

การพัฒนาน้ำมันผสมสำหรับทอดที่ประกอบด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 ให้มีเสถียรภาพต่อการเก็บรักษาโดยใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติที่สกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz.



นางสาวทิษัมพร พิมพ์แก้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF FRYING OIL BLENDS CONTAINING OMEGA 3 AND 6 FOR
STORAGE STABILITY BY USING THE NATURAL ANTIOXIDANT EXTRACTED FROM
OLIVE LEAF *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz.



Miss Thikhamporn Phimkaew

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาน้ำมันผสมสำหรับทอดที่ประกอบด้วยกรดไขมัน
โอเมก้า 3 และ 6 ให้มีเสถียรภาพต่อการเก็บรักษา โดยใช้
สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติที่สกัดจากใบมะกอกน้ำ
Elaeocarpus hydrophilus Kurz.

โดย

นางสาวทิมพร พิมพ์แก้ว

สาขาวิชา

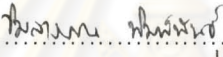
เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

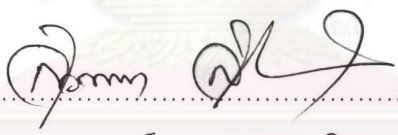
อาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์

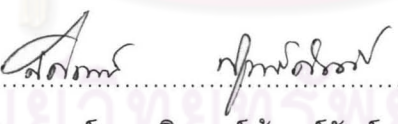
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

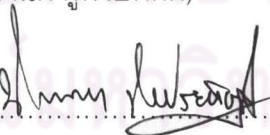
รองคณบดีฝ่ายบริหารรักษาการแทน


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ สุภิมารส)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัชฐ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ ทัดติยกุล)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.นัฐพล ตั้งสุภูมิ)

พิชัมพร พิมพ์แก้ว : การพัฒนาน้ำมันผสมสำหรับทอดที่ประกอบด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 ให้มีเสถียรภาพต่อการเก็บรักษาโดยใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติที่สกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hygrophilus* Kurz. (Development of frying oil blends containing omega 3 and 6 for storage stability by using the natural antioxidant extracted from olive leaf *Elaeocarpus hygrophilus* Kurz.)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร. ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์, 104 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาน้ำมันบริโภคชนิดผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีอัตราส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เหมาะสมต่อการบริโภค ให้มีเสถียรภาพต่อการทอดแบบน้ำมันท่วมและการเก็บรักษาโดยใช้สารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ในขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาเสถียรภาพการทอดของน้ำมันผสม โดยใช้มันฝรั่งแผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรหนา 1 มิลลิเมตร 300 กรัม ทอดแบบน้ำมันท่วมในน้ำมัน 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และทอดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 60 นาทีที่ชั่วโมง แปรสัดส่วนน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็น 20:80 25:75 30:70 40:60 และ 75:25 (v/v) พบว่าน้ำมันผสมที่อัตราส่วน 25:75 (v/v) มีเสถียรภาพต่อการทอดมากที่สุด โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบมีขี้ขี้ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine น้อยที่สุด และมีค่าความหนืดรวมทั้งค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังมีสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เท่ากับ 4.92:1 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สมาคมหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกาแนะนำให้บริโภค (2:1 ถึง 5:1) จึงเลือกใช้น้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำลงในน้ำมันผสมในปริมาณที่ต่างกัน (0 200 400 600 และ 800 ppm) ศึกษาเสถียรภาพการทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วม โดยใช้ภาวะในการทอดเช่นเดียวกับขั้นตอนแรก พบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทอด น้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm มีเสถียรภาพต่อการทอดมากที่สุด โดยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ของปริมาณสารประกอบมีขี้ขี้ และค่า p-anisidine น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังมีค่า DPPH radical-scavenging activity สูงที่สุด (39.33%) ดังนั้นในขั้นตอนสุดท้ายจึงเลือกสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm เติมน้ำมันผสมที่อัตราส่วน 25:75 (v/v) แล้วศึกษาคุณภาพในการเก็บรักษาของน้ำมันผสมในขวด Polyethylene terephthalate (PET) ที่มีฝาปิด ที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัด ที่อุณหภูมิห้อง และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาแตกต่างกัน น้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารสกัด นอกจากนี้ที่ระยะเวลาในการเก็บเท่ากัน น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง มีค่า DPPH radical-scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเหลืออยู่ในน้ำมันสูงกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารสกัดดังกล่าว

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร.....
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร.....
ปีการศึกษา 2553.....

ลายมือชื่อนิสิต..... พิชัมพร พิมพ์แก้ว.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์.....

5172299723 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : BLENDED OIL / OLIVE LEAF EXTRACT / OMEGA 3 / OMEGA 6 / DEEP-FAT FRYING /
STORAGE STABILITY

THIKHAMPORN PHIMKAEW : DEVELOPMENT OF FRYING OIL BLENDS CONTAINING
OMEGA 3 AND 6 FOR STORAGE STABILITY BY USING THE NATURAL ANTIOXIDANT
EXTRACTED FROM OLIVE LEAF *Elaeocarpus hygrophilus* Kurz. THESIS ADVISOR : DR.
SASIKAN KUPONGSAK, Ph.D., 104 pp.

The purpose of this research was to develop the deep-fat frying and storage stabilities of canola and palm olein oil blend, which contained the suitable ratio of omega 6:omega 3 recommended for consumption, by using olive leaf extracts *Elaeocarpus hygrophilus* Kurz. At the first part of the study, the result from deep-fat frying stability of the five-formula blended oils (the blends of canola and palm olein oil at the proportion at 20:80 25:75 30:70 40:60 and 75:25 (v/v)), by frying 300 g of potato chips in two liters oil per batch at 180°C and continuously deep-fat fried each batch until the frying time reached 60 minutes, demonstrated that the blended oil at the ratio of 25:75 (v/v) had significant effect on viscosity and color values ($p \leq 0.05$). Moreover, this formula showed the lowest changes on total polar material, free fatty acid, peroxide value and p-anisidine value. This oil blend contained omega 6:omega 3 at the ratio of 4.92:1 which followed the recommendation for consumption by the American Heart Association. Therefore, this blended oil was selected to study in the next step. The olive leaf, *Elaeocarpus hygrophilus* Kurz, extract in varying concentration (0 200 400 600 and 800 ppm) was added into the selected blended oil. The results from the deep-fat frying of potato chips at the same condition as the first step demonstrated that the blended oil with added 800 ppm of olive leaf extract had highest frying stability. At the end of frying process (60 minutes), this treatment had significant effects ($p \leq 0.05$) and presented the lowest in total polar material and p-anisidine value but highest in DPPH-radical scavenging activity (39.33%). At the final step of the study, the olive leaf extract at 800 ppm was added to canola and palm olein oil blend at the ratio of 25:75 (v/v) in order to study the storage stability. The blended oils with and without 800 ppm olive leaf extracts, were kept in Polyethylene terephthalate (PET) bottles with lids at room temperature and 40°C for 4 months. The results from the study showed that the blended oil stored at room temperature had lower values of free fatty acid and peroxide than those stored at 40°C. The observed results also indicated that the blended oil with olive leaf extract had the lowest changes in free fatty acid and peroxide values. Moreover, at the same storage time, the blended oil with 800 ppm olive leaf extract stored at room temperature had higher DPPH-radical scavenging activity and total phenolic compounds than those of blended oil without the olive leaf extract.

Department : Food Technology

Student's Signature Thikhamporn Phimkaew

Field of Study : Food Technology

Advisor's Signature 

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และกำลังใจ ตลอดการทำงานวิจัย และกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ สุภิมาสร รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประห์ษฐ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรวรรณ ทัตติยกุล และ อาจารย์ ดร. นัฐพล ตั้งสุภูมิ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกๆ คน ที่ช่วยแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณพินិត ปริญาเอก รุ่นพินิตปริญาโท เพื่อนๆ ร่วมสถาบันทุกท่านและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ให้ความช่วยเหลือในรูปแบบต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ญาติ พี่ น้อง ซึ่งให้การสนับสนุนในการศึกษา เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 น้ำมันหรือไขมัน.....	3
2.2 ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน.....	5
2.3 กระบวนการทอดและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน.....	6
2.4 การใช้ไขมันผสมในกระบวนการทอด.....	12
2.5 การเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน.....	14
2.6 การใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติในการทอดและเก็บรักษาน้ำมัน.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 ขอบเขตงานวิจัย.....	20
3.2 วัตถุประสงค์.....	20
3.3 อุปกรณ์.....	20
3.4 สารเคมี.....	21
3.5 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันก่อนทอดและหลังการทอด....	21
3.6 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันก่อนและหลังการเก็บรักษา....	22
3.7 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.7.1 แปรสัดส่วนและวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันผสม.....	22
3.7.2 ศึกษาเสถียรภาพการทอดแบบน้ำมันท่วมของน้ำมันชนิดเดียว และ น้ำมันผสม.....	23

บทที่	หน้า
3.7.3 ศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ <i>Elaeocarpus hydrophilus</i> Kurz. ต่อเสถียรภาพในการทอดแบบน้ำมันท่วมของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก.....	23
3.7.4 ศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ <i>Elaeocarpus hydrophilus</i> Kurz. ต่อเสถียรภาพในการเก็บรักษาน้ำมันผสมสูตรที่เลือก.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	26
4.1 องค์ประกอบกรดไขมันไอเมก้าของน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันคาโนลา และน้ำมันผสม.....	26
4.2 ผลของการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลากับน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	27
4.3 ผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ <i>Elaeocarpus hydrophilus</i> Kurz. ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก ระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม.....	37
4.4 ผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ <i>Elaeocarpus hydrophilus</i> Kurz. ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก ระหว่างการเก็บรักษา.....	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
รายการอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก.....	70
ภาคผนวก ข.....	73
ภาคผนวก ค.....	75
ภาคผนวก ง.....	83
ภาคผนวก จ.....	86
ภาคผนวก ฉ.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	องค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสม.....	26
4.2	ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	27
4.3	ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	28
4.4	ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	29
4.5	ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	29
4.6	ปริมาณสารประกอบมีขี้ (%) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	31
4.7	ค่ากรดไขมันอิสระ (% กรดโอเลอิก) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	33
4.8	ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEqv.O ₂ /kg) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	35
4.9	ค่า p-anisidine ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	36
4.10	ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	38
4.11	ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	39
4.12	ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	39
4.13	ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	40

ตารางที่	หน้า	
4.14	ปริมาณสารประกอบมีซั่ว (%) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	41
4.15	ค่ากรดไขมันอิสระ (% กรดโอเลอิก) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	43
4.16	ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEqv.O ₂ /kg) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	44
4.17	ค่า p-anisidine ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	45
4.18	ค่า DPPH radical-scavenging activity (%) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	47
4.19	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/g sample) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน.....	49
4.20	ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	51
4.21	ค่ากรดไขมันอิสระ (% กรดโอเลอิก) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	54
4.22	การทำนายอายุการเก็บรักษาจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	56
4.23	ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEqv.O ₂ /kg) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	57
4.24	ค่า DPPH radical-scavenging activity (%) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	59
4.25	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg gallic acid/g sample) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	61

ตารางที่	หน้า
ค.1	น้ำหนักตัวอย่าง ปริมาตรของ ethyl alcohol และความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เหมาะสมกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง..... 77
ง.1	องค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ..... 83
ง.2	สัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ใช้ในการทดลอง..... 85
จ.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด..... 91
จ.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด.... 91
จ.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 91
จ.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 92
จ.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 92
จ.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 92
จ.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 93
จ.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 93
จ.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 93
จ.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า p-anisidine ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที..... 94
จ.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ก่อนการทอด..... 94

ตารางที่	หน้า	
จ.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบมีขี้้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ก่อนการทอด.....	94
จ.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ก่อนการทอด.....	95
จ.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	95
จ.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	95
จ.16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	96
จ.17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	96
จ.18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบมีขี้้วของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	96
จ.19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	97
จ.20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	97
จ.21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า p-anisidine ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	97
จ.22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	98
จ.23	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที.....	98

ตารางที่	หน้า	
ด.24	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L^* a^* b^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ก่อนการเก็บรักษา.....	98
ด.25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ก่อนการเก็บรักษา.....	99
ด.26	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ก่อนการเก็บรักษา.....	99
ด.27	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	100
ด.28	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	100
ด.29	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	101
ด.30	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	101
ด.31	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระ ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	102
ด.32	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	102

ตารางที่	หน้า
ฉ.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity ของ น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับ น้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่ เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	103
ฉ.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของน้ำมัน ผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับ น้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติม สารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน.....	103



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์.....	3
4.1	ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันที่เติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	52
4.2	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมที่เติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน.....	55
ค.1	เครื่องวัดปริมาณสารประกอบมีซ์ Testo 265.....	75
ค.2	กราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid.....	81



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

น้ำมันแต่ละชนิดประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณแตกต่างกัน ทำให้สมบัติของน้ำมันแตกต่างกันออกไป กรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 3 (linolenic acid; C18:3) และกรดไขมันโอเมก้า 6 (linoleic acid; C18:2) จัดเป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ ส่วนกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 9 (oleic acid; C18:1) ร่างกายสังเคราะห์เองได้และพบมากในอาหารทั่วไป (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ดังนั้นร่างกายจึงควรได้รับกรดไขมันทั้งสามชนิดในปริมาณที่เหมาะสม สมาคมหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกาแนะนำว่าอัตราส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ที่ควรบริโภคควรมีปริมาณอยู่ระหว่าง 2:1 ถึง 5:1 (Flickinger และ Huth, 2004) แต่เนื่องจากน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้าแตกต่างกัน การบริโภคน้ำมันพืชเพียงชนิดเดียวอาจได้รับกรดไขมันโอเมก้าในปริมาณที่ไม่เพียงพอ จึงมีการผลิตน้ำมันผสม เพื่อปรับสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้าให้มีปริมาณเพียงพอที่ผู้บริโภคควรได้รับ และยังทำให้น้ำมันมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น เช่น การนำน้ำมันปาล์มโอเลอินมาใช้ในการผลิตน้ำมันผสม เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีที่โดดเด่น จุดเกิดควันสูง ทนต่อการทอดที่อุณหภูมิสูง แต่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เกินกว่าคำแนะนำให้บริโภค (Mayamol และคณะ, 2004) ส่วนน้ำมันคาโนลาจัดว่าเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันโอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 10.7 และ 34.6 ตามลำดับ) (Zeitoun และคณะ, 1993) โดยมีสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เท่ากับ 1.52:1 (Farhoosh และคณะ, 2009b) ซึ่งอยู่ในช่วงที่แนะนำให้บริโภค แต่อย่างไรก็ดีน้ำมันคาโนลาที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงถึง 90-92 เปอร์เซ็นต์ (พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ, 2548) จึงไม่คงทนต่อการทอด ดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันปาล์มโอเลอินในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะได้น้ำมันผสมที่มีความคงทนต่อการทอดและมีสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้าอยู่ในช่วงที่แนะนำให้บริโภค

แต่อย่างไรก็ดีน้ำมันผสมที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมมักไม่คงทนต่อการทอดที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน เนื่องจากน้ำมันดังกล่าวมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวค่อนข้างสูง เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) จะทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีสีคล้ำขึ้น และ/หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เป็นต้น (Baux และคณะ, 2008) จึงเป็นมูลเหตุจูงใจในการพัฒนาน้ำมันบริโภคชนิดผสมเพื่อให้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี และมีเสถียรภาพต่อการทอดและการเก็บรักษาโดยใช้สารสกัดจากไบมะกอกน้ำ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดการตกค้างในร่างกายดังเช่นสาร

สังเคราะห์ทางเคมีต่างๆ (ดิษยา พรพัฒน์นางกูร, 2548) และช่วยรักษาเสถียรภาพของน้ำมันผสม
ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ
Elaeocarpus hydrophilus Kurz. ที่มีต่อเสถียรภาพของน้ำมันผสมในการทอดแบบน้ำมันท่วม
และการเก็บรักษา โดยเปรียบเทียบสมบัติทั้งทางกายภาพและเคมี เพื่อให้ได้น้ำมันผสมที่นอกจาก
มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมแล้ว ยังมีเสถียรภาพต่อการทอดและการเก็บรักษาที่ดีขึ้นด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

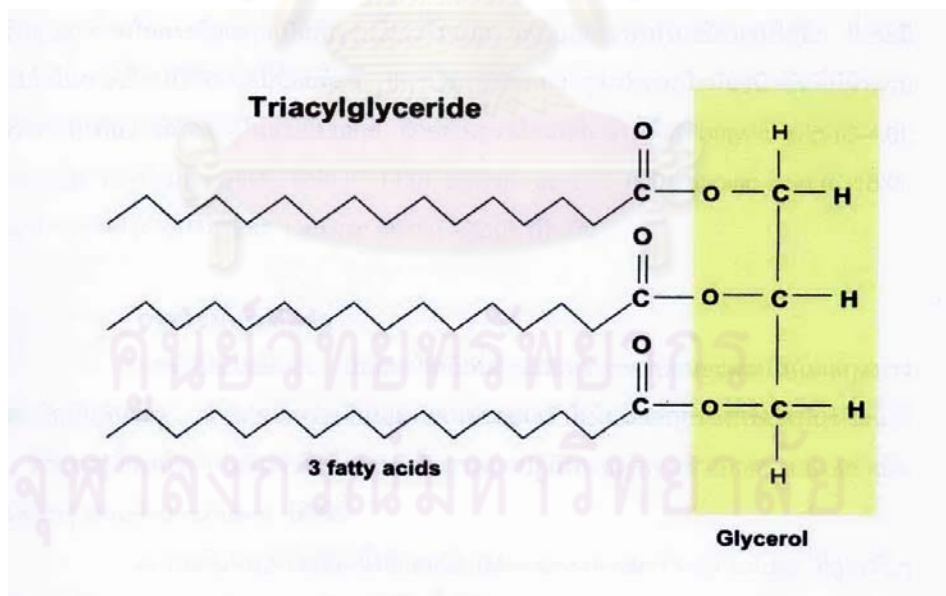
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 น้ำมันและองค์ประกอบของกรดไขมัน

2.1.1 น้ำมันหรือไขมัน (นิธิยา รัตนานพนท์, 2548)

