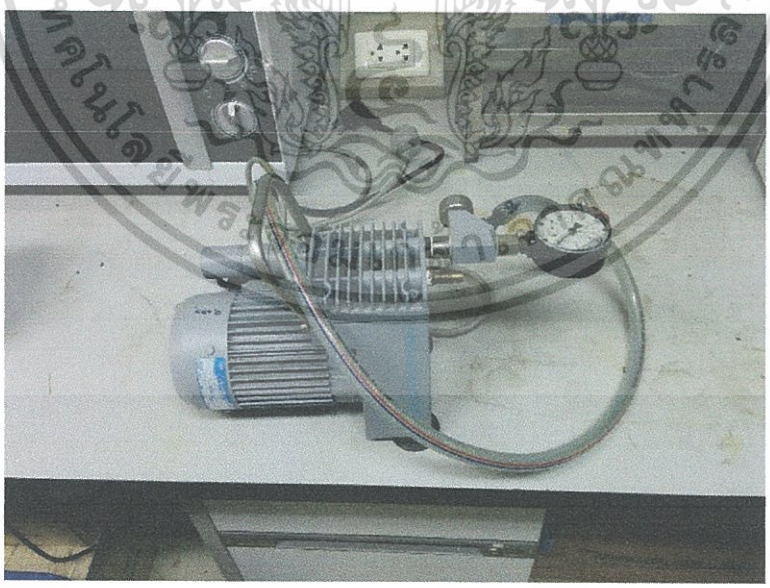
ภาพที่ ก.1.6 เครื่องซีลสุญญากาศ (Vacuum sealer)

ภาพที่ ก.1.7 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

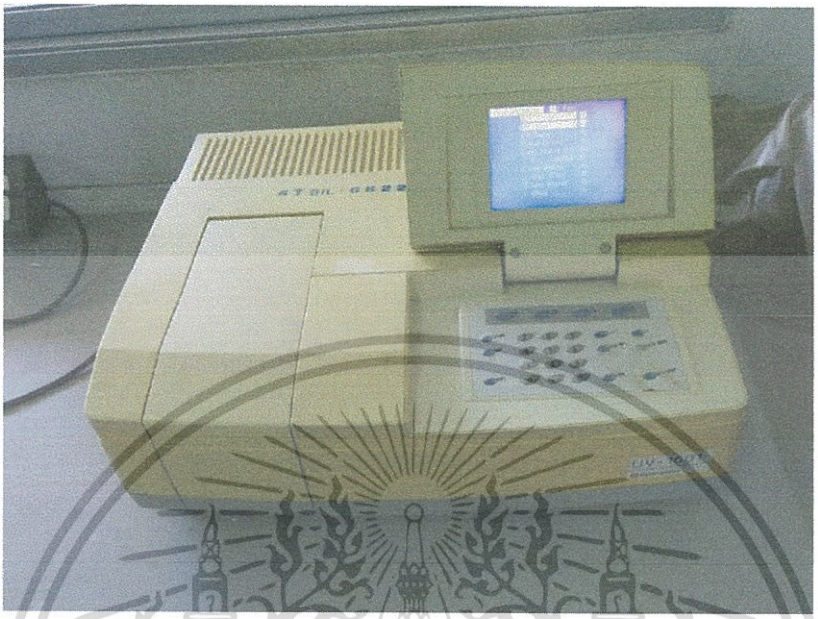


ภาพที่ ก.1.8 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator)



ภาพที่ ก.1.9 ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.1.10 เครื่องสเปคโตรโฟรโตมิเตอร์ (UV – Vis spectrophotometer1601)

ภาพที่ ก.1.11 เครื่องเขย่าสาร (Vortex - Genie 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.1.12 ก๊าซไนโตรเจน

ภาพที่ ก.1.13 ขวดสีชาขนาด5มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การประกอบเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์