น้ำมันหรือไขมัน หมายถึงลิปิดประเภทกลีเซอไรด์หรือเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล จับกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ด้วยพันธะเอสเทอร์ แสดงในรูป 2.1 โดยทั่วไปไตรกลีเซอไรด์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุล จับกับกลีเซอรอล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ธรรมดา ถ้ากรดไขมันที่จับกับกลีเซอรอลเป็นกรดไขมันต่างชนิดกันจะเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ผสม โดยทั่วไปไตรกลีเซอไรด์ที่พบในน้ำมันพืชจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ผสม เพราะมีกรดไขมันหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โดยมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: Gunstone (2002)

2.1.2 กรดไขมัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) 1 หมู่ และหมู่แอลคิล (R-) โดยพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่า กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ หรือมากกว่า 1 พันธะ ในสายโมเลกุล เรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมัน ไขมัน และฟอสโฟลิเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก น้ำมันและไขมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันที่ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ พบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ของไขมันจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ในขณะที่กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นหลัก

กรดไขมันอิ่มตัว

กรดไขมันอิ่มตัว มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในสายโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีน้อยที่สุด และมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันชนิดอื่นที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากันแต่มีพันธะคู่ในสายโมเลกุล ตัวอย่างได้แก่ butyric acid (C4:0) lauric acid (C12:0) myristic acid (C14:0) palmitic acid (C16:0) stearic acid (C18:0) arachidic acid (C20:0) และ behenic acid (C22:0) เป็นต้น

กรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่งเป็นพันธะคู่ จึงสามารถเติมไฮโดรเจนอะตอมเข้าไปในโมเลกุลได้อีก ด้วยเหตุนี้จึงมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีค่อนข้างมาก แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนพันธะคู่ ได้ดังนี้

ก. กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (Monounsaturated fatty acid) มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น $C_nH_{2n-1}COOH$ เช่น palmitoleic acid (C16:1) oleic acid (C18:1) กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันพืชทั่วไป

ข. กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acid) กรดไขมันชนิดนี้จะมีพันธะคู่ในโมเลกุลมากกว่า 1 พันธะ โดยส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนในโมเลกุล 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 พันธะ ตัวอย่างกรดไขมันชนิดนี้ได้แก่ linoleic acid (C18:2) หรือกรดไขมันโอเมก้า 6 ซึ่งมีพันธะคู่ตำแหน่งแรกอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 นับจากปลายด้านหมู่เมทิล และมีพันธะคู่สองพันธะในโมเลกุล และ linolenic acid (C18:3) หรือกรดไขมันโอเมก้า 3 ซึ่งมีพันธะคู่

ตำแหน่งแรกอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 นับจากปลายด้านหมู่เมทิล และมีพันธะคู่สามพันธะในโมเลกุล กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสองชนิดนี้จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย พบมากในน้ำมันพืช โดยเฉพาะน้ำมันถั่วเหลือง

2.2 ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน

2.2.1 น้ำมันคาโนลา (พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ, 2548)

น้ำมันคาโนลาเป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดของพืชในตระกูลเรพที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งพันธุกรรม มีองค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกรดไขมันโอเมก้า 9 ประมาณ 60-62 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันโอเมก้า 6 ประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันโอเมก้า 3 อยู่ 9-10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วย โทโคฟีรอลถึงประมาณ 70 ppm และสเตอรอล 0.53-0.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโทโคฟีรอลมีสมบัติเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตามธรรมชาติในน้ำมัน และเนื่องจากน้ำมันคาโนลา มีองค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จึงมีประสิทธิภาพทางด้านคุณค่าทางโภชนาการในการลดคอเลสเตอรอลทั้งหมดและคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ เทียบเท่ากับน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งสูง เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันดอกคำฝอย นอกจากนี้ น้ำมันคาโนลา ยังมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณต่ำมาก (น้อยกว่า 7 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งปริมาณนี้เท่ากับครึ่งหนึ่งของที่พบในน้ำมันข้าวโพด จึงเป็นน้ำมันที่ดีสำหรับการลดปริมาณไขมันอิ่มตัวในอาหาร

2.2.2 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ, 2548)

น้ำมันปาล์มโอเลอิน เป็นน้ำมันที่ได้จากส่วนของเนื้อปาล์ม โดยนำมาแยกส่วนภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิ เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็ง (palm stearin) ออกจากส่วนที่เป็นของเหลวหรือปาล์มโอเลอิน (palm olein) มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว 51-58 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นจึงเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณใกล้เคียงกัน กรดไขมันอิ่มตัวมีกรดปาล์มิติกเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 38-42 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดไขมันโอเมก้า 9 มีอยู่ 41-44 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันโอเมก้า 6 มีอยู่ 10-13 เปอร์เซ็นต์ จึงอาจกล่าวได้ว่า น้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งในปริมาณค่อนข้างสูง รองลงมาจากน้ำมันคาโนลา ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งต่ำกว่าในน้ำมันพืชทั่วไป นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว

หนึ่งตำแหน่งที่มีผลดีต่อการลดระดับคอเลสเตอรอลแล้ว ยังมีวิตามินอีซึ่งประกอบด้วยโทโคฟีรอล และโทโคไตรอีนอล ซึ่งเป็นสารกันหืนตามธรรมชาติในปริมาณสูงถึง 500-600 ppm จึงทำให้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีอายุการใช้งานค่อนข้างนาน และมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มโอเลอินจึงมีความคงตัวสูงที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิขณะทอด เนื่องจากมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ข้อมูลจากการศึกษาทางด้านโภชนาการของน้ำมันบริโภครายงานว่า การบริโภคอาหารที่มีน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นองค์ประกอบ ไม่มีผลในการเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน

2.3 กระบวนการทอดและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน

2.3.1 กระบวนการทอด

การทอดแบบน้ำมันท่วมหรือ deep-fat frying เป็นกระบวนการทอดโดยใช้น้ำมันในปริมาณมาก ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนไปยังชิ้นอาหาร การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นหน่วยปฏิบัติการ (unit operation) ที่ใช้ในการเปลี่ยนคุณภาพอาหารให้เหมาะสำหรับการบริโภค เช่น ทำให้อาหารสุก กรอบน่ารับประทาน (Fellows, 2000) นอกจากนี้ Moreira และคณะ (1999) กล่าวว่า วัตถุประสงค์หลักของการทอดแบบน้ำมันท่วม คือ การพัฒนาลักษณะสี และกลิ่นรสของอาหาร ซึ่งคุณภาพของอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด และภาวะในการทอด ตลอดจนคุณภาพของอาหารที่นำมาทอด

การทอดเป็นการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง แล้วอาศัยน้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังชิ้นอาหาร ผลของการให้ความร้อนแก่น้ำมัน ทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ คือ น้ำมันจะมีสีคล้ำขึ้น และมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Besbes และคณะ, 2005) และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน (Jack, 2000) จากปฏิกิริยาดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพด้านสี ความหนืด และความคงตัวของน้ำมัน องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันขณะทอด เนื่องจากในน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบกรดไขมันแตกต่างกัน ซึ่งทำให้ความคงตัว และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันแตกต่างกันด้วย การเลือกใช้น้ำมันสำหรับการทอดจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยควรคำนึงถึงความคงตัวของน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันขณะทอด ดังนั้นน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการทอดควรมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง เพราะกรดไขมันชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดี (เนื่อทอง วานานุวัธ, 2546)

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างกระบวนการทอด

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน โดยมีออกซิเจน และน้ำจากอาหารเป็นปัจจัยร่วม ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมัน ส่งผลให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ โดยจะเกิดสารคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี และคีโตน เป็นต้น ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้นและเกิดกลิ่นหืน น้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ได้สารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือให้สารประกอบไซคลิก น้ำมันจึงมีความหนืดสูงขึ้น นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้วิตามินที่ละลายได้ในน้ำมันเกิดการสลายตัว ทำให้น้ำมันสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน ส่งผลให้สีและกลิ่นของน้ำมันเปลี่ยนไป (วิไล รังสาดทอง, 2547)

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อน คือ ระดับความไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation) ของกรดไขมันในน้ำมัน Paul และ Mittal (1997) รายงานว่ากรดไขมันโอเมก้า 3 สามารถเกิดการออกซิเดชันได้ง่ายกว่ากรดไขมันโอเมก้า 9 ดังนั้น น้ำมันคาโนลาซึ่งเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเมก้า 3 สูง จึงไม่เหมาะนำมาใช้เป็นน้ำมันสำหรับการทอดที่อุณหภูมิสูง เพราะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย การพิจารณาคุณภาพของน้ำมันเมื่อผ่านกระบวนการทอด สามารถพิจารณาได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมัน ดังนี้

ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติทางกายภาพที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ผ่านการ cross-linking ระหว่าง carbon-carbon หรือ carbon-oxygen-carbon ภายในโมเลกุลหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นตรงบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งเป็นสารจำพวก cyclic monomers dimers และ polymers ทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีสีคล้ำขึ้น นอกจากนี้ น้ำมันอาจเกิดฟองเนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นด้วย (Bennion, 1995)

Ravi และคณะ (2005) ได้ศึกษาความคงตัวด้านสมบัติทางกายภาพของน้ำมันผสมต่อการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทดลองผสมน้ำมันมัสตาร์ด น้ำมันทานตะวัน หรือน้ำมันถั่วลิสง 80 ส่วน กับน้ำมันงา น้ำมันปาล์มที่ผ่านการรีไฟน์ หรือน้ำมันรำข้าว 20 ส่วน ทอดแผ่นแป้ง poori (อาหารพื้นเมืองของอินเดีย) แบบน้ำมันท่วมอย่างต่อเนื่อง และเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอด

ในครั้งที่ 1 4 และ 7 พบว่าเมื่อน้ำมันผสมทุกตัวอย่างได้รับความร้อนเป็นเวลานานขึ้น จะมีความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากน้ำมันมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจน และน้ำในแผ่นแป้ง poori ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้มากขึ้น ดังนั้นน้ำมันที่ผ่านการทอดจนครบ 7 ครั้ง จึงมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันที่ผ่านการทอดในครั้งที่ 1 และ 4

สีของน้ำมัน

เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานาน จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน คือ น้ำมันจะมีสีเข้มขึ้น โดยงานวิจัยของ Rhee และคณะ (1992) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น สีของน้ำมันที่ใช้ทอด beef nugget จะเข้มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างทอด ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลและส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น

Khan และคณะ (2008) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันผสมตามตัวอย่าง คือ น้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันงา น้ำมันมะพร้าวโอเลอินกับน้ำมันงา และน้ำมันมะพร้าวโอเลอินกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ในการทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วม โดยทอดมันฝรั่งแผ่นแต่ละ batch นาน 5-6 นาทีต่อครั้ง ทอดทั้งหมด 15 batch เป็นเวลา 100 นาที เมื่อพิจารณาสีของน้ำมันผสมทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า เมื่อผ่านการทอด น้ำมันผสมทุกตัวอย่าง มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น แสดงว่ามีสีเข้มขึ้น โดยที่น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวโอเลอินกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน มีสีเข้มที่สุดทั้งก่อนและหลังผ่านการทอด การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันผสมดังกล่าวนอกจากจะขึ้นอยู่กับความร้อนที่ใช้ในการทอดแล้ว ยังเป็นผลมาจากองค์ประกอบที่ไม่ใช่กรดไขมัน เช่น ปริมาณเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองที่มีอยู่ตามธรรมชาติในน้ำมัน ดังนั้นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของเบต้าแคโรทีนในปริมาณมาก เช่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน หรือ น้ำมันผสมที่มีน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นส่วนประกอบ จึงมีสีเข้มกว่าน้ำมันชนิดอื่น

สารประกอบมีขี้ขี้ (สารโพลาร์)

สารประกอบมีขี้ขี้ คือสารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด ส่งผลให้โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันเปลี่ยนจากสารประกอบไม่มีขี้ขี้เป็นสารประกอบมีขี้ขี้ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน ตัวอย่างสารประกอบมีขี้ขี้ ได้แก่ กรดไขมันอิสระ โมโนเอซิลกลีเซอรอล และไดเอซิลกลีเซอรอล เป็นต้น จึงสามารถใช้เป็นดัชนีบอกความคงตัวของน้ำมันได้ กล่าวคือ หากเกิดสารประกอบมีขี้ขี้ในปริมาณมาก แสดงว่าน้ำมันมีความคงตัวต่อการทอดต่ำ ทำให้น้ำมันดังกล่าว

เสื่อมคุณภาพได้เร็ว (วิภาววรรณ กาฬสุวรรณ, 2550) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 (พ.ศ. 2547) ได้กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่าสารประกอบมีซัลฟิวเรียมไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ หากในน้ำมันมีสารประกอบมีซัลฟิวเรียมที่มาตรฐานกำหนด จะจัดเป็นน้ำมันที่มีอันตรายต่อสุขภาพ และจากการวิจัยในหนูทดลองพบว่าสารประกอบมีซัลฟิวเรียมในน้ำมันอาจก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังหรือมะเร็งลำไส้ได้ (Besbes และคณะ, 2005)

การเกิดสารประกอบมีซัลฟิวเรียมในน้ำมันมีหลายปัจจัย เช่น กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชแต่ละชนิด ซึ่งจะแตกต่างกันที่ชนิด และปริมาณของกรดไขมันในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบจะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ในสายโมเลกุล คาร์บอนอะตอมตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับอะตอมอื่นๆ เช่น ออกซิเจน และไฮโดรเจนได้ อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบมีซัลฟิวเรียมในน้ำมันคือ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทอด ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของน้ำมันให้เกิดได้เร็วขึ้น ทำให้น้ำมันเกิดสารประกอบมีซัลฟิวเรียมมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

Warner และคณะ (1994) ศึกษาผลของชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่ผ่านการทอดต่อคุณภาพและความคงตัว โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันคาโนลาทั่วไป และน้ำมันคาโนลาที่ผ่าน mutation breeding เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 192 องศาเซลเซียส วันละ 9 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 วัน เก็บตัวอย่างน้ำมันทุก 3 ชั่วโมง พบว่า น้ำมันคาโนลาที่ผ่าน mutation breeding จะมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 9 สูงถึง 78 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าน้ำมันคาโนลาทั่วไป และเมื่อผ่านการทอด จะมีปริมาณสารประกอบมีซัลฟิวเรียม และสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) ต่ำกว่าในทุกช่วงเวลาของการทอด

Houhoula และคณะ (2003) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทอดต่อการเกิดสารประกอบมีซัลฟิวเรียม โดยทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 155 165 175 185 และ 195 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง พบว่าการเกิดสารประกอบมีซัลฟิวเรียมในน้ำมันมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทอด กล่าวคือ ปริมาณสารประกอบมีซัลฟิวเรียมเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้น

ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ. 2543) กำหนดให้น้ำมันบริโภคมีค่ากรดไขมันอิสระได้ไม่เกินร้อยละ 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี กรดไขมันอิสระในน้ำมันสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการแปรรูปหรือระหว่างการเก็บรักษาน้ำมัน และเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในระหว่างกระบวนการทอด เมื่ออาหารได้รับความร้อนจากการทอด น้ำที่อยู่ในอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารในรูปไอน้ำ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับพันธะเอสเทอร์ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันได้กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ จึงแสดงถึงการแตกตัวของกรดไขมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งจะแตกตัวได้ดี จึงเกิดกรดไขมันอิสระได้มาก (นิธิยา รัตนปณนธ์, 2548)

Tan และ Che Man (1999) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อความคงตัวของน้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งวิเคราะห์ด้วย differential scanning calorimetric (DSC) method เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ทางเคมี โดยใช้น้ำมัน 4.5 กิโลกรัม ใส่ลงใน deep fat fryer (Berto's electrical fryer ALT series, ELT 8B, Montegrotto T., Padova, Italy) และให้ความร้อนกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมัน 200 กรัม ทุก 2 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์สมบัติทางเคมี เมื่อนำตัวอย่างน้ำมันมาผ่านเครื่อง differential scanning calorimeter โดยลดอุณหภูมิของน้ำมันลงด้วยอัตรา 1 องศาเซลเซียสต่อนาที จาก -30 องศาเซลเซียส ถึง -85 องศาเซลเซียส และแสดงผลออกมาเป็น cooling thermogram พบว่าเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนนานขึ้น peak of crystallization จะย้ายไปยังช่วงอุณหภูมิที่ต่ำลงและมี enthalpy ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลที่ได้มีความสัมพันธ์กับผลวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณสารประกอบมีซิว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น การใช้ DSC method จึงเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วในการวิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อน

Farhoosh และคณะ (2009a) ศึกษาผลของกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันคาโนลา พบว่าเมื่อผ่านกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน neutralization bleaching และ deodorization น้ำมันทั้งสองชนิดจะมีค่ากรดไขมันอิสระลดลง ทำให้มีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น

ค่าเปอร์ออกไซด์

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน เกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ในขั้นปฐมภูมิ (primary oxidation) สารนี้เป็นสารที่ไม่คงตัว เมื่อให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน จะกลายเป็น secondary oxidation products ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ เป็นต้น การวัดค่าเปอร์ออกไซด์จึงเป็นการพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของกระบวนการทอด ก่อนที่สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะกลายเป็นผลิตภัณฑ์อื่น น้ำมันที่มีองค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่อาจเกิดการสลายตัวได้ในภายหลัง ดังนั้นการประเมินคุณภาพของน้ำมันทอดควรใช้ค่าอื่นๆ ในการพิจารณาร่วมด้วย ตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 205 (พ.ศ. 2543) กำหนดให้น้ำมันบริโภคมีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน $10 \text{ mEqv.O}_2/\text{kg}$

Naz และคณะ (2004) ศึกษาผลขององค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันและภาวะในกระบวนการทอดต่อความคงตัวของน้ำมันพืชสามชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะกอก ทดลองด้วยภาวะที่แตกต่างกันสามภาวะ คือ ภาวะที่หนึ่ง เก็บน้ำมันในที่มีออกซิเจน ภาวะที่สอง เก็บน้ำมันในที่มีออกซิเจนร่วมกับแสง และภาวะที่สาม น้ำมันผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วม นำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันและภาวะต่างๆ มีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันข้าวโพดและน้ำมันมะกอกตามลำดับ โดยน้ำมันที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมจะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันที่เก็บไว้ในภาวะที่มีออกซิเจนร่วมกับแสง และน้ำมันที่เก็บในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง โดยมีแสงและออกซิเจนเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ในภาวดังกล่าวนี้ น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนต่ำ

ค่า p-anisidine

ค่า p-anisidine เป็นค่าที่ใช้ในการบอกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ (secondary oxidation) ของน้ำมัน โดยสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นปฐมภูมิ (primary oxidation) ซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัว จะเกิดการสลายตัว ได้เป็น secondary oxidation products ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ เป็น

ต้น (Aladedunye และ Przybylski, 2009) โดยหาปริมาณของสารแอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากการวิเคราะห์ค่า p-anisidine ดังนั้นค่า p-anisidine จึงมักวิเคราะห์ควบคู่กับค่าเปอร์ออกไซด์

Aladedunye และ Przybylski (2009) ศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันคาโนลาที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยใช้มันฝรั่งแห้งปริมาณ 200 กรัม ทอดในน้ำมันคาโนลา 3.75 ลิตร ที่อุณหภูมิ 185 ± 5 องศาเซลเซียส และ 215 ± 5 องศาเซลเซียส ทอดวันละ 7 ชั่วโมง และทอดเป็นเวลา 7 วัน เมื่อพิจารณาที่การทอดในวันเดียวกัน พบว่าน้ำมันคาโนลาที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 215 ± 5 องศาเซลเซียส มีค่า p-anisidine สูงกว่าการทอดที่อุณหภูมิ 185 ± 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนที่ระดับสูง จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและเกิดสารแอลดีไฮด์ปริมาณมาก แต่เมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ค่า p-anisidine ของน้ำมันจะลดลง เนื่องจากสารแอลดีไฮด์และสารจำพวกคาบอร์นิลที่เกิดขึ้นจะสลายตัวเป็นสารประกอบที่ระเหยง่าย ทำให้ในช่วง 4 วันสุดท้ายของการทอด น้ำมันจะมีค่า p-anisidine ลดลง

Tabee และคณะ (2009) ศึกษาความคงตัวต่อการทอดของน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์ โดยทอดมันฝรั่งแห้ง 320 กรัม ที่อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส ทอดทั้งหมด 6 ครั้ง เป็นเวลารวม 1 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันทั้งสองชนิดมีค่า p-anisidine เพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งในการทอด โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่า p-anisidine สูงกว่าน้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์ถึง 11 เท่า แสดงว่าน้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์มีความคงตัวต่อความร้อนในการทอดดีกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของน้ำมันคือ ชนิด และปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันมะกอกที่ผ่านการรีไฟน์มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยากและมีความคงตัวต่อความร้อนดี

2.4 การใช้ไขมันผสมในกระบวนการทอด

องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อบทบาทหน้าที่และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันต่างกันด้วย ในกระบวนการทอด น้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังนั้นปัจจัยที่ควรใช้ในการพิจารณาเพื่อเลือกน้ำมันสำหรับการทอด คือ ความคงตัวของน้ำมันต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้น้ำมันที่มีองค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัว จะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อน

ปัจจุบันได้มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันผสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน สามารถใช้ทดแทนน้ำมันพืชเพียงชนิดเดียวในการประกอบอาหาร และทำให้น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดีขึ้น

Bastida และ Sanchez-Muniz (2002) ศึกษาผลขององค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันต่อการเกิดสารประกอบมีขี้จี้จากกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทดลองใช้น้ำมันสาม ชนิด คือ น้ำมันมะกอก น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะกอกกับน้ำมันทานตะวัน ในอัตราส่วน 50:50 (v/v) ทอดอาหารชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบมีขี้จี้ พบว่า น้ำมันผสมทุกตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบมีขี้จี้ต่ำกว่าน้ำมันชนิดเดียว เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านการทอดมีสารประกอบมีขี้จี้ได้ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำมันมะกอกสามารถทอดซ้ำได้ 32.2 ชั่วโมง น้ำมันผสมทอดซ้ำได้ 27.5 ชั่วโมง และน้ำมันทานตะวันเพียงอย่างเดียวสามารถทอดซ้ำได้เพียง 22.5 ชั่วโมง โดยมีปริมาณสารประกอบมีขี้จี้ไม่เกินมาตรฐานกำหนด ดังนั้นน้ำมันผสมสามารถทดแทนการใช้น้ำมันทานตะวันเพียงชนิดเดียวในการทอดอาหารได้

Farhoosh และคณะ (2009b) ศึกษาการใช้น้ำมันคาโนลาผสมกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันมะกอก หรือน้ำมันข้าวโพดในอัตราส่วน 75:25 (v/v) เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพในการทอดของน้ำมันคาโนลาเพียงชนิดเดียว โดยทอดมันฝรั่งแท่งขนาด $7.0 \times 0.5 \times 0.3$ เซนติเมตร 20 กรัม ด้วยน้ำมันผสม 2.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ทอดวันละ 8 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดเสร็จทุก 4 ชั่วโมงของแต่ละวัน เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของน้ำมันด้วยปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมัน และค่า oxidative stability index (OSI) พบว่าน้ำมันคาโนลาที่ผสมกับน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่า OSI สูงกว่าน้ำมันคาโนลาผสมกับน้ำมันมะกอก และน้ำมันคาโนลาผสมน้ำมันข้าวโพด และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันผสมแต่ละชนิด พบว่าน้ำมันคาโนลาที่ผสมน้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณต่ำกว่าน้ำมันผสมอีกสองชนิด ด้วยเหตุนี้ น้ำมันคาโนลาที่ผสมน้ำมันปาล์มโอเลอินจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยากเมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด ทำให้ค่า OSI ของน้ำมันผสมดังกล่าวมีค่าสูง

Farhoosh และ Kenari (2009) ศึกษาการใช้น้ำมันงา และน้ำมันรำข้าวมาปรับปรุงเสถียรภาพต่อการทอดของน้ำมันคาโนลา โดยเตรียมน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา น้ำมันงา และน้ำมันรำข้าวในอัตราส่วน 94:3:3 (w/w/w) ทอดมันฝรั่งแท่งขนาด $7.0 \times 0.5 \times 0.3$ เซนติเมตร

20 กรัม ด้วยน้ำมันผสม 2.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยทอด batch ละ 20 กรัม นาน 7 นาที จนครบ 8 ชั่วโมงต่อวัน และทอดเป็นเวลานาน 3 วัน เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอด 10 กรัม ทุกๆ 4 ชั่วโมง วิเคราะห์เสถียรภาพของน้ำมันจากปริมาณสารประกอบมีขี้ขาว โดยใช้เกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านการทอดมีสารประกอบมีขี้ขาวได้ไม่เกิน 24-27 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้น้ำมันคาโนลาเพียงอย่างเดียวสามารถทอดมันฝรั่งแห้งได้นาน 7.57 ชั่วโมง ขณะที่น้ำมันผสมในสัดส่วนข้างต้นสามารถทอดได้นานถึง 29.56 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน พบว่า น้ำมันงา และน้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ ได้แก่ sesamol และ oryzanol ตามลำดับ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตามธรรมชาติในน้ำมัน ดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันคาโนลาจึงช่วยปรับปรุงเสถียรภาพต่อการทอดของน้ำมันคาโนลาได้ดีขึ้น

2.5 การเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน

2.5.1 การเก็บรักษาน้ำมัน

การเก็บรักษาน้ำมันพืช เป็นการเก็บน้ำมันในช่วงก่อน หรือระหว่างการนำไปใช้ในการประกอบอาหาร ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน ปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำมัน (Morello และคณะ, 2004) อุณหภูมิในการเก็บรักษา ความชื้น และภาชนะที่ใช้เก็บรักษาน้ำมัน (Shiela และคณะ, 2004) เป็นต้น ในระหว่างการเก็บรักษา น้ำมันจะมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจน และความชื้นในอากาศ ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างช้าๆ ได้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ความคงตัว และอายุการเก็บรักษาของน้ำมันลดลง นอกจากนี้ระยะเวลาในการเก็บรักษา ยังมีความสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันด้วย โดยน้ำมันที่เก็บเป็นเวลานาน จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป (Gomez-Alonso และคณะ, 2007) ดังนั้นการเก็บรักษาน้ำมันจึงควรเก็บในภาชนะที่เหมาะสม เพื่อให้ น้ำมันยังคงสมบัติทั้งทางกายภาพและเคมี รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการ

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างการเก็บรักษา

น้ำมันที่เก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมีคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกระบวนการทอด แต่ในการเก็บรักษาปฏิกิริยาเคมีต่างๆ จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากในการเก็บรักษาน้ำมันมักเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งแตกต่างจากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอดอย่างมาก ปฏิกิริยาที่มีความสำคัญในการเก็บรักษาน้ำมัน คือ ปฏิกิริยา

ออกซิเดชัน ซึ่งเกิดจากการเก็บน้ำมันในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม กล่าวคือ น้ำมันที่เก็บในอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย นอกจากนี้ น้ำมันอาจสัมผัสกับแสงและออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันได้ดี

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา คือ ชนิด และปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน โดยน้ำมันที่มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก เมื่อเก็บในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม (อุณหภูมิสูง) เป็นเวลานาน น้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ส่งผลให้ความคงตัวของน้ำมันลดลง (Krichene และคณะ, 2010)

Shiela และคณะ (2004) ศึกษาความคงตัวของน้ำมันผสมเมื่อเก็บรักษาในภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกันสองภาวะคือ ภาวะที่หนึ่ง เก็บน้ำมันที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส/ความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ และภาวะที่สอง เก็บน้ำมันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส/ความชื้น 30-40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเปรียบเทียบภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาน้ำมัน โดยใช้ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมัสตาร์ด หรือน้ำมันทานตะวันเป็น base oil ผสมกับน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว หรือน้ำมันงา ในอัตราส่วน 80:20 (v/v) เก็บในภาวะที่กำหนดเป็นเวลา 6 เดือน สุ่มตัวอย่างน้ำมันทุกเดือน วิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมันจากสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่า น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันทานตะวันกับน้ำมันปาล์ม มีความคงตัวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมอื่นๆ เนื่องจากมีปริมาณโทโคฟีรอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติที่พบมากในน้ำมันพืชทั่วไปสูงที่สุดถึง 7700 ppm ส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าสี ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่ากรดไขมันอิสระน้อยที่สุดเมื่อเก็บเป็นเวลา 6 เดือน และเมื่อเปรียบเทียบภาวะที่แตกต่างในการเก็บรักษา พบว่า น้ำมันผสมทุกตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส/ความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ มีความคงตัวมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ความร้อนจะส่งผลในการทำลายโทโคฟีรอล และเบต้าแคโรทีน ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายขึ้น รวมทั้งความชื้นในการเก็บรักษายังเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย

Krichene และคณะ (2010) ศึกษาความคงตัวในการเก็บรักษาน้ำมันมะกอกสี ตัวอย่างที่มาจากแหล่งต่างกัน และเก็บในภาวะที่แตกต่างกัน คือ เก็บในขวดที่ไม่ปิดฝา และขวดที่ปิดฝา โดยเก็บน้ำมันในที่มีดที่อุณหภูมิ 50 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 เดือน เก็บตัวอย่างน้ำมันทุกเดือน วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมัน ปริมาณสารประกอบโทโคฟีรอล และค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า น้ำมันมะกอกที่มาจากแหล่งต่างกัน จะมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างกัน โดย

น้ำมันมะกอกที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในปริมาณสูง เมื่อผ่านการเก็บรักษาจะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุด ส่วนปริมาณโทโคฟีรอลที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน พบว่าน้ำมันที่มาจากแหล่งต่างกัน จะมีปริมาณต่างกันด้วย โดยน้ำมันมะกอกที่มีปริมาณโทโคฟีรอลสูง จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุด นอกจากนี้ภาวะในการเก็บรักษา ยังมีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน น้ำมันมะกอกทั้งสี่ตัวอย่างที่เก็บในขวดที่ปิดฝา จะมีความคงตัวในการเก็บรักษามากกว่าน้ำมันมะกอกที่เก็บในขวดที่ไม่ปิดฝา ซึ่งมีค่าเปอร์ออกไซด์สูง นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารประกอบโทโคฟีรอลที่เหลืออยู่ในน้ำมันมะกอกต่ำกว่า เนื่องจากน้ำมันจะสัมผัสกับออกซิเจน และความชื้นในอากาศ ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย

2.6 การใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติในการทอดและเก็บรักษาน้ำมัน

2.6.1 การใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติในกระบวนการทอดของน้ำมัน

น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังนั้นปัจจัยที่ควรใช้ในการพิจารณาเพื่อเลือกน้ำมันสำหรับการทอด คือ ความคงตัวของน้ำมัน นอกจากนี้ในน้ำมันยังมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่กรดไขมัน ได้แก่ โทโคฟีรอล เบต้าแคโรทีน สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้พบได้ในน้ำมันพืชทั่วไป และทำหน้าที่เป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด แต่สารประกอบดังกล่าวจะเกิดการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง (155-195 องศาเซลเซียส) (Choe และ Min, 2007) ปัจจุบันจึงมีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติมาเติมลงในน้ำมัน เพื่อทดแทนการใช้สารสังเคราะห์ทางเคมีต่างๆ เช่น butylated hydroxytoluene (BHT) butylated hydroxyanisole (BHA) และ tertiary butylhydroquinone (TBHQ) เป็นต้น

Farag และคณะ (2007) ศึกษาเสถียรภาพของน้ำมันทานตะวันที่เติม crude juice จากใบมะกอกพันธุ์ Kronakii ในปริมาณ 400 800 1600 และ 2400 ppm เปรียบเทียบกับน้ำมันทานตะวันที่เติมสาร BHT ปริมาณ 200 ppm โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน นาน 5 วัน พบว่าน้ำมันทานตะวันที่เติม crude juice จากใบมะกอก ปริมาณ 800 ppm มีความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเทียบเท่ากับน้ำมันที่เติมสาร BHT ปริมาณ 200 ppm และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น น้ำมันทุกตัวอย่าง จะมีสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น ค่าความหนืด ค่าสี ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณสารประกอบบีซีวีเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาปริมาณ crude juice จากใบมะกอกที่เติมในน้ำมัน พบว่าปริมาณดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับเสถียรภาพของน้ำมัน เมื่อเติมในปริมาณเพิ่มขึ้น น้ำมัน

จะมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดีด้วย โดยน้ำมันที่เติม crude juice จากใบมะกอกในปริมาณมากที่สุด (2400 ppm) จะมีค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทอด

Chiou และคณะ (2009) ศึกษาความคงตัวของน้ำมันทานตะวัน น้ำมันมะกอก และน้ำมันปาล์มผ่านการรีไฟน์ ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกสายพันธุ์ *Olea europaea* L. ในปริมาณแตกต่างกัน (120 และ 240 มิลลิกรัมโพลีฟีนอลต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม) ทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 175±5 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที พิจารณาความคงตัวของน้ำมันจากสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่า DPPH radical scavenging activity และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในน้ำมัน พบว่า น้ำมันทุกชนิดที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกปริมาณ 240 มิลลิกรัม มีค่า DPPH radical scavenging activity สูงกว่า และมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเหลืออยู่ในน้ำมันเมื่อผ่านการทอดมากกว่า น้ำมันที่ไม่เติม และเติมสารสกัดจากใบมะกอกปริมาณ 120 มิลลิกรัม และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันทั้งสามชนิด พบว่าน้ำมันปาล์มผ่านการรีไฟน์ เป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในปริมาณต่ำ ดังนั้นน้ำมันปาล์มผ่านการรีไฟน์ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอก 240 มิลลิกรัมโพลีฟีนอล จึงมีความคงตัวต่อความร้อนในการทอดมากที่สุด

ในทำนองเดียวกัน Konsoula และคณะ (2010) ได้ศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะกอก ที่เติมสารสกัดจากงาที่ผ่านกระบวนการแตกต่างกัน (งาที่ผ่านการคั่ว และไม่ผ่านการคั่ว) โดยให้ความร้อนกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมัน ได้แก่ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine พบว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น น้ำมันทุกตัวอย่างที่เติม และไม่เติมสารสกัดจากงา จะมีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine เพิ่มขึ้น โดยน้ำมันมะกอกที่เติมสารสกัดจากงาที่ไม่ผ่านการคั่ว มีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด ซึ่งส่งผลให้ค่า p-anisidine ของน้ำมันนี้มีค่าต่ำที่สุดด้วย เนื่องจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งไม่เสถียรเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง สารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว กลายเป็น secondary oxidation products ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน กรด ไฮโดรคาร์บอน โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ เป็นต้น ซึ่งสารประกอบดังกล่าวส่งผลต่อค่า p-anisidine ของน้ำมันมีค่าสูงขึ้น

2.6.2 การใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติในกระบวนการเก็บรักษาน้ำมัน

ระหว่างการเก็บรักษาน้ำมัน หรือน้ำมันที่เก็บในสถานะที่ไม่เหมาะสม จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งจะส่งผลต่อความคงตัวและอายุในการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้น้ำมันมีสมบัติทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไป ปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาน้ำมันเพื่อให้มีความคงตัวในการเก็บรักษา และการใช้สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติมาเติมลงในน้ำมันที่ต้องการเก็บรักษาเพื่อใช้ทดแทนการเติมสารสังเคราะห์ทางเคมีต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดการตกค้างในร่างกาย และอาจเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งได้ (Bouaziz และคณะ, 2008) ตัวอย่าง Bouaziz และคณะ (2008) ศึกษาคุณภาพของน้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์ และไม่ผ่านการรีไฟน์ เติมสารสกัดจากใบมะกอกพันธุ์ *Olea europaea* L. ปริมาณ 400 ppm เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันมะกอกที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันมะกอกที่ไม่เติมสารสกัด เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน และปริมาณสเตอรอล พบว่าน้ำมันมะกอกที่ผ่านการรีไฟน์ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอก มีปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งต่ำที่สุด ทำให้น้ำมันดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยาก จึงมีความคงตัวตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

Mariod และคณะ (2010) ศึกษาความคงตัวของน้ำมันข้าวโพดที่ผ่านการเติมสารสกัดจากใบของ *Monechma ciliatum* ในปริมาณ 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม โดยเปรียบเทียบความคงตัวในการเก็บรักษากับน้ำมันข้าวโพดที่เติมสาร BHT เก็บน้ำมันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความคงตัวจากสมบัติทางเคมีของน้ำมัน พบว่า น้ำมันข้าวโพดที่เติมสารสกัดปริมาณ 500 มิลลิกรัม มีความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันใกล้เคียงกับน้ำมันข้าวโพดที่เติมสาร BHT โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงว่าสารสกัดจากใบของ *Monechma ciliatum* ซึ่งประกอบด้วยสารเบต้าแคโรทีนเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณดังกล่าวสามารถใช้แทนสาร BHT ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ทางเคมีในการเก็บรักษาน้ำมันข้าวโพดได้