(เครื่องต้นแบบของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

ภาพที่ ก.2.1 โครงเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ในตอนต้น

ภาพที่ ก.2.2 ทำการต่อโครงเหล็กเพื่อใส่รอกไฟฟ้า

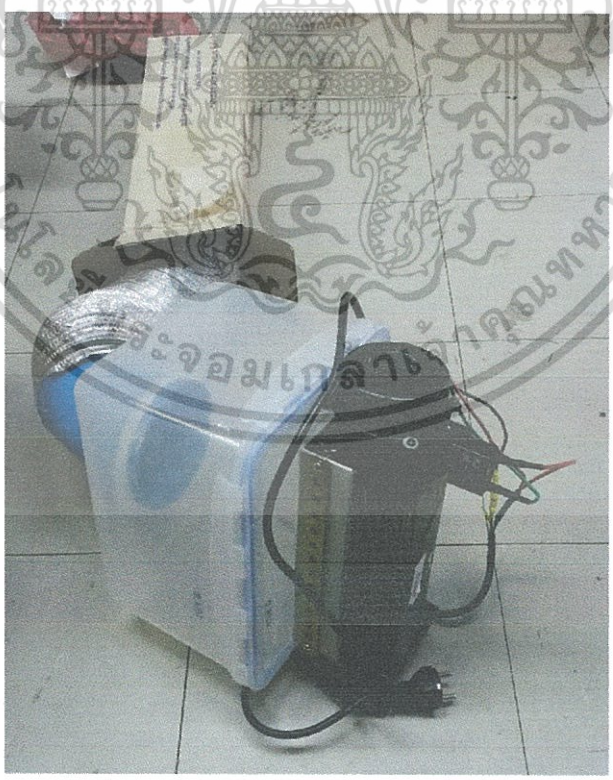
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.2.3 ทำการติดตั้งรอกไฟฟ้า

ภาพที่ ก.2.4 ทำการทดสอบรอกไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.2.5 เจาะยึดท่อดูดอากาศ



ภาพที่ ก.2.6 ชุดดูดอากาศพร้อมใช้งาน

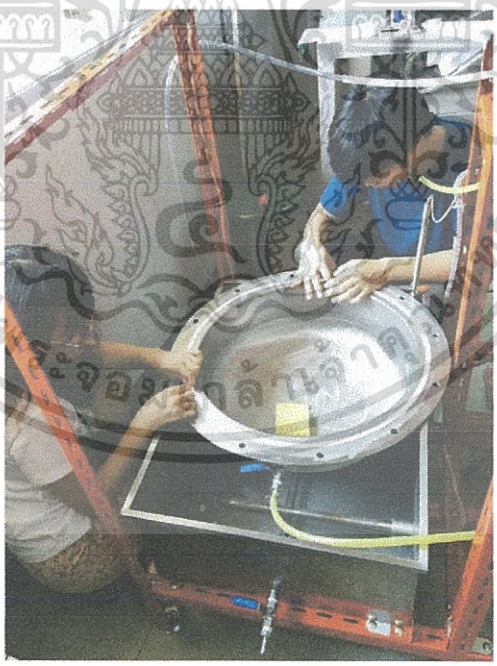
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.2.7 ประกอบหม้อสกัด

ภาพที่ ก.2.8 หม้อสกัดพร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.2.9 ตัดปะเก็นลองฝาหม้อสุญญากาศ



ภาพที่ ก.2.10 ติดตั้งปะเก็นฝาหม้อสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.2.11 ทำการติดตั้งล้อเลื่อน

ภาพที่ ก.2.12 เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ต้นแบบ
(เครื่องต้นแบบ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์

การวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์จะใช้วิธี AOAC (1990) โดยมีหลักการ คือสารสกัดแคโรทีนที่ได้จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน มีความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

1. สารเคมี

1.1 เฮกเซน (Hexane)

1.2 บีตาแคโรทีน (β-carotene)

2. การวิเคราะห์ปริมาณบีตาแคโรทีน

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานบีตาแคโรทีนความเข้มข้นเริ่มต้น 97 % โดยการชั่งสารบีตาแคโรทีน 0.01 กรัม แล้วละลายลงในเฮกเซน 10 มิลลิลิตร นำมาปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนให้เป็น 100 มิลลิลิตร

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานบีตาแคโรทีนในข้อ 2.1 ลงในหลอดทดลองหลอดละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนให้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

2.3 วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็น Blank

2.4 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของบีตาแคโรทีนในหน่วย ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

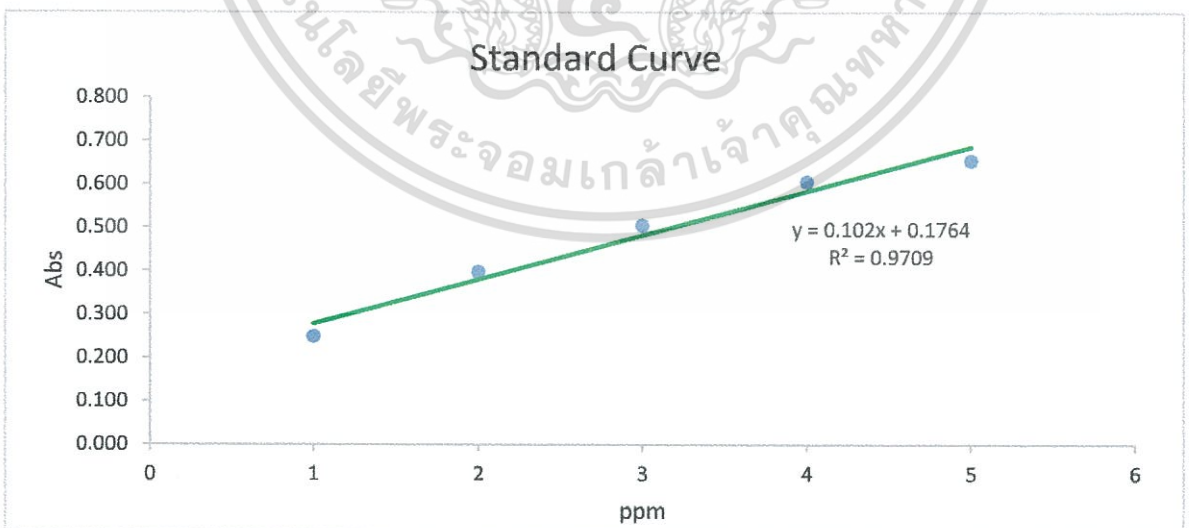
ตารางที่ ข.1 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับกราฟมาตรฐานของบีตาแคโรทีน