Zhang และคณะ (2010) ศึกษาความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากใบ rosemary ที่เติมลงในน้ำมันทานตะวันในปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม โดยเก็บน้ำมันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พิจารณาความคงตัวของน้ำมันระหว่างการเก็บรักษา โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันทานตะวันที่เติมสารสังเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ BHT และ BHA ในปริมาณเท่ากัน พบว่า น้ำมันทานตะวันที่เติมสารสกัดจากใบ

rosemary ปริมาณ 98.3 เปอร์เซ็นต์ carnosic acid มีค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระ และค่า p-anisidine ต่ำกว่าน้ำมันที่เติม BHT และ BHA แสดงว่าสารสกัดดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดีกว่าสารสังเคราะห์ทางเคมี เนื่องจากในใบ rosemary ประกอบด้วย carnosic acid ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมัน โดยเป็นตัวให้ไฮโดรเจนอะตอมกับ lipid radical ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูงในกระบวนการทอด เพื่อยับยั้งขั้นตอนการแตกตัวของพันธะคู่ของกรดไขมัน และป้องกันไม่ให้โมเลกุลออกซิเจนเข้าจับกับ lipid radical จึงใช้ทดแทนสารสังเคราะห์ทางเคมีได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

3.1.1 แปรสัดส่วนและวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันผสม

3.1.2 ศึกษาผลของการทอดแบบน้ำมันท่วมที่มีต่อเสถียรภาพของน้ำมันผสม

3.1.3 ศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ต่อเสถียรภาพในการทอดของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก

3.1.4 ศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ต่อเสถียรภาพในการเก็บรักษาของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 น้ำมันคาโนลา ตราโกลเด้น ดร็อบ ผลิตโดยไซม์ดาร์บี้ เอดิเบิ้ล โปรดักส์ ลิมิเต็ด ประเทศสิงคโปร์ ผลิตเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2552 โดยซื้อจากบริษัท บิ๊กซี ซูเปอร์เซ็นเตอร์ จำกัด (มหาชน) สาขาราชประสงค์

3.2.2 น้ำมันปาล์มโอเลอิน ตราโอสัน ผลิตโดยบริษัท โอสัน จำกัด เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2552 โดยซื้อจากบริษัท บิ๊กซี ซูเปอร์เซ็นเตอร์ จำกัด (มหาชน) สาขาราชประสงค์

3.2.3 ใบมะกอกน้ำสายพันธุ์ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม ปี 2553 ซื้อจากตลาดนัดจตุจักร กรุงเทพมหานคร

3.3 อุปกรณ์

- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield รุ่น DV I, USA)
- เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter, รุ่น CR-300, Japan)
- เครื่องวัดสารประกอบมีซีว (Testo 265, Germany)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Satorius, A 200s)
- นาฬิกาจับเวลา (Alba, sw01-x002)
- หม้อทอด ขนาด 4 ลิตร (Princess 2626 Deep Fryer, Netherland)

3.4 สารเคมี

- Acetic acid (CH_3COOH)
- Hydrochloric acid 1M (HCl)
- Chloroform (CHCl_3)
- Sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- Sodium hydroxide (NaOH)
- Sodium Sulphate (Na_2SO_4)
- Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- Potassium iodide (KI)
- Potassium hydrogen phthalate ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)
- Phenolphthalein ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)
- สารละลายน้ำแป้งสุก 1% (Starch solution)
- Ethyl alcohol 95% ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

3.5 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันก่อนและหลังการทอด

3.5.1 วิเคราะห์หาค่าประกอบกรดไขมัน ตามวิธีของ AOCS:Ce 1f-96 (1998)

วิเคราะห์หาค่าประกอบกรดไขมันในน้ำมัน โดยใช้เครื่อง gas chromatography (Agilent รุ่น 6890N, USA) ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

3.5.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

- วัดค่าสีตามระบบ CIE (L^* a^* b^*) โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter, รุ่น CR-300
- วัดค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield รุ่น DV I

3.5.3 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี (รายละเอียดในภาคผนวก ค)

- วัดปริมาณสารประกอบมีซั่ว โดยใช้เครื่อง Testo 265
- วิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระ โดยวิธี Titration (AOCS:Ca 5a-40, 1998)
- วิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ โดยวิธี Titration (AOCS:Cd 8-53, 1998)
- วิเคราะห์หาค่า p-anisidine ตามวิธีของ AOCS:Cd 18-90 (2009)

3.6 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันก่อนและหลังการเก็บรักษา

3.6.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

- วัดค่าสีตามระบบ CIE (L^* a^* b^*) โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter, รุ่น CR-300
- วัดค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield รุ่น DV I

3.6.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี (รายละเอียดในภาคผนวก ค)

- วิเคราะห์หาค่า 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ตามวิธีของ Kubola และ Siriamornpun (2008)
- วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีของ Gutfinger (1981)

3.7 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.7.1 แปรสัดส่วนและวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันผสม

3.7.1.1 รวบรวมข้อมูลทางด้านองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันบริโภค โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันงา น้ำมันคาโนลา และน้ำมันทานตะวัน (รายละเอียดในภาคผนวก ง) คัดเลือกน้ำมันเดี่ยวสองชนิดคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และ น้ำมันคาโนลา โดยพิจารณาจากสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ของน้ำมันคาโนลา และสมบัติในการทนต่อความร้อนของน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อนำมาพัฒนาเป็นน้ำมันผสมที่มีสัดส่วนองค์ประกอบของกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ใกล้เคียงกับสัดส่วน 2:1 ถึง 5:1 (รายละเอียดในภาคผนวก ง) โดยแปรสัดส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลากับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ในการทดลองเป็น 7 สูตร ดังนี้

สูตร 1 น้ำมันคาโนลา (CAO)

สูตร 2 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (POO)

สูตร 3 น้ำมันคาโนลา : น้ำมันปาล์มโอเลอิน 20:80 (v/v) (CAO:POO 20:80 (v/v))

สูตร 4 น้ำมันคาโนลา : น้ำมันปาล์มโอเลอิน 25:75 (v/v) (CAO:POO 25:75 (v/v))

สูตร 5 น้ำมันคาโนลา : น้ำมันปาล์มโอเลอิน 30:70 (v/v) (CAO:POO 30:70 (v/v))

สูตร 6 น้ำมันคาโนลา :น้ำมันปาล์มโอเลอิน 40:60 (v/v) (CAO:POO 40:60 (v/v))

สูตร 7 น้ำมันคาโนลา :น้ำมันปาล์มโอเลอิน 75:25 (v/v) (CAO:POO 75:25 (v/v))

ตวงน้ำมันคาโนลา และน้ำมันปาล์มโอเลอินด้วยกระบอกตวงพลาสติกขนาด 1000 มิลลิลิตร ตามอัตราส่วนที่กำหนด ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมน้ำมันให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง magnetic stirrer (Fremo-Geratetechink รุ่น M21/1, Germany) ที่ความเร็วระดับ 5 กวนน้ำมันอย่างต่อเนื่องนาน 1 นาที

3.7.1.2 วิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันผสม 7 สูตร ตามวิธีของ AOCS:Ce 1f-96 (1998) โดยใช้เครื่อง gas chromatography ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7.2 ศึกษาเสถียรภาพการทอดแบบน้ำมันท่วมของน้ำมันชนิดเดี่ยว และน้ำมันผสม

3.7.2.1 ทอดมันฝรั่งแผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรหนา 1 มิลลิเมตร 300 กรัม ในน้ำมัน 2 ลิตร ด้วยหม้อทอดขนาด 4 ลิตร (Princess 2626 Deep Fryer, Netherland) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และพัก 4 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำมันในหม้อทอดอยู่ในระดับที่ตั้งไว้ โดยทอดมันฝรั่งแผ่นแต่ละ batch อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันที่เวลา 0 20 40 และ 60 นาที

3.7.2.2 นำตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอดมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด และค่าสี และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าสารประกอบมีซิว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

3.7.2.3 คัดเลือกสูตรน้ำมันผสมที่มีเสถียรภาพต่อการทอดมากที่สุด 1 สูตร โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและเคมี

3.7.3 ศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ต่อเสถียรภาพในการทอดแบบน้ำมันท่วมของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก

3.7.3.1 เตรียมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ โดยนำใบมะกอกน้ำที่เก็บในช่วงเดือนมกราคม ปี 2553 (เลือกใบที่ไม่เป็นโรค) ล้างน้ำให้สะอาด อบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เก็บในเดซิคเคเตอร์ 1 วัน ก่อนนำไปสกัด โดยใช้ปริมาณใบมะกอกน้ำอบแห้งต่อเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ (ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส) อัตราส่วน 1:8 (w/v) บดด้วย hand homogenizer เป็นเวลา 10 นาที (ควบคุมอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส) จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง กรองสารละลายที่บ่มได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำไประเหยด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator โดยควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เพื่อกำจัดเอทานอล ได้สารสกัดเป็นของเหลวสีเขียวใส เก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากวิธีของ ดิษยา พรพัฒนนางกูร, 2548) จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ค่า DPPH radical-scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

3.7.3.2 แปรปริมาณการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำเป็น 0 200 400 600 และ 800 ppm ลงในน้ำมันผสม (สูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.7.2.3) และนำน้ำมันผสมที่ผ่านการเติมสารสกัดในปริมาณต่างๆ ไปผ่านกระบวนการทอดตามข้อ 3.7.2.1

3.7.3.3 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอดตามข้อ 3.7.2.2 และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าสารประกอบมีขี้ผึ้ง ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า p-anisidine ค่า DPPH radical-scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DNMRT

3.7.4 ศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ต่อเสถียรภาพในการเก็บรักษาของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก

3.7.4.1 เก็บน้ำมันผสมสูตรที่คัดเลือกที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณที่คัดเลือกจากข้อ 3.7.3 และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ปริมาตร 1 ลิตร ในขวด Polyethylene terephthalate (PET) ที่มีฝาปิด ในตู้ที่ไม่มีแสงส่องผ่านที่อุณหภูมิห้อง (27 องศาเซลเซียส) และ

40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน เก็บตัวอย่างน้ำมันจากขวดเดียวกันทุก 1 เดือน จนครบเวลาในการเก็บรักษา โดย headspace ของน้ำมันในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน

3.7.4.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการเก็บรักษาตามข้อ 3.7.2.2 และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า DPPH radical-scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วางแผนการทดลองแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ขนาด 2x2 โดยมีปัจจัยในการศึกษา 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ อุณหภูมิในการเก็บรักษามี 2 ระดับ (อุณหภูมิห้อง และ 40 องศาเซลเซียส) และปัจจัยที่สอง คือ ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำมี 2 ระดับ (เต็ม และ ไม่เต็มสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DNMR

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้าของน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันคาโนลา และน้ำมันผสม

เมื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสม แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันคาโนลา มีกรดไขมันโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 สูงกว่าในทุกตัวอย่างน้ำมัน และพบว่าทั้งน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันคาโนลา มีกรดไขมันโอเมก้า 9 สูงเช่นกัน เมื่อนำน้ำมันทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นน้ำมันผสมโดยแปรอัตราส่วนน้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็น 20:80 25:75 30:70 40:60 และ 75:25 (v/v) พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันคาโนลาเพิ่มสูงขึ้น ทำให้น้ำมันผสมมีปริมาณกรดไขมันทั้งสามชนิด (โอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9) เพิ่มขึ้นด้วย จากการพิจารณาสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 พบว่ามีน้ำมันผสม 4 สูตรที่มีสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 อยู่ระหว่าง 2:1 ถึง 5:1 คือ น้ำมันผสมในอัตราส่วน 25:75 30:70 40:60 และ 75:25 (v/v) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สอดคล้องกับคำแนะนำให้บริโภคของสมาคมหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้าของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสม

สูตรน้ำมัน (v/v)	ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า (%)			สัดส่วนของ Ω-6 : Ω-3
	โอเมก้า 3 (Ω-3)	โอเมก้า 6 (Ω-6)	โอเมก้า 9 (Ω-9)	
คาโนลา (CAO)	6.42	15.80	33.95	2.46 : 1
ปาล์มโอเลอิน (POO)	0.45	7.14	19.95	15.87 : 1
CAO:POO (20:80)	1.89	10.01	31.02	5.30 : 1
CAO:POO (25:75)	2.04	10.05	31.56	4.92 : 1
CAO:POO (30:70)	2.26	10.96	31.58	4.85 : 1
CAO:POO (40:60)	2.63	11.00	31.98	4.18 : 1
CAO:POO (75:25)	5.34	14.82	32.99	2.78 : 1

4.2 ผลของการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอิน

4.2.1 ความหนืด

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าความหนืดเริ่มต้นของน้ำมันแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันคาโนลา มีค่าความหนืดมากที่สุด และเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ความหนืดของน้ำมันทุกสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันคาโนลา พบว่าน้ำมันผสมที่มีอัตราส่วนของน้ำมันคาโนลา มากที่สุด (อัตราส่วน 75:25 v/v) จะมีค่าความหนืดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ เนื่องจากความหนืดของน้ำมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดนั้นๆ นอกจากนี้ อุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการทอด ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นน้ำมันที่มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จึงเกิดปฏิกิริยา ดังกล่าวได้ง่าย ทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Bennion, 1995)

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน โดยวัดเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
คาโนลา (CAO)	55.6 ^{Ad} ± 1.18	56.2 ^{Ac} ± 2.27	56.8 ^{Ab} ± 1.78	58.2 ^{Aa} ± 0.50
ปาล์มโอเลอิน (POO)	50.5 ^{Ed} ± 0.58	52.1 ^{Gc} ± 0.90	52.6 ^{Fb} ± 1.34	54.0 ^{Ea} ± 0.89
CAO:POO (20:80)	51.5 ^{Dc} ± 0.50	52.9 ^{Fbc} ± 5.61	53.7 ^{Eb} ± 3.37	54.1 ^{Da} ± 2.56
CAO:POO (25:75)	53.0 ^{Cc} ± 1.43	53.7 ^{Ec} ± 5.80	54.9 ^{Db} ± 5.37	55.4 ^{CDa} ± 1.08
CAO:POO (30:70)	53.7 ^{BCd} ± 0.53	53.2 ^{Dc} ± 0.52	54.2 ^{Cb} ± 0.57	55.5 ^{CDa} ± 0.54
CAO:POO (40:60)	54.4 ^{Bb} ± 1.44	54.7 ^{Cb} ± 3.00	54.9 ^{Cb} ± 0.63	55.7 ^{Ca} ± 0.53
CAO:POO (75:25)	54.9 ^{Ac} ± 0.52	55.3 ^{Bb} ± 0.97	55.3 ^{Bb} ± 0.52	57.2 ^{Ba} ± 3.29

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.2 ค่าสี

จากตารางที่ 4.3-4.5 เมื่อพิจารณาค่าสี (L^* a^* และ b^*) ของน้ำมัน พบว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทอดนานขึ้น น้ำมันแต่ละสูตรจะมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) ลดลง ขณะที่ค่าสีเหลือง (b^*)

มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rhee และคณะ (1992) ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น สีของน้ำมันที่ใช้ทอด beef nugget จะเข้มขึ้น เนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างการทอด สารประกอบคาร์บอนิลที่เกิดขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น และยังคงสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Khan และคณะ (2008) ที่พบว่า น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันงา น้ำมันมะพร้าวโอเลอินกับน้ำมันงา และน้ำมันมะพร้าวโอเลอินกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วม มีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนสูงที่ใช้ในการทอด และปริมาณเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองที่มีอยู่ตามธรรมชาติในน้ำมัน ดังนั้นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของเบต้าแคโรทีนในปริมาณมาก เช่น น้ำมันปาล์มโอเลอิน หรือ น้ำมันผสมที่มีน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นส่วนประกอบ จึงมีสีเข้มกว่าน้ำมันชนิดอื่น

ตารางที่ 4.3 ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
คาโนลา (CAO)	103.7 ^{Aa} ± 0.26	103.3 ^{Aa} ± 0.26	102.7 ^{Ab} ± 0.17	101.9 ^{Ac} ± 0.21
ปาล์มโอเลอิน (POO)	101.7 ^{Da} ± 0.14	101.2 ^{Db} ± 0.17	99.6 ^{Ec} ± 0.09	98.5 ^{Fd} ± 0.32
CAO:POO (20:80)	102.0 ^{Ca} ± 0.22	101.8 ^{Cb} ± 0.13	100.9 ^{Db} ± 0.10	99.2 ^{Ec} ± 0.11
CAO:POO (25:75)	102.1 ^{Ca} ± 0.03	101.9 ^{Cb} ± 0.18	101.0 ^{Dc} ± 0.12	99.6 ^{Dd} ± 0.03
CAO:POO (30:70)	102.2 ^{Ca} ± 0.09	101.9 ^{Cb} ± 0.01	101.0 ^{Dc} ± 0.04	100.6 ^{Cd} ± 0.03
CAO:POO (40:60)	102.2 ^{Ca} ± 0.16	102.0 ^{Cb} ± 0.02	101.7 ^{Cc} ± 0.05	100.8 ^{Cd} ± 0.12
CAO:POO (75:25)	103.0 ^{Ba} ± 0.04	102.8 ^{Ba} ± 0.15	102.0 ^{Bb} ± 0.17	101.1 ^{Bc} ± 0.19

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
คาโนลา (CAO)	-7.12 ^{Ea} ± 0.03	-7.47 ^{Fb} ± 0.03	-7.95 ^{Gc} ± 0.05	-8.72 ^{Gd} ± 0.25
ปาล์มโอเลอิน (POO)	-2.97 ^{Aa} ± 0.07	-3.12 ^{Aab} ± 0.18	-3.40 ^{Abc} ± 0.23	-3.71 ^{Ac} ± 0.30
CAO:POO (20:80)	-4.18 ^{Ba} ± 0.03	-4.29 ^{Bab} ± 0.14	-4.38 ^{Bb} ± 0.06	-4.40 ^{Bb} ± 0.02
CAO:POO (25:75)	-4.87 ^{Ca} ± 0.19	-5.18 ^{Cb} ± 0.12	-5.53 ^{Cc} ± 0.13	-5.66 ^{Cc} ± 0.16
CAO:POO (30:70)	-4.93 ^{Ca} ± 0.12	-5.29 ^{CDb} ± 0.05	-5.73 ^{Dc} ± 0.02	-6.03 ^{Dd} ± 0.03
CAO:POO (40:60)	-5.07 ^{Ca} ± 0.06	-5.48 ^{Db} ± 0.03	-5.95 ^{Ec} ± 0.04	-6.36 ^{Ed} ± 0.03
CAO:POO (75:25)	-6.59 ^{Da} ± 0.17	-6.89 ^{Eb} ± 0.22	-7.38 ^{Fc} ± 0.02	-7.80 ^{Fd} ± 0.08

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
คาโนลา (CAO)	10.00 ^{Gd} ± 0.17	11.47 ^{Gc} ± 0.03	12.58 ^{Gb} ± 0.20	13.82 ^{Fa} ± 0.21
ปาล์มโอเลอิน (POO)	26.84 ^{Ad} ± 0.33	27.44 ^{Ac} ± 0.08	27.80 ^{Ab} ± 0.02	28.61 ^{Aa} ± 0.08
CAO:POO (20:80)	23.20 ^{Bd} ± 0.38	25.20 ^{Bc} ± 0.15	26.36 ^{Bb} ± 0.34	27.22 ^{Ba} ± 0.31
CAO:POO (25:75)	22.93 ^{Cd} ± 0.15	24.42 ^{Cc} ± 0.05	25.01 ^{Cb} ± 0.02	25.45 ^{Ca} ± 0.07
CAO:POO (30:70)	22.71 ^{Dd} ± 0.13	23.47 ^{Dc} ± 0.03	24.17 ^{Db} ± 0.26	25.21 ^{Ca} ± 0.06
CAO:POO (40:60)	21.26 ^{Ed} ± 0.36	21.88 ^{Ec} ± 0.19	22.99 ^{Eb} ± 0.22	23.84 ^{Da} ± 0.67
CAO:POO (75:25)	14.65 ^{Fd} ± 0.12	16.57 ^{Fc} ± 0.09	17.58 ^{Fb} ± 0.22	18.81 ^{Ea} ± 0.10

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.3 ปริมาณสารประกอบมีขี้

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 พบว่าก่อนการทอด น้ำมันคาโนลาที่มีปริมาณสารประกอบมีขี้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวอย่างน้ำมัน และเมื่อผ่านกระบวนการทอด ทั้งน้ำมันชนิดเดียวและน้ำมันผสมมีปริมาณสารประกอบมีขี้ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) น้ำมันผสมที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณมากที่สุด คือ น้ำมันผสมที่อัตราส่วน 75:25 (v/v) เกิดสารประกอบมีขี้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Farhoosh และ Kenari (2009) ที่พบว่าเมื่อผ่านกระบวนการทอดที่อุณหภูมิสูง น้ำมันผสมที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก จะเกิดสารประกอบมีขี้มาก นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า เมื่อผ่านการทอดที่ระยะเวลาเท่ากัน (60 นาที) น้ำมันผสมที่อัตราส่วน 25:75 (v/v) มีปริมาณสารประกอบมีขี้ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบมีขี้ข้น้อยที่สุด ใกล้เคียงกับน้ำมันผสมที่อัตราส่วน 20:80 (v/v) ซึ่งมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัว 6 ต่อไม่อิ่มตัว 3 ไม่สอดคล้องกับสัดส่วนที่แนะนำให้บริโภค

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบมีขี้ (%) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การเปลี่ยนแปลง ปริมาณสารประกอบมีขี้ (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
คาโนลา (CAO)	9.83 ^{Ad} ± 0.16	19.50 ^{Ac} ± 0.13	19.72 ^{Ab} ± 0.07	20.01 ^{Aa} ± 0.04	103.56
ปาล์มโอเลอิน (POO)	9.36 ^{Cd} ± 0.04	15.48 ^{Fc} ± 0.02	15.79 ^{Eb} ± 0.20	16.02 ^{Da} ± 0.03	71.15
CAO:POO (20:80)	9.63 ^{Bd} ± 0.07	17.03 ^{Ec} ± 0.08	17.33 ^{Db} ± 0.06	17.60 ^{Ca} ± 0.23	82.76
CAO:POO (25:75)	9.64 ^{ABd} ± 0.05	17.13 ^{Dec} ± 0.09	17.35 ^{Db} ± 0.05	17.62 ^{Ca} ± 0.08	82.78
CAO:POO (30:70)	9.67 ^{ABd} ± 0.16	17.28 ^{CDc} ± 0.04	17.55 ^{Cb} ± 0.01	17.86 ^{Ba} ± 0.96	84.69
CAO:POO (40:60)	9.70 ^{ABd} ± 0.05	17.30 ^{Cc} ± 0.09	17.58 ^{Cb} ± 0.16	17.92 ^{Ba} ± 0.10	84.74
CAO:POO (75:25)	9.80 ^{ABd} ± 0.06	18.22 ^{Bc} ± 0.12	19.11 ^{Bb} ± 0.10	19.83 ^{Aa} ± 0.03	102.35

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 ค่ากรดไขมันอิสระ

จากตารางที่ 4.7 พบว่า น้ำมันคาโนลาที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงที่สุด เมื่อผ่านการทอดที่ระยะเวลาต่างๆ ไปแล้ว โดยเมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันผสม 5 สูตร พบว่า น้ำมันผสมที่มีอัตราส่วนน้ำมันคาโนลาเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ค่ากรดไขมันอิสระจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่เวลาการทอดที่ 40 และ 60 นาที โดยน้ำมันผสมทุกสูตรมีค่ากรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี ซึ่งอยู่ในข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 205 (พ.ศ. 2543) และเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ พบว่า น้ำมันผสมที่อัตราส่วน 20:80 (v/v) มีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุดเท่ากับ 50.60% แต่เนื่องจากน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมีส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ไม่สอดคล้องกับคำแนะนำให้บริโภคของสมาคมหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกา จึงพิจารณาน้ำมันผสมที่อัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่มีเสถียรภาพต่อการทอดรองลงมา โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับ 54.88%

ทั้งนี้กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างกระบวนการทอด โดยน้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารในรูปของไอน้ำและทำปฏิกิริยากับพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน ได้เป็นกรดไขมันอิสระ ดังนั้นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระได้ดี (นิธิยา รัตนานนท์, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tabee และคณะ (2009) ที่พบว่าน้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์ที่มีองค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ยากและคงทนต่อความร้อน จึงมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำกว่า

ตารางที่ 4.7 ค่ากรดไขมันอิสระ (% กรดโอเลอิก) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การเปลี่ยนแปลง ค่ากรดไขมันอิสระ (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
คาโนลา (CAO)	0.075 ^{Cd} ± 0.004	0.123 ^{Ac} ± 0.001	0.128 ^{Ab} ± 0.001	0.144 ^{Aa} ± 0.003	92.00
ปาล์มโอเลอิน (POO)	0.080 ^{ABc} ± 0.002	0.111 ^{Bb} ± 0.007	0.116 ^{CDab} ± 0.003	0.123 ^{Da} ± 0.002	53.75
CAO:POO (20:80)	0.083 ^{Ad} ± 0.004	0.114 ^{Cc} ± 0.001	0.118 ^{Eb} ± 0.003	0.125 ^{Ea} ± 0.001	50.60
CAO:POO (25:75)	0.082 ^{Ad} ± 0.003	0.115 ^{Cc} ± 0.002	0.119 ^{Db} ± 0.002	0.127 ^{DEa} ± 0.001	54.88
CAO:POO (30:70)	0.081 ^{Ad} ± 0.001	0.116 ^{ABc} ± 0.002	0.119 ^{BCDb} ± 0.001	0.129 ^{Ca} ± 0.003	59.26
CAO:POO (40:60)	0.080 ^{ABd} ± 0.001	0.116 ^{ABc} ± 0.002	0.119 ^{BCb} ± 0.001	0.131 ^{BCa} ± 0.001	63.75
CAO:POO (75:25)	0.078 ^{Bc} ± 0.003	0.119 ^{ABb} ± 0.002	0.126 ^{Bb} ± 0.001	0.139 ^{ABa} ± 0.001	78.21

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.5 ค่าเปอร์ออกไซด์

เมื่อพิจารณาค่าเปอร์ออกไซด์จากตารางที่ 4.8 พบว่า น้ำมันคาโนลา มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุด และน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด ทั้งก่อนและหลังผ่านการทอด โดยเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ทั้งน้ำมันชนิดเดียวและน้ำมันผสมจะมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เมื่ออัตราส่วนของน้ำมันคาโนลาในน้ำมันผสมเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันผสมมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ด้วย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Naz และคณะ (2004) ที่ศึกษาความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะกอก เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วม พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุด เนื่องจากน้ำมันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันข้าวโพด (85.27%) และน้ำมันมะกอก (83.66%) ตามลำดับ นอกจากนี้จากผลการทดลองในตารางที่ 4.8 พบว่า น้ำมันผสมในอัตราส่วน 20:80 (v/v) และอัตราส่วน 25:75 (v/v) มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 82.61% และ 82.80% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ เนื่องจากน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในปริมาณต่ำ จึงมีความคงตัวต่อความร้อนจากกระบวนการทอดได้ดี

ตารางที่ 4.8 ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEqv.O₂/kg) ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การเปลี่ยนแปลง ค่าเปอร์ออกไซด์ (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
คาโนลา (CAO)	1.33 ^{Ac} ± 0.02	1.96 ^{Ab} ± 0.02	1.98 ^{Ab} ± 0.03	2.54 ^{Aa} ± 0.19	90.98
ปาล์มโอเลอิน (POO)	0.90 ^{Ec} ± 0.02	1.23 ^{Fb} ± 0.03	1.39 ^{Ea} ± 0.06	1.47 ^{Ca} ± 0.15	63.33
CAO:POO (20:80)	0.92 ^{Db} ± 0.01	1.60 ^{Ea} ± 0.03	1.64 ^{Da} ± 0.02	1.68 ^{Ba} ± 0.09	82.61
CAO:POO (25:75)	0.93 ^{Dd} ± 0.02	1.62 ^{Dec} ± 0.02	1.66 ^{CDb} ± 0.01	1.70 ^{Ba} ± 0.01	82.80
CAO:POO (30:70)	0.95 ^{CDc} ± 0.01	1.66 ^{CDb} ± 0.01	1.69 ^{CDb} ± 0.01	1.75 ^{Ba} ± 0.04	84.21
CAO:POO (40:60)	0.97 ^{Cc} ± 0.02	1.67 ^{Cb} ± 0.03	1.70 ^{Cb} ± 0.02	1.79 ^{Ba} ± 0.01	84.54
CAO:POO (75:25)	1.13 ^{Bc} ± 0.05	1.86 ^{Bb} ± 0.05	1.91 ^{Bb} ± 0.02	2.11 ^{Aa} ± 0.09	86.73

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.6 ค่า p-anisidine

จากการทดลองในตารางที่ 4.9 พบว่า น้ำมันคาโนลาที่มีค่า p-anisidine สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมทุกสูตร ทั้งก่อนและหลังผ่านการทอด และเมื่อผ่านการทอดที่ระยะเวลาต่างๆ ค่า p-anisidine ของน้ำมันผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันผสมที่มีอัตราส่วนของน้ำมันคาโนลามากที่สุด คือ น้ำมันผสมอัตราส่วน 75:25 (v/v) เมื่อผ่านการทอด 60 นาที จะมีค่า p-anisidine สูงที่สุดเท่ากับ 9.05 เนื่องจากน้ำมันผสมดังกล่าวมีปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งสูงกว่า น้ำมันผสมสูตรอื่นๆ จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย จึงมีค่า p-anisidine สูง แสดงว่าน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมีเสถียรภาพต่อการทอดแบบน้ำมันท่วมต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tabee และคณะ (2009) ที่ศึกษาความคงตัวต่อการทอดของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันมะกอกที่ผ่านการรีไฟน์ ที่พบว่าน้ำมันทั้งสองชนิดมีค่า p-anisidine เพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งในการทอด นอกจากนี้ น้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยากและมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดี

ตารางที่ 4.9 ค่า p-anisidine ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

สูตรน้ำมัน (v/v)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
คาโนลา (CAO)	1.20 ^{Ad} ± 0.02	4.75 ^{Ac} ± 0.26	6.55 ^{Ab} ± 0.08	9.50 ^{Aa} ± 0.18
ปาล์มโอเลอิน (POO)	0.88 ^{Dd} ± 0.05	3.04 ^{Fc} ± 0.05	3.57 ^{Fb} ± 0.19	5.50 ^{Fa} ± 0.05
CAO:POO (20:80)	0.93 ^{Cd} ± 0.04	3.50 ^{Ec} ± 0.17	4.33 ^{Eb} ± 0.18	7.33 ^{Ea} ± 0.28
CAO:POO (25:75)	0.94 ^{Cd} ± 0.01	3.69 ^{Dec} ± 0.20	4.54 ^{Deb} ± 0.06	7.55 ^{DEa} ± 0.15
CAO:POO (30:70)	0.95 ^{Cd} ± 0.02	3.89 ^{CDc} ± 0.11	4.67 ^{Db} ± 0.09	7.75 ^{CDa} ± 0.01
CAO:POO (40:60)	0.95 ^{Cd} ± 0.05	4.01 ^{BCc} ± 0.01	5.01 ^{Cb} ± 0.02	7.84 ^{Ca} ± 0.03
CAO:POO (75:25)	1.14 ^{Bd} ± 0.02	4.24 ^{Bc} ± 0.04	6.13 ^{Bb} ± 0.17	9.05 ^{Ba} ± 0.04

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 ผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก ระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม

เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมต่อเสถียรภาพในกระบวนการทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วม พบว่า จากน้ำมันผสมที่มีสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เหมาะสมต่อการบริโภค น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินในอัตราส่วน 25:75 (v/v) มีเสถียรภาพต่อการทอดมากที่สุด จึงเลือกน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมาเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ในปริมาณต่างๆ คือ 0 200 400 600 และ 800 ppm (โดยสารสกัดดังกล่าวมีค่า DPPH radical-scavenging activity เท่ากับ 41.41% และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 114.53 mg gallic acid/g sample) โดยทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอดทุกๆ 20 นาที วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหลังผ่านการทอด เพื่อคัดเลือกน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการเก็บรักษาต่อไป

4.3.1 ความหนืด

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าความหนืดเริ่มต้นของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ค่าความหนืดของน้ำมันที่ไม่เติม และเติมสารสกัดปริมาณ 200 400 และ 600 ppm มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากในสารสกัดจากใบมะกอกมีสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติ (ดิษยา พรพัฒนางกูร, 2548) สารสกัดดังกล่าวช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด ดังนั้นน้ำมันที่เติมสารสกัดในปริมาณมากที่สุด (800 ppm) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยาก และมีค่าความหนืดต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารเติมในปริมาณอื่น ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Farag และคณะ (2006) ที่ศึกษาเสถียรภาพต่อการทอดของน้ำมันทานตะวันที่เติม crude juice จากใบมะกอกพันธุ์ *Kronakii* พบว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดของน้ำมันจะสูงขึ้นด้วย โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดในปริมาณมากที่สุด (2400 ppm) จะมีค่าความหนืดต่ำที่สุด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อน

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน โดยวัดเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ปริมาณสารสกัดจาก ใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
0 (control)	53.1 ^{Ad} ± 1.43	53.7 ^{Ac} ± 5.80	55.0 ^{Ab} ± 5.37	55.4 ^{Aa} ± 1.08
200	52.7 ^{Bb} ± 5.80	52.7 ^{Bb} ± 0.67	53.2 ^{Bb} ± 0.55	53.9 ^{Ba} ± 0.64
400	52.7 ^{Bc} ± 4.34	52.6 ^{Bb} ± 0.77	52.7 ^{BCb} ± 0.53	53.9 ^{Ca} ± 0.57
600	52.2 ^{Bb} ± 0.51	52.5 ^{Bb} ± 0.53	52.6 ^{CDb} ± 0.58	52.8 ^{Da} ± 0.51
800 ^{ns}	52.2 ^B ± 0.55	52.5 ^B ± 0.52	52.6 ^D ± 0.55	52.8 ^D ± 0.66

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ตัวเลขที่อยู่ในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3.2 ค่าสี

จากการวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำพบว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทอดนานขึ้น ทั้งค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันทุกตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดในปริมาณมากขึ้น ค่าความสว่างของน้ำมันจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ด้วย แสดงในตารางที่ 4.11-4.13 เนื่องจากน้ำมันที่ได้รับความร้อนเป็นเวลานาน จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ง่าย ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น นอกจากนี้ปริมาณสารสกัดที่เติมลงในน้ำมันผสม ก็มีผลต่อค่าความสว่างของน้ำมันเช่นกัน เนื่องจากสารสกัดจากใบมะกอกน้ำมีสีเขียวค่อนข้างเข้ม เมื่อเติมสารสกัดดังกล่าวในปริมาณเพิ่มขึ้น น้ำมันจึงมีสีเข้มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.11 ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจาก ใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
0 (control)	102.10 ^{Aa} ± 0.15	101.90 ^{Ab} ± 0.09	101.00 ^{Ac} ± 0.11	99.60 ^{Ad} ± 0.04
200	99.59 ^{Ba} ± 0.26	99.30 ^{Bb} ± 0.01	99.05 ^{Bc} ± 0.03	98.03 ^{Bd} ± 0.04
400	99.58 ^{Ba} ± 0.04	99.14 ^{Cb} ± 0.01	99.02 ^{Bc} ± 0.02	98.02 ^{Bd} ± 0.02
600	99.58 ^{Ba} ± 0.12	99.05 ^{Db} ± 0.04	98.82 ^{Cc} ± 0.06	97.91 ^{Cd} ± 0.03
800	99.48 ^{Ba} ± 0.13	99.03 ^{Db} ± 0.04	98.53 ^{Dc} ± 0.03	97.72 ^{Dd} ± 0.11