หลอดที่	ปริมาตรของสารละลายบีตาแคโรทีน (มิลลิลิตร)	ปริมาณบีตาแคโรทีน (ไมโครลิตร)	ปริมาตรเฮกเซน (มิลลิลิตร)
1	0.50	1	9.5
2	0.75	1.5	9.25
3	1.00	2	9.0
4	1.25	2.5	8.75
5	1.50	3	8.5
6	2.00	4	8.0
7	2.50	5	7.5
8	3.00	6	7.0
9	3.50	7	6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ของสารละลายบีตาแคโรทีนมาตรฐาน

ปริมาณบีตาแคโรทีน (ไมโครลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
1	0.247	0.247	0.253	0.249
1.5	0.402	0.395	0.395	0.397
2	0.513	0.507	0.495	0.505
2.5	0.611	0.605	0.601	0.606
3	0.648	0.669	0.674	0.655
4	0.917	0.909	0.918	0.915
5	1.567	1.160	1.184	1.304
6	1.367	1.298	1.371	1.345
7	1.738	1.803	1.686	1.742



ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของบีตาแคโรทีน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณแคโรทีนอยด์

Dilution 3

ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่วัดได้ 31.344118 ppm

แสดงว่าสารละลายแคโรทีนอยด์ 1,000,000 cc มีปริมาแคโรทีนอยด์ 31.344118 g.

ดังนั้นสาระละลายแคโรทีนอยด์ 5 cc มีปริมาณแคโรทีนอยด์= $\frac{31.344118 \times 5}{1.000.000}$ g.

แสดงว่า Dilution 3 จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ = 0.0001567 g.

Dilution 2

สารละลายแคโรทีนอยด์ 1 cc ที่นำไปทำ Dilution 3 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.0001567 g.

สารละลาย Dilution 2 รวม 5 cc มีปริมาณแคโรทีนอยด์ = $\frac{0.0001567 \times 5}{1}$ = 0.000783603 g.

แสดงว่าสารละลายแคโรทีนอยด์ 1,000,000 cc

จะมีความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ = $\frac{1,000,000 \times 0.000783603}{5}$ = 156.70259 ppm

Dilution 1

สารละลายแคโรทีนอยด์ 1 cc มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.000783603 g.

สารละลาย Dilution 1 รวม 5 cc มีปริมาณแคโรทีนอยด์ = $\frac{0.000763603 \times 5}{1}$ g.

แสดงว่า Dilution 1 จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ = 0.003918015 g.

แสดงว่าสารละลายแคโรทีนอยด์ 1,000,000 cc

จะมีความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ = $\frac{1,000,000 \times 0.003918015}{5}$ = 783.6029412 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stock solution

สารละลายแคโรทีนอยด์ 1 cc มีปริมาแคโรทีนอยด์ 003918015 g

ดังนั้นสาระละลายแคโรทีนอยด์ 5 cc มีมีปริมาแคโรทีนอยด์ $\frac{0.003918015 \times 5}{1}$ g

ดังนั้น Stock solution จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ =0.019590074 g

แสดงว่าสารละลายแคโรทีนอยด์ 1,000,000 cc

จะมีความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ = $\frac{1{,}000{,}000 \times 0.019590074}{5}$ = 3918.0174 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกมลชนก ศรีชัยธำรง
วัน เดือน ปี เกิด	เกิดเมื่อวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพระหฤทัยคอนแวนต์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อ-นามสกุล	นายเชษฐวิทย์ อุดมวงศ์ศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวนวพร รังสฤษฎ์วุฒิกุล
วัน เดือน ปี เกิด	เกิดเมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนลำปางกัลยาณี จังหวัดลำปาง ในปี พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-นามสกุล	นายวรเมธ วิมลาภิรัต
วัน เดือน ปี เกิด	เกิดเมื่อวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2537 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบางกระปิ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้