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจาก ใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
0 (control)	-4.87 ^{Aa} ± 0.08	-5.18 ^{Ab} ± 0.04	-5.53 ^{Ac} ± 0.19	-5.70 ^{Ac} ± 0.04
200	-7.05 ^{Bc} ± 0.06	-6.25 ^{Bb} ± 0.07	-6.11 ^{Aa} ± 0.02	-6.02 ^{Ba} ± 0.04
400	-7.20 ^{Cd} ± 0.02	-6.32 ^{Bc} ± 0.04	-6.19 ^{Ab} ± 0.01	-6.12 ^{Ca} ± 0.02
600 ^{ns}	-7.34 ^D ± 0.02	-6.39 ^C ± 0.02	-6.30 ^A ± 0.28	-6.21 ^D ± 0.05
800	-7.45 ^{Ec} ± 0.05	-6.55 ^{Db} ± 0.11	-6.48 ^{Aab} ± 0.03	-6.39 ^{Ea} ± 0.04

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ตัวเลขที่อยู่ในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจาก ใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)			
	ก่อนทอด	20	40	60
0 (control)	22.93 ^{Ad} ± 0.04	24.42 ^{Ac} ± 0.03	25.01 ^{Ab} ± 0.02	25.44 ^{Aa} ± 0.14
200	22.22 ^{Bd} ± 0.10	24.37 ^{Ac} ± 0.04	24.86 ^{Bb} ± 0.07	25.18 ^{Ba} ± 0.02
400	22.20 ^{Bd} ± 0.06	24.31 ^{Ac} ± 0.02	24.77 ^{Cb} ± 0.02	25.09 ^{Ba} ± 0.04
600	22.18 ^{Bd} ± 0.03	24.01 ^{Bc} ± 0.04	24.32 ^{Db} ± 0.02	24.64 ^{Ca} ± 0.05
800	22.15 ^{Bd} ± 0.04	23.78 ^{Cc} ± 0.19	24.14 ^{Eb} ± 0.02	24.42 ^{Da} ± 0.03

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.3 ปริมาณสารประกอบมีขี้

จากตารางที่ 4.14 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ปริมาณสารประกอบมีขี้ในน้ำมันทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทอด (60 นาที) ปริมาณสารประกอบมีขี้ในน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 200 400 600 และ 800 ppm มีการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 79.35% 71.37% 61.04% และ 43.63% ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กัปริมาณสารสกัดที่เติมลงไป ในน้ำมัน เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันดังกล่าว จะเข้าไปจับกับ lipid radical ซึ่งเกิดจากการแตกออกของพันธะคู่ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อน เกิดสารประกอบที่เสถียร น้ำมันจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช้าลง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Farag และคณะ (2007) ที่ศึกษาเสถียรภาพต่อการทอดของน้ำมันทานตะวันที่เติม crude juice จากใบมะกอกพันธุ์ Kronakii ในปริมาณ 400 800 1600 และ 2400 ppm พบว่า เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น น้ำมันที่เติม crude juice ในปริมาณมากที่สุด (2400 ppm) จะมีปริมาณสารประกอบมีขี้ต่ำที่สุด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทอด

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสารประกอบมีซั่ว (%) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การเปลี่ยนแปลง ปริมาณสารประกอบมีซั่ว (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
0 (control)	9.65 ^{Ad} ± 0.04	17.13 ^{Ac} ± 0.05	17.35 ^{Ab} ± 0.04	17.62 ^{Aa} ± 0.13	82.59
200	9.54 ^{Bd} ± 0.06	15.22 ^{Bc} ± 0.31	16.39 ^{Bb} ± 0.08	17.11 ^{Ba} ± 0.02	79.35
400	9.50 ^{BCd} ± 0.03	14.22 ^{Cc} ± 0.22	15.00 ^{Cb} ± 0.02	16.28 ^{Ca} ± 0.06	71.37
600	9.43 ^{Cd} ± 0.06	12.95 ^{Dc} ± 0.14	13.72 ^{Db} ± 0.27	15.22 ^{Da} ± 0.19	61.04
800	9.26 ^{Dd} ± 0.02	10.83 ^{Ec} ± 0.20	11.58 ^{Eb} ± 0.09	13.30 ^{Ea} ± 0.10	43.63

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์

จากการวิเคราะห์ห้ข้อมูลทางสถิติพบว่า ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำปริมาณ 800 ppm มีค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดในปริมาณต่างกัน โดยค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเท่ากับ 22.08% และ 79.49% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และ 4.16 เนื่องจากสารสกัดจากใบมะกอกน้ำมีสารประกอบโพลีฟีนอลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Frag และคณะ, 2007) ดังนั้นน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากกระบวนการทอดได้ยาก ทำให้มีค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารสกัดดังกล่าว

ตารางที่ 4.15 ค่ากรดไขมันอิสระ (% กรดโอเลอิก) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การเปลี่ยนแปลง ค่ากรดไขมันอิสระ (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
0 (control)	0.082 ^{Ac} ± 0.05	0.099 ^{Ab} ± 0.00	0.115 ^{Aa} ± 0.00	0.121 ^{Aa} ± 0.04	47.56
200	0.082 ^{Ab} ± 0.03	0.094 ^{Aa} ± 0.49	0.099 ^{Ba} ± 0.01	0.105 ^{Ba} ± 0.01	28.05
400	0.080 ^{ABd} ± 0.00	0.092 ^{Ac} ± 0.01	0.096 ^{BCb} ± 0.01	0.101 ^{Ca} ± 0.02	26.25
600	0.079 ^{ABd} ± 0.00	0.089 ^{Ac} ± 0.00	0.093 ^{CDb} ± 0.00	0.098 ^{Da} ± 0.00	24.05
800	0.077 ^{Bc} ± 0.00	0.088 ^{Ab} ± 0.05	0.090 ^{Dab} ± 0.03	0.094 ^{Da} ± 0.02	22.08

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEqv.O₂/kg) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การเปลี่ยนแปลง ค่าเปอร์ออกไซด์ (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
0 (control)	0.93 ^{Ab} ± 0.02	1.72 ^{Aa} ± 0.06	1.76 ^{Aa} ± 0.01	1.79 ^{Aa} ± 0.05	92.47
200	0.86 ^{Bb} ± 0.02	1.49 ^{Ba} ± 0.16	1.52 ^{Ba} ± 0.02	1.61 ^{Ba} ± 0.03	87.21
400	0.84 ^{Bd} ± 0.03	1.42 ^{BCc} ± 0.03	1.47 ^{Bb} ± 0.02	1.57 ^{Ba} ± 0.02	86.90
600	0.82 ^{BCc} ± 0.03	1.35 ^{BCb} ± 0.02	1.39 ^{Cb} ± 0.06	1.49 ^{Ca} ± 0.02	81.71
800	0.78 ^{Cd} ± 0.01	1.29 ^{Cc} ± 0.02	1.32 ^{Db} ± 0.01	1.40 ^{Da} ± 0.02	79.49

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.5 ค่า p-anisidine

จากตารางที่ 4.17 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ค่า p-anisidine ของน้ำมันทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทอด (60 นาที) น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณ 800 ppm มีค่า p-anisidine ต่ำที่สุดเท่ากับ 4.07 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดในปริมาณต่างกัน เนื่องจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน จะเกิดสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถสลายตัวเป็น secondary oxidation products ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน และไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมันมีค่า p-anisidine เพิ่มขึ้น โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ จะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันได้ ดังนั้นน้ำมันที่เติมสารสกัดดังกล่าวจะมีค่า p-anisidine ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Konsoula และคณะ (2010) ที่ศึกษาความคงตัวของน้ำมันทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะกอก ที่เติมสารสกัดจากงาที่ผ่านการคั่วและไม่ผ่านการคั่ว พบว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น น้ำมันมะกอกที่เติมสารสกัดจากงาที่ไม่ผ่านการคั่ว มีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด ซึ่งส่งผลให้ค่า p-anisidine ของน้ำมันดังกล่าวมีค่าต่ำที่สุดด้วย

ตารางที่ 4.17 ค่า p-anisidine ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การเปลี่ยนแปลงค่า p-anisidine (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
0 (control)	0.94 ^{Ad} ± 0.01	3.69 ^{Ac} ± 0.02	4.54 ^{Ab} ± 0.06	7.55 ^{Aa} ± 0.13	703.19
200	0.90 ^{Bd} ± 0.02	2.95 ^{Bc} ± 0.03	3.46 ^{Bb} ± 0.13	5.79 ^{Ba} ± 0.02	543.33
400	0.79 ^{Cd} ± 0.02	2.18 ^{Cc} ± 0.09	3.01 ^{Cb} ± 0.03	5.06 ^{Ca} ± 0.03	540.51
600	0.73 ^{Dd} ± 0.03	2.10 ^{Dc} ± 0.02	2.78 ^{Db} ± 0.11	4.62 ^{Da} ± 0.02	532.88
800	0.65 ^{Ed} ± 0.01	2.03 ^{Dc} ± 0.02	2.55 ^{Eb} ± 0.03	4.07 ^{Ea} ± 0.03	526.15

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.6 DPPH radical-scavenging activity

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพต่อการทอดแบบน้ำมันท่วมของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทอด และปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ มีผลต่อค่า DPPH radical-scavenging activity จากตารางที่ 4.18 พบว่า เมื่อเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่า DPPH radical-scavenging activity จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทอดนานขึ้น ความร้อนจะส่งผลให้สารต้านออกซิเดชันในสารสกัดถูกทำลาย ส่งผลให้ค่า DPPH radical-scavenging activity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน และเมื่อครบเวลาในการทอด น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm มีค่า DPPH radical-scavenging activity สูงที่สุด (39.33%) เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดสาร DPPH ที่เหลืออยู่ในน้ำมันผสมเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทอด (60 นาที) พบว่า น้ำมันผสมที่เติมสารสกัดในปริมาณดังกล่าวยังคงมีความสามารถในการกำจัดสาร DPPH ที่เหลืออยู่ถึง 73.75% ซึ่งจากการทดลองของดิษยา (2548) พบว่าความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของใบมะกอกน้ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารสกัดที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณเพิ่มขึ้น ความสามารถในการฟอกจางสีสารละลาย DPPH (DPPH radical-scavenging activity) จะเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.18 ค่า DPPH radical-scavenging activity (%) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				ความสามารถในการกำจัด สาร DPPH ที่เหลืออยู่ใน น้ำมัน (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
0 (control)	33.68 ^{Ea} ± 0.22	32.14 ^{Eb} ± 0.17	31.87 ^{Ec} ± 0.02	20.81 ^{Ed} ± 0.03	61.79
200	38.60 ^{Da} ± 0.09	38.14 ^{Db} ± 0.05	37.67 ^{Dc} ± 0.03	25.12 ^{Dd} ± 0.02	65.08
400	43.54 ^{Ca} ± 0.05	43.13 ^{Cb} ± 0.12	42.23 ^{Cc} ± 0.11	30.36 ^{Cd} ± 0.04	69.73
600	48.67 ^{Ba} ± 0.08	48.33 ^{Bb} ± 0.13	47.67 ^{Bc} ± 0.12	34.37 ^{Bd} ± 0.02	70.62
800	53.33 ^{Aa} ± 0.09	52.98 ^{Ab} ± 0.13	52.50 ^{Ac} ± 0.16	39.33 ^{Ad} ± 0.03	73.75

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสมมุติเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารประกอบที่มีอยู่ทั่วไปในผักและผลไม้ มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงช่วยต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันได้ แต่สารประกอบเหล่านี้สามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง เช่น การทอดแบบน้ำมันท่วม จึงควรเติมในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้สารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดออกซิเดชันสูงสุด (Mariod และคณะ, 2010)

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อครบเวลาในการทอด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำทุกตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.19) โดยน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 200 400 600 และ 800 ppm จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลงเท่ากับ 24.50% 20.87% 18.75% และ 17.99% ตามลำดับ เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทอดนานขึ้น น้ำมันจึงได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ทำให้สารต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากใบมะกอกน้ำถูกทำลาย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiou และคณะ (2009) ที่ศึกษาความคงตัวของน้ำมันทานตะวัน น้ำมันมะกอก และน้ำมันปาล์มผ่านการรีไฟน์ ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกสายพันธุ์ *Olea europaea* L. ปริมาณ 120 และ 240 มิลลิกรัมโพลีฟีนอลต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม พบว่า น้ำมันทุกชนิดที่เติมสารสกัดจากใบมะกอก 240 มิลลิกรัม จะมีค่า DPPH radical scavenging activity สูง และมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่เหลืออยู่ในน้ำมันที่ผ่านการทอดมากกว่าน้ำมันที่ไม่เติม และเติมสารสกัดในปริมาณ 120 มิลลิกรัม

ตารางที่ 4.19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/g sample) ของน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณต่างกัน เมื่อผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นเวลาต่างกัน

ปริมาณสารสกัดจากใบ มะกอกน้ำ (ppm)	ระยะเวลาในการทอด (นาที)				การลดลงของปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (%)
	ก่อนทอด	20	40	60	
0 (control)	142.20 ^{Ea} ± 0.05	124.20 ^{Eb} ± 0.11	112.70 ^{Ec} ± 0.08	99.40 ^{Ed} ± 0.04	69.90
200	183.70 ^{Da} ± 0.11	164.80 ^{Db} ± 0.18	154.10 ^{Dc} ± 0.20	138.70 ^{Dd} ± 0.09	75.50
400	225.20 ^{Ca} ± 0.12	208.20 ^{Cb} ± 0.14	189.70 ^{Cc} ± 0.81	178.2 ^{Cd} ± 0.26	79.13
600	266.70 ^{Ba} ± 0.47	243.20 ^{Bb} ± 0.55	224.70 ^{Bc} ± 0.12	216.70 ^{Bd} ± 0.12	81.25
800	307.90 ^{Aa} ± 0.05	276.90 ^{Ab} ± 0.09	258.40 ^{Ac} ± 0.11	252.50 ^{Ad} ± 0.09	82.01

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4 ผลของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันผสมสูตรที่เลือก ระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาผลจากการเติมสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติจากใบมะกอกน้ำต่อเสถียรภาพในกระบวนการทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วม พบว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับปาล์มโอเลอินในอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm มีเสถียรภาพต่อการทอดดีที่สุด จึงเลือกน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำในปริมาณดังกล่าวมาศึกษาในขั้นตอนการเก็บรักษา โดยเก็บน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันผสมที่ผ่านการเก็บรักษาทุก 1 เดือน ซึ่งได้ผลจากการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.1 ความหนืด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก ฉ) พบว่า ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เติมในน้ำมัน และอุณหภูมิในการเก็บรักษา มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันผสมทุกตัวอย่างมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บที่แตกต่างกัน พบว่า น้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ทั้งน้ำมันผสมที่เติมและไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ โดยน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าความหนืดน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.20) เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา จะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของน้ำมัน ทำให้เกิดสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง น้ำมันจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีคล้ำ (Bennion, 1995)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

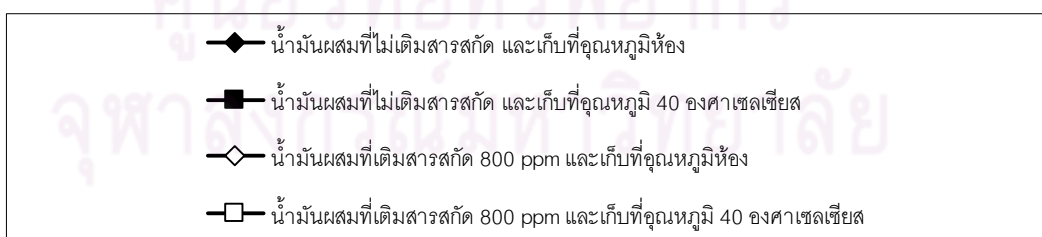
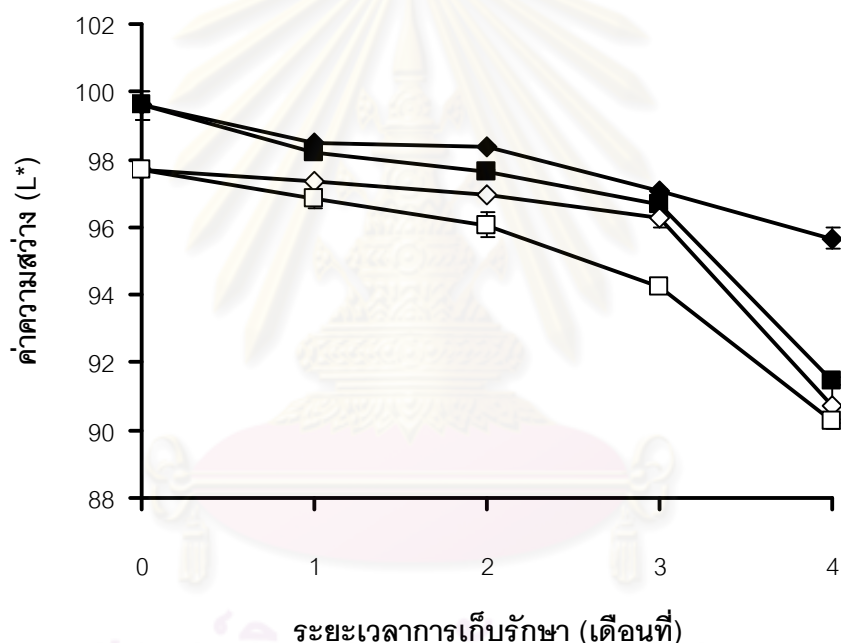
ตารางที่ 4.20 ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน

ภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา		ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือนที่)				
การเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ก่อนเก็บ	1	2	3	4
ไม่เติม (ปัจจัยควบคุม)	อุณหภูมิห้อง	41.4 ^a ± 0.50	42.6 ^b ± 0.93	44.2 ^b ± 0.66	51.1 ^a ± 0.69	51.8 ^b ± 0.90
	40	41.4 ^a ± 0.50	47.3 ^a ± 0.83	47.5 ^a ± 0.51	51.3 ^a ± 0.90	53.9 ^a ± 1.46
เติม	อุณหภูมิห้อง	40.6 ^b ± 0.57	41.1 ^c ± 0.54	43.2 ^c ± 0.57	46.5 ^c ± 1.21	48.5 ^d ± 0.95
	40	40.6 ^b ± 0.57	41.4 ^c ± 1.52	43.5 ^{bc} ± 0.49	47.5 ^b ± 0.53	49.5 ^c ± 1.15

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.2 ค่าสี

เมื่อพิจารณาภาวะในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมัน พบว่า ภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำมันมีผลต่อค่าความสว่างของน้ำมัน โดยค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสว่างน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ไม่เติมสารสกัดที่เก็บที่อุณหภูมิเดียวกัน แสดงในรูปที่ 4.1 เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ง่าย น้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิสูงจึงมีสีเข้มขึ้น ทั้งนี้สารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เติมในน้ำมัน มีสีเขียวค่อนข้างเข้ม จึงส่งผลต่อค่าความสว่างของน้ำมันที่สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.1 ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันที่เติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน

4.4.3 ค่ากรดไขมันอิสระ

จากตารางที่ 4.21 เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระพบว่าปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา มีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) จะมีค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน จะเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้เกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้กรดไขมันอิสระในน้ำมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สารสกัดจากใบมะกอกน้ำยังช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาด้วย ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ จึงพบว่าน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุดเท่ากับ 12.99%



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ค่ากรดไขมันอิสระ (% กรดโอเลอิก) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน

ภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา			ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือนที่)				การเปลี่ยนแปลง ค่ากรดไขมันอิสระ (%)
การเติมสารสกัด จากใบมะกอกน้ำ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ก่อนเก็บ	1	2	3	4	
ไม่เติม (ปัจจัยควบคุม)	อุณหภูมิห้อง	0.082 ^a ± 0.06	0.087 ^a ± 0.05	0.090 ^b ± 0.03	0.094 ^b ± 0.03	0.100 ^b ± 0.02	21.95
	40	0.082 ^a ± 0.06	0.089 ^a ± 0.01	0.094 ^a ± 0.01	0.099 ^a ± 0.07	0.106 ^a ± 0.02	29.27
เติม	อุณหภูมิห้อง	0.077 ^b ± 0.01	0.079 ^c ± 0.03	0.082 ^d ± 0.05	0.084 ^d ± 0.03	0.089 ^d ± 0.02	12.99
	40	0.077 ^b ± 0.01	0.082 ^b ± 0.07	0.085 ^c ± 0.01	0.089 ^c ± 0.02	0.092 ^c ± 0.01	19.48

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ตามประกาศฉบับที่ 205 พ.ศ. 2543) มาพิจารณาอายุในการเก็บรักษาน้ำมัน ซึ่งกำหนดให้น้ำมันทั่วไปมีค่ากรดไขมันอิสระได้ไม่เกินร้อยละ 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ (Empirical model) ที่ได้จากการทดลอง พบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีอายุในการเก็บรักษาได้นานกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารสกัดดังกล่าวที่เก็บในอุณหภูมิเดียวกัน นอกจากนี้ น้ำมันที่เก็บในอุณหภูมิห้อง ยังมีอายุในการเก็บรักษานานกว่าน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 การทำนายอายุการเก็บรักษาจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน

ภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา		สมการทางคณิตศาสตร์	ค่า R ²	อายุการเก็บรักษา
การเติมสารสกัด	อุณหภูมิ	จากการทดลอง		ที่ทำนายได้ (เดือน)
จากใบมะกอกน้ำ	(องศาเซลเซียส)			
ไม่เติม (ปัจจัยควบคุม)	อุณหภูมิห้อง	$y = 0.0045x + 0.0812$	0.9938	16.7
	40	$y = 0.0058x + 0.0824$	0.9953	13.2
เติม	อุณหภูมิห้อง	$y = 0.0029x + 0.0764$	0.9689	24.3
	40	$y = 0.0037x + 0.0776$	0.9920	19.4

4.4.4 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากตารางที่ 4.23 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการเก็บรักษาน้ำมันที่ภาวะต่างๆ กับระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเก็บรักษา (4 เดือน) น้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) มีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมัน ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและมีอายุการเก็บรักษาน้อยลง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bouaziz และคณะ (2008) ที่ศึกษาคุณภาพของน้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์ และไม่ผ่านการรีไฟน์ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอก 400 ppm โดยเก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำมันมะกอกที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกจะมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันมะกอกที่ไม่เติมสารสกัดดังกล่าว เนื่องจากสารสกัดจากธรรมชาติ มีสมบัติเป็นสารต้านการเกิดการออกซิเดชัน ดังนั้น เมื่อน้ำมันได้รับความร้อน พันธะคูโนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์จะแตกออก กลายเป็น lipid radical ซึ่งสารต้านออกซิเดชันจะเป็นตัวให้โปรตอนทีไปจับกับพันธะที่แตกออกของไตรกลีเซอไรด์ เกิดเป็น

สารประกอบที่มีความเสถียร นอกจากนี้โปรตอนในสารต้านออกซิเดชันยังสามารถจับกับโมเลกุลของโลหะ ซึ่งเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันได้ ดังนั้นการเติมสารต้านออกซิเดชันในน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้าลง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEqv.O₂/kg) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 4 เดือน

ภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา			ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือนที่)				การเปลี่ยนแปลง
การเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ก่อนเก็บ	1	2	3	4	ค่าเปอร์ออกไซด์ (%)
ไม่เติม (ปัจจัยควบคุม)	อุณหภูมิห้อง	0.930 ^a ± 0.01	1.305 ^b ± 0.02	1.317 ^b ± 0.01	1.343 ^b ± 0.01	1.357 ^b ± 0.01	45.91
	40	0.930 ^a ± 0.01	1.345 ^a ± 0.03	1.357 ^a ± 0.03	1.377 ^a ± 0.03	1.392 ^a ± 0.04	49.68
เติม	อุณหภูมิห้อง	0.780 ^b ± 0.03	1.104 ^d ± 0.01	1.108 ^d ± 0.08	1.112 ^d ± 0.08	1.114 ^d ± 0.05	42.82
	40	0.780 ^b ± 0.03	1.110 ^c ± 0.06	1.120 ^c ± 0.01	1.129 ^c ± 0.01	1.125 ^c ± 0.03	44.23

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.5 DPPH radical-scavenging activity

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพการเก็บรักษาน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่เติมและไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ พบว่า คุณภูมิในการเก็บรักษา และสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ มีผลต่อค่า DPPH radical-scavenging activity จากตารางที่ 4.24 พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันทุกตัวอย่างจะมีค่า DPPH radical-scavenging activity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบคุณภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่าน้ำมันผสมที่เก็บในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่า DPPH radical-scavenging activity ต่ำกว่าน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง โดยน้ำมันผสมที่ไม่ผ่านการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ จะมีค่า DPPH radical-scavenging activity ต่ำที่สุด เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน เนื่องจากน้ำมันที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง ความร้อนจะมีผลในการทำลายสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น สารต้านออกซิเดชันจึงถูกทำลายได้มากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดสาร DPPH ในรูปของค่า DPPH radical-scavenging activity ของสารสกัดดังกล่าวที่เติมในน้ำมันลดลง (Shiela และคณะ, 2004)

ตารางที่ 4.24 ค่า DPPH radical-scavenging activity (%) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลานาน 4 เดือน

ภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา		ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือนที่)					ความสามารถในการกำจัดสาร DPPH ที่เหลืออยู่ในน้ำมัน (%)
การเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ก่อนเก็บ	1	2	3	4	
ไม่เติม (ปัจจัยควบคุม)	อุณหภูมิห้อง	33.68 ^b ± 0.19	31.52 ^c ± 0.20	31.19 ^c ± 0.18	30.07 ^c ± 0.05	24.81 ^c ± 0.20	73.66
	40	33.68 ^b ± 0.19	31.04 ^c ± 0.18	30.54 ^d ± 0.12	29.30 ^d ± 0.14	22.97 ^d ± 0.12	68.20
เติม	อุณหภูมิห้อง	53.33 ^a ± 2.04	50.95 ^a ± 0.60	48.21 ^a ± 0.22	46.53 ^a ± 0.18	40.87 ^a ± 0.25	76.64
	40	53.33 ^a ± 2.04	50.02 ^b ± 0.05	47.53 ^b ± 0.16	45.47 ^b ± 0.03	40.01 ^b ± 0.03	75.02

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมันจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.25) โดยน้ำมันผสมที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เก็บในอุณหภูมิห้อง จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเหลืออยู่ในน้ำมันสูงที่สุดเท่ากับ 251.20 mg gallic acid/g sample ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงเพียง 18.42% โดยน้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง Bouaziz และคณะ (2008) ศึกษาคุณภาพของน้ำมันมะกอกผ่านการรีไฟน์ และไม่ผ่านการรีไฟน์ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกในปริมาณ 400 ppm เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันมะกอกที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันมะกอกที่ไม่เติมสารสกัดดังกล่าว และมีปริมาณสเตอรอลในน้ำมันมากที่สุด จึงมีความคงตัวตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาด้วย เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาสูงขึ้น เป็นเวลานาน น้ำมันจึงได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้สารต้านออกซิเดชันที่เติมลงไปน้ำมันถูกทำลาย และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ยังบอกถึงความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันได้ แสดงว่าหากน้ำมันมีสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณมาก น้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยาก ซึ่งส่งผลให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ น้ำมันจึงมีความคงตัวหรือมีเสถียรภาพในการเก็บรักษาได้ดี

ตารางที่ 4.25 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/g sample) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการเติม และไม่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่เก็บในอุณหภูมิต่างกันเป็นเวลา 4 เดือน

ภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา		ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือนที่)					การลดลงของ ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด (%)
การเติมสารสกัด จากใบมะกอกน้ำ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ก่อนเก็บ	1	2	3	4	
ไม่เติม (ปัจจัยควบคุม)	อุณหภูมิห้อง	142.20 ^b ± 0.14	137.53 ^c ± 3.79	129.20 ^c ± 1.00	118.87 ^c ± 3.06	108.93 ^c ± 0.58	23.40
	40	142.20 ^b ± 0.14	130.53 ^d ± 2.31	124.87 ^d ± 3.21	112.53 ^d ± 1.53	93.53 ^d ± 1.15	34.23
เติม	อุณหภูมิห้อง	307.90 ^a ± 0.61	303.20 ^a ± 3.61	280.20 ^a ± 3.92	274.20 ^a ± 9.00	251.20 ^a ± 1.73	18.42
	40	307.90 ^a ± 0.61	289.87 ^b ± 3.01	252.20 ^b ± 2.17	212.87 ^b ± 2.89	208.53 ^b ± 2.86	32.27

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วน 25:75 30:70 40:60 และ 75:25 (v/v) มีสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 อยู่ระหว่าง 2:1 ถึง 5:1 ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำให้บริโภคของสมาคมหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกา เมื่อศึกษาเสถียรภาพในการทอดแบบน้ำมันท่วม จึงพบว่าน้ำมันผสมที่อัตราส่วน 25:75 (v/v) มีเสถียรภาพต่อการทอดมากที่สุด โดยมีค่าความหนืด ค่าสี ปริมาณสารประกอบมีซั่ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine น้อยกว่าน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ เมื่อทอดที่ระยะเวลาเท่ากัน ดังนั้นน้ำมันผสมสูตรนี้จึงเป็นน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการใช้ทอด และทดแทนการใช้น้ำมันคาโนลาหรือน้ำมันปาล์มโอเลอินเพียงชนิดเดียวได้ จากนั้นจึงนำน้ำมันผสมอัตราส่วนดังกล่าวมาเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ *Elaeocarpus hydrophilus* Kurz. ในปริมาณต่างกัน (0 200 400 600 และ 800 ppm) พบว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำปริมาณ 800 ppm มีเสถียรภาพต่อการทอดแบบน้ำมันท่วมมากที่สุด เมื่อศึกษาเสถียรภาพในเก็บรักษา พบว่าน้ำมันผสมดังกล่าวที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง มีเสถียรภาพในการเก็บรักษาดีที่สุดในแง่ของค่าความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าน้ำมันที่เก็บที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) ในภาวะเดียวกัน นอกจากนี้ น้ำมันผสมที่เก็บที่อุณหภูมิห้องยังมีค่า DPPH-radical scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เหลืออยู่ในน้ำมันมากที่สุด และมีอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุดถึง 24.3 เดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเปรียบเทียบปริมาณที่เหมาะสมของการเติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำกับสารสังเคราะห์ทางเคมี เช่น BHA และ BHT เป็นต้น เพื่อศึกษาว่าสารสกัดจากใบมะกอกน้ำที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถใช้ทดแทนสารสังเคราะห์ทางเคมีที่นิยมเติมในน้ำมันบริโภคเพื่อการจำหน่ายได้

5.2.2 เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตจากการใช้น้ำมันผสมจากการทดลองนี้ พบว่า น้ำมันคาโนลา ราคาลิตรละ 93.00 บาท และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ราคาลิตรละ 36.00 บาท เมื่อผสมน้ำมันดังกล่าวด้วยอัตราส่วน 25:75 (v/v) น้ำมันที่ได้จะมีราคาลิตรละ 50.25 บาท จึงควรมี

การศึกษาโดยนำน้ำมันชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันมะกอก น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น มาผลิตเป็นน้ำมันผสม เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันคาโนลา มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง ผลิตน้ำมันให้มีเสถียรภาพต่อการทอดและการเก็บรักษา และมีสัดส่วนกรดไขมันชนิดโอเมก้าที่ที่เหมาะสมต่อการบริโภค



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ดิษยา พรพัฒนนางกูร. 2548. การวิเคราะห์สารสกัดจากใบมะกอกเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง. กรุงเทพมหานคร. โครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิตยา รัตนานพนธ์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไอเดียสโตร์. 244 หน้า.
- เนื่อทอง วณานวัธ. 2546. น้ำมันไขมันและผลิตภัณฑ์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 528 หน้า.
- พันธิพา จันทวัฒน์, ศศิกานต์ กุ้พงษ์ศักดิ์, สุเมธ ตันตระเธียร และ อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์. 2548. การศึกษาข้อมูลด้านสมบัติทางกายภาพเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันบริโภค. กรุงเทพมหานคร: ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 32 หน้า.
- วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ. 2550. ผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีพิษระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม. กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. 500 หน้า.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องไขมันและน้ำมัน. ฉบับที่ 205. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2547. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องไขมันและน้ำมัน. ฉบับที่ 283. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.

ภาษาอังกฤษ

- Aladedunye, F. A., and Przybylski, R. 2009. Degradation and nutritional quality changes of oil during frying. Journal of the American Oil Chemists' Society. 86: 149-156.

- AOCS. 1998. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society, 5th ed. Champaign; American Oil Chemists' Society Press. 1685 pp.
- AOCS. 2009. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society, 5th ed. Champaign; American Oil Chemists' Society Press. 1685 pp.
- Bastida, S., and Sanchez-Muniz, F. J. 2002. Polar content vs. TAG oligomer content in the frying life assessment of monounsaturated and polyunsaturated oils used in deep-frying. Journal of the American Oil Chemists' Society. 79: 447-451.
- Baux, A., Hebeisen, T., and Pellet, D. 2008. Effects of minimal temperatures on low-linolenic rapeseed oil fatty-acid composition. European Journal of Agronomy. 29: 102-107.
- Bennion, M. 1995. Introductory Foods. New Jersey: Prentice-Hall. pp. 399-401.
- Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Lognay, G., Drira, N. E., and Attia, H. 2005. Heating effect on some quality characteristics of date seed oil. Food Chemistry. 91: 469-476.
- Bouaziz, M., Fki, I., Jemai, H., Ayadi, M., and Sayadi, S. 2008. Effect of storage on refined and husk olive oils composition: Stabilization by addition of natural antioxidants from Chemlali olive leaves. Food Chemistry. 108: 253-262.
- Chiou, A., Kalogeropoulos, N., Salta, F. N., Efstathiou, P., and Andrikopoulos, N. K. 2009. Pan-frying of french fries in three different edible oils enriched with olive leaf extract: Oxidative stability and fate of microconstituents. LWT-Food Science and Technology. 42: 1090-1097.
- Farag, R. S., Mahmoud, E. A., and Basuny, A. M. 2007. Use of crude olive leaf juice as a natural antioxidant for the stability of sunflower oil during heating. International Journal of Food Science and Technology. 42: 107-115.
- Farhoosh, R., Einafshar, S., and Sharayei, P. 2009a. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. Food Chemistry. 115: 933-938.

- Farhoosh, R., and Kenari, R. E. 2009. Anti-rancidity effects of sesame and rice bran oils on canola oil during deep frying. Journal of the American Oil Chemists' Society. 86: 539-544.
- Farhoosh, R., Kenari, R. E., and Poorazrang, H. 2009b. Frying stability of canola oil blended with palm olein, olive, and corn oils. Journal of the American Oil Chemists' Society. 86: 71-76.
- Fellows, P. J. 2000. Food Processing Technology: Principle and Practice, 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. pp. 355-362.
- Fennema, O. R. 1985. Food Chemistry, 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc. pp. 140-147.
- Flickinger, B. D., and Huth, P. J. 2004. Dietary fats and oils: Technologies for improving cardiovascular health. Current Atherosclerosis Reports. 6: 468-476.
- Gomez-Alonso, S., Mancebo-Campos, V., Salvador, M. D., and Fregapane, G. 2007. Evolution of major and minor components and oxidation indices of virgin olive oil during 21 months storage at room temperature. Food Chemistry. 100: 36-42.
- Gordon, M. H., and Kourimska, L. 1995. The effects of antioxidants on changes in oils during heating and deep frying. Journal of the Science of Food and Agriculture. 68: 347-353.
- Gunstone, F. D. 2002. Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses. Berlin: Blackwell Publishing. 331 pp.
- Gutfinger, T. 1981. Polyphenols in olive oils. Journal of the American Oil Chemists' Society. 966-968.
- Houhoula, D. P., Oreopoulou, V., and Tzia, C. 2003. The effect of process time and temperature on the accumulation of polar compounds in cottonseed oil during deep-fat frying. Journal of the Science of Food and Agriculture. 83: 314-319.
- Jack, G. T. 2000. International symposium on deep fat frying [Online]. Available from: <http://www.intersciencewiley.com/abstract> [2006, May 10]
- Khan, M. I., Asha, M. R., Bhat, K. K., and Khatoon, S. 2008. Studies on quality of coconut oil blends after frying potato chips. Journal of the American Oil Chemists' Society. 85: 1165-1172.

- Konsoula, Z., and Liakopoulou-Hyriakides, M. 2010. Effect of endogenous antioxidants of sesame seeds and sesame oil to the thermal stability of edible vegetable oils. Food Science and Technology. 43: 1379-1386.
- Krichene, D., Allalout, A., Mancebo-Campos, V., Salvador, M. D., Zarrouk, M., and Fregapane, G. 2010. Stability of virgin olive oil and behaviour of its natural antioxidants under medium temperature accelerated storage conditions. Food Chemistry. 121: 171-177.
- Kubola, J., and Siriamornpun, S. 2008. Phenolic contents and antioxidant activities of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) leaf, stem and fruit fraction extracts in vitro. Food Chemistry. 110: 881-890.
- Mariod, A. A., Ibrahim, R. M., Ismail, M., and Ismail, N. 2010. Antioxidant activity of the phenolic leaf extracts from *Monechma ciliatum* in stabilization of corn oil. Journal of the American Oil Chemists' Society. 87: 35-43.
- Mayamol, P. N., Samuel, T., Balachandran, C., Sundaresan, A., and Arumughan, C. 2004. Zero-trans shortening using palm stearin and rice bran oil. Journal of the American Oil Chemists' Society. 81: 407-413.
- Moreira, R. G., Castell-Perez, M. E., and Barrufel, M. A. 1999. Deep-fat frying: Fundamental and Application. New York: Aspen Publishers. 599-604 pp.
- Morello, J. R., Motilua, M. J., Tovar, M. J., and Romero, M. P. 2004. Changes in commercial virgin olive oil during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. Food Chemistry. 85: 357-364.
- Naz, S., Sheikh, H., Siddiqi, R., and Sayeed, S. A. 2004. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. Food Chemistry. 88: 253-259.
- Paul, S., and Mittal, G. S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 37: 635-662.
- Pazhouhanmehr, S., and Farhoosh, R. 2009. Relative contribution of compositional parameters to the primary and secondary oxidation of canola oil. Food Chemistry. 114: 1002-1006.
- Prakash, M., Ravi, R., and Bhat, K. K. 2001. Effect of blending on sensory odor profile and physico-chemical properties of selected vegetable oils. Journal of Food Lipids. 8: 163-177.

- Ravi, R., Prakash, M., and Bhat, K. K. 2005. Sensory odour profiling and physical characteristics of edible oil blends during frying. Food Research International. 38: 59-68.
- Rhee, K. S., Housson, S. E., and Ziprin, Y. A. 1992. A research note: Enhancement of frying oil stability by a natural antioxidative ingredient in the coating system of fried meat nuggets. Food Science and Technology. 57: 789-791.
- Shiela, P. M., Sreerama, Y. N., and Gopala Krishna, A. G. 2004. Storage stability evaluation of some packed vegetable oil blends. Journal of the American Oil Chemists' Society. 81: 1125-1129.
- Tabee, E., Jagerstad, M., and Dutta, P. C. 2009. Frying quality characteristics of french fries prepared in refined olive oil and palm olein. Journal of the American Oil Chemists' Society. 86: 885-893.
- Tan, C. P., and Che Man, Y. B. 1999. Differential scanning calorimetric analysis for monitoring the oxidation of heated oils. Food Chemistry. 67: 177-184.
- Warner, K., Orr, P., Parrott, L., and Glynn, M. 1994. Effect of frying oil composition on potato chip stability. Journal of the American Oil Chemists' Society. 71: 1117-1121.
- Zeitoun, M. A. M., Neff, W. E., List, G. R., and Mounts, T. L. 1993. Physical properties of interesterified fat blends. Journal of the American Oil Chemists' Society. 70: 467-471.
- Zhang, Y., Yang, L., Zu, Y., Chen, X., Wang, F., and Liu, F. 2010. Oxidative stability of sunflower oil supplemented with carnosic acid compared with synthetic antioxidants during accelerated storage. Food Chemistry. 118: 656-662.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมัน

ตามวิธีของ AOCS:Ce 1f-96 (1998)

1. การเตรียมกรดไขมันให้อยู่ในรูป fatty acid methyl ester

- 1.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.05 g ใส่ centrifuge tube
- 1.2 เติม hexane 950 ml และ methanolic 2 M 500 ml นำไปเขย่าด้วย vortex นาน 1 นาที
- 1.3 คูดสารละลายส่วนใส (ชั้นบน) ใส่ใน vial ขนาด 1.5 ml เติม Na_2SO_4 anhydrous 0.1 ml ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- 1.4 คูดสารละลายส่วนใสใส่ใน vial ขนาด 1.5 ml และ inject เข้าไปใน GC-FID ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดสัญญาณและแปลงค่าเป็นพื้นที่ใต้กราฟ

2. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดไขมัน ด้วยเครื่อง gas chromatography

- 2.1 ใช้ GC syringe ดูดตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ปริมาตร 1 μl (ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ)
- 2.2 กดปุ่ม prep run ที่เครื่อง GC และรอจนกระทั่งเครื่องพร้อม โดยสังเกตจากคำว่า ready ที่ปรากฏบนหน้าจอ
- 2.3 ฉีดตัวอย่างเข้าทาง inlet พร้อมทั้งกดปุ่ม start ที่เครื่อง GC ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

สภาวะของเครื่อง Oven

Initial temperature : 130 °C

Initial time : 0.00 min

Final temperature : 220 °C

Final time : 6.00 min

Post temperature : 230 °C

Post time : 1.00 min

Run time : 12 min

สภาวะของ Column

Model Number : Innovax
 Max temperature : 260 °C
 Nominal length : 30.0 m
 Nominal diameter : 320.0 um
 Nominal film thickness : 0.25 um
 Mode : constant flow
 Initial flow : 1.2 ml/min
 Nominal initial pressure : 8.52 psi
 Average velocity : 26 cm/sec
 Inlet : Back Inlet
 Outlet : Back Detector
 Outlet pressure : ambient

Back Inlet

Model : Split
 Initial temperature : 240 °C
 Pressure : 8.52 psi
 Split flow : 120.0 ml/min
 Total flow : 124.0 ml/min
 Gas saver : On
 Saver flow : 20.0 ml/min
 Saver time : 2.0 min
 Gas Type : Helium

Back Detector (FID)

Temperature : 240 °C
 Hydrogen flow : 40.0 ml/min
 Mode : Constant makeup flow
 Makeup flow : 25.0 ml/min
 Makeup Gas Type : Nitrogen

Flame : On

Electrometer : On

Lit offset : 2.0



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ข.1 การวัดความหนืด

อุปกรณ์

Brookfield Viscometer รุ่น DV I

วิธีวิเคราะห์

1. เลือกขนาดของ spindle ให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่จะนำมาวัด ในการทดลองนี้ ใช้หัวเบอร์ L1 ใช้ความเร็วรอบในการหมุน 30 rpm ติด spindle เข้ากับแกนของเครื่องวัด จากนั้นจุ่มลงในตัวอย่างน้ำมัน (อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยให้ร่องของ spindle อยู่ระดับเดียวกับผิวหน้าของตัวอย่างน้ำมัน
2. ตั้งค่าเครื่องวัดความหนืด โดยตั้งค่าขนาดหัวเข็ม และความเร็วรอบในการหมุน ตามที่กำหนด
3. เปิด switch ของเครื่องเพื่อวัดค่าความหนืด โดยให้ spindle หมุนจนกว่าตัวเลขที่ปรากฏบนหน้าจอคงที่
4. อ่านค่าความหนืดที่วัดได้บนหน้าจอแสดงผล โดยมีหน่วยเป็น cP (Centipoise)

ข.2 การวัดค่าสี

อุปกรณ์

เครื่องวัดสี (Minolta, CR-300)

วิธีวิเคราะห์

1. เลื่อนสวิตช์ POWER ON พร้อมกับกดปุ่ม ALL DATA CLEAR แล้วหน้าจอจะแสดงข้อความดังนี้

Initial Set OK.

CR-300 Series

2. กดปุ่ม index set หน้าจอจะแสดงข้อความดังนี้

Print :Y
Color Space : N

3. กดปุ่ม **↔** ทุกครั้งที่กดหน้าจอแสดงข้อความดังนี้

Data Protect :N
Muti measure:N

Multi Cal. : N
CAL CH00

Light Source : C
(C / D65)

4. เลือกแหล่งแสง C หรือ D65 โดยกดปุ่ม **→** หรือ **←** แล้วกดปุ่ม ENTER หน้าจอจะแสดงข้อความ

Index Set O.k.
000. Y
x y

5. กดปุ่ม calibrate เพื่อป้อนค่าสีตามแหล่งแสงที่เลือกไว้ในข้อ 4 ตามแผ่น calibrate
6. เติมน้ำกลั่นลงใน sample cell จนถึงเส้นขาว
7. กดปุ่ม measure แล้วรอจนเกิดการ reflect ครบ 3 ครั้ง
8. กดปุ่ม color space select เพื่อเลือกระบบสีที่ต้องการใช้งาน คือ ระบบ CIE (CIE color system)
9. เติมน้ำมันลงไป sample cell แทนน้ำกลั่น จากนั้นกดปุ่ม measure
10. ถ้าต้องการวิเคราะห์ทางสถิติให้กดปุ่ม STAT เครื่องจะแสดงค่า max min mean และ

S

ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ค.1 การวัดค่าสารประกอบมีซัว

อุปกรณ์

เครื่องวัดคุณภาพน้ำมัน Testo 265



รูปที่ ค.1 เครื่องวัดปริมาณสารประกอบมีซัว Testo 265

หลักการทำงานของเครื่อง

เครื่อง Testo 265 เป็นเครื่องที่ใช้วัดการแตกตัวของน้ำมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด โดยจะมีเซนเซอร์อยู่ที่ปลายเครื่อง ตัวเซนเซอร์นี้จะวัดการแตกตัวของน้ำมันทั้งที่เป็นประจุบวกและประจุลบ แล้วเครื่องจะแปลค่าออกมาเป็น (%) สารประกอบมีซัวปรากฏบนหน้าจอวัดผล

วิธีวิเคราะห์

1. ก่อนการใช้งานต้อง calibrate เครื่องทุกครั้ง โดยใช้ reference oil

วิธี calibrate เริ่มจากเปิดเครื่อง กดปุ่มเลื่อนไปที่โหมด Calibrate จากนั้นจุ่มเซนเซอร์ของเครื่องลงใน reference oil ตั้งค่า % TPM (total polar material) ที่ 3.7 เมื่อไฟสัญญาณเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว แสดงว่าการ Calibrate เรียบร้อยพร้อมใช้งาน

2. การวัดสารประกอบมีซิวในน้ำมัน เริ่มจากตักน้ำมันที่ผ่านการทอดปริมาตร 400 ml ใส่ใน ปีกเกอร์ขนาด 500 ml จุ่มเซนเซอร์ของเครื่อง Testo 265 ลงในน้ำมันเพื่อวัดค่าสารประกอบมีซิวที่ จะแสดงผลทางหน้าจอ โดยระวังไม่ให้หัววัดใกล้โลหะอย่างน้อย 5 cm เช่น ตะกร้าโลหะ เพราะ อาจมีผลต่อการวัด

3. อ่านค่า % TPM ซึ่งจะแสดงบนหน้าจอ (เครื่องจะวัดสารประกอบมีซิวได้ คุณหมุมิของ น้ำมันต้องอยู่ในช่วง 40 – 210 องศาเซลเซียส)

ค.2 การวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid)

ตามวิธีของ AOCS:Ca 5a-40 (1998)

สารเคมี

1. Ethyl alcohol 95% ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลาย sodium hydroxide 0.1 N ใช้ฟิ- นอลฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลาย ethyl alcohol 95% จะต้องมีสีชมพูประมาณ 30 วินาที ก่อนนำไปใช้

2. Phenolphthalein 1 % ใน ethyl alcohol 95%

3. Sodium hydroxide (NaOH) 0.1 N

การ Standardization สารละลาย Sodium hydroxide

1. ชั่ง potassium hydrogen phthalate ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) 2 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml ปิดฝา เขย่าจน potassium hydrogen phthalate ละลายหมด

2. หยดสารละลาย phenolphthalein 3 หยด ลงในสารละลาย potassium hydrogen phthalate

3. นำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH จนเกิดสีชมพูอ่อนที่เสถียร

4. คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH มาตรฐาน จากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของ NaOH} = \frac{\text{g ของ KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4}{\text{ml ของ NaOH} \times 0.2044}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน 56.4 g (ตามตารางที่ ค.1) ลงในขวดรูปชมพู่

2. เติมน้ำ ethyl alcohol 95% ปริมาตร 50 ml (ตามตารางที่ ค.1)

3. เติมสารละลาย phenolphthalein 2 ml
4. ไทเทรตกับสารละลาย NaOH จนกระทั่งปรากฏเป็นสีชมพูอ่อนที่เสถียร (สีชมพูอ่อนต้องปรากฏอยู่นานกว่า 30 วินาที)
5. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ จากสูตร

$$\text{Free fatty acid (\%as oleic acid)} = \frac{\text{ml ของสารละลาย NaOH} \times N \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH

ตารางที่ ค.1 น้ำหนักตัวอย่าง ปริมาตรของ ethyl alcohol และความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เหมาะสมกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง

ปริมาณ กรดไขมันอิสระ (%)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของ ethyl alcohol ที่ใช้ (ml)	ความเข้มข้นของ สารละลาย NaOH (N)
0.0-0.2	56.40 ± 0.20	50	0.1
0.2-1.0	28.20 ± 0.20	50	0.1
1.0-30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0-50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 0.1
50.0-100.0	3.53 ± 0.001	100	0.1

ค.3 การวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

ตามวิธีของ AOCS: Cd 8-53 (1998)

สารเคมี

1. สารละลาย acetic acid–chloroform
เตรียมโดยผสม acetic acid กับ chloroform ในอัตราส่วน 3:2
2. สารละลาย potassium iodide (KI)
เตรียมโดยละลาย KI อิมิตัว เก็บในขวดสีชา

3. สารละลายมาตรฐาน sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.1 N

เตรียมโดยละลาย sodium thiosulphate จำนวน 24.9 g ในน้ำ 1 l เก็บในขวดสีชา สารละลายที่ได้มีความเข้มข้น 0.1 N กรณีที่น้ำมันที่นำมาวิเคราะห์มีค่า peroxide value (PV) ต่ำไม่เกิน 2 mEqv. O_2 /kg ควรใช้ sodium thiosulphate ความเข้มข้น 0.01 N ซึ่งเตรียมได้โดยปิเปต สารละลาย sodium thiosulphate 0.1 N ทำการ standardized จนทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ปริมาตร 100 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 1000 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการต้ม เพื่อไล่ออกซิเจน

4. สารละลายน้ำแป้งสุก 1%

เตรียมโดยชั่งแป้ง (potato starch iodometry) 1 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml และเติมน้ำกลั่น 100 ml คนให้ละลายและนำไปต้มนาน 2-3 นาที

การ Standardization สารละลาย Sodium thiosulphate

1. อบ potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. ชั่งน้ำหนัก $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ให้มีน้ำหนักอย่างแม่นยำระหว่าง 0.16-0.2 g ใน flask ขนาด 500 ml เติมน้ำกลั่น 25 ml และ hydrochloric acid (HCl) 5 ml
3. เติม KI อิมิตัว 20 ml เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มีดประมาณ 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 ml
4. ไทเทรตด้วยสารละลาย sodium thiosulphate เขย่าตลอดเวลา จนกระทั่งสีเหลืองของ สารละลายจางหายไปเกือบหมด เติมน้ำแป้งเพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ 2 ml จะได้สารละลายสีน้ำเงิน ไทเทรตต่ออย่างช้าๆ จนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป
5. คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย sodium thiosulphate มาตรฐาน จากสูตร

$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ (N)} = \frac{20.394 \times \text{น้ำหนักของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ที่ชั่งได้ (g)}}{\text{ml ของสารละลาย } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน 5.00 ± 0.05 g ลงใน glass-stoppered Erlenmeyer ขนาด 250 ml
2. เติมสารละลาย acetic acid:chloroform 3:2 ปริมาตร 30 ml ปิดฝาจุก แล้วเขย่าให้ละลาย

3. เติมสารละลาย KI อิมิตัว ปริมาตร 0.5 ml เขย่าตลอดเวลา 1 นาที เมื่อครบเวลาให้เติมน้ำกลั่น 30 ml ลงในขวดทันที
4. เติมสารละลายน้ำเบ้ง 1 % ประมาณ 2 ml สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำเงิน
5. ไทเทรตอย่างช้าๆ ด้วยสารละลาย sodium thiosulphate 0.01 N เขย่าอย่างแรง ไทเทรตจนกระทั่งสีฟ้าจางหายไป
6. ทดลองกับ blank (โดยทำเหมือนข้อ 1-5 ทุกประการ ยกเว้นไม่ต้องเติมตัวอย่างน้ำมัน) โดยการไทเทรต blank จะต้องใช้สารละลาย sodium thiosulphate 0.01 N ไม่เกิน 0.1 ml
7. คำนวณค่า peroxide value จากสูตร

$$\text{Peroxide value (mEqv.O}_2\text{/kg)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

เมื่อ S = ปริมาตร (ml) ของสารละลาย sodium thiosulphate ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำมัน

B = ปริมาตร (ml) ของสารละลาย sodium thiosulphate ที่ใช้ในการไทเทรต blank

N = ความเข้มข้นของสารละลาย sodium thiosulphate

ค.4 การวิเคราะห์หาค่า p-anisidine

ตามวิธีของ AOCS: Cd 18-90 (2009)

สารเคมี

1. สารละลาย isooctane (2,2,4-trimethylpentane)
2. สารละลาย glacial acetic acid
3. สารละลาย p-anisidine

เตรียมโดยละลาย p-anisidine 0.25 g ในสารละลาย glacial acetic acid ปริมาตร 100 ml

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน $0.5-4.0 \pm 0.001$ g ลงใน volumetric flask ขนาด 25 ml ละลายตัวอย่างน้ำมันและปรับปริมาตรด้วยสารละลาย isooctane

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างน้ำมันจากข้อ 1. ปริมาตร 5 ml ใส่ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด หลอดที่หนึ่ง เติมสารละลาย p-anisidine ปริมาตร 1 ml และหลอดที่สอง ไม่เติมสารละลาย p-anisidine จากนั้นเตรียม blank โดยปิเปตสารละลาย isooctane ปริมาตร 5 ml และเติมสารละลาย p-anisidine ปริมาตร 1 ml ลงในหลอดทดลองที่สาม โดยไม่ต้องเติมสารละลายตัวอย่างน้ำมัน
3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 nm
4. คำนวณค่า p-anisidine จากสูตร

$$\text{p-anisidine value (AV)} = \frac{25 \times (1.2A_s - A_b)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

เมื่อ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารละลาย p-anisidine

A_b = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันที่ไม่เติมสารละลาย p-anisidine

ค.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตามวิธีของ Gutfinger (1981)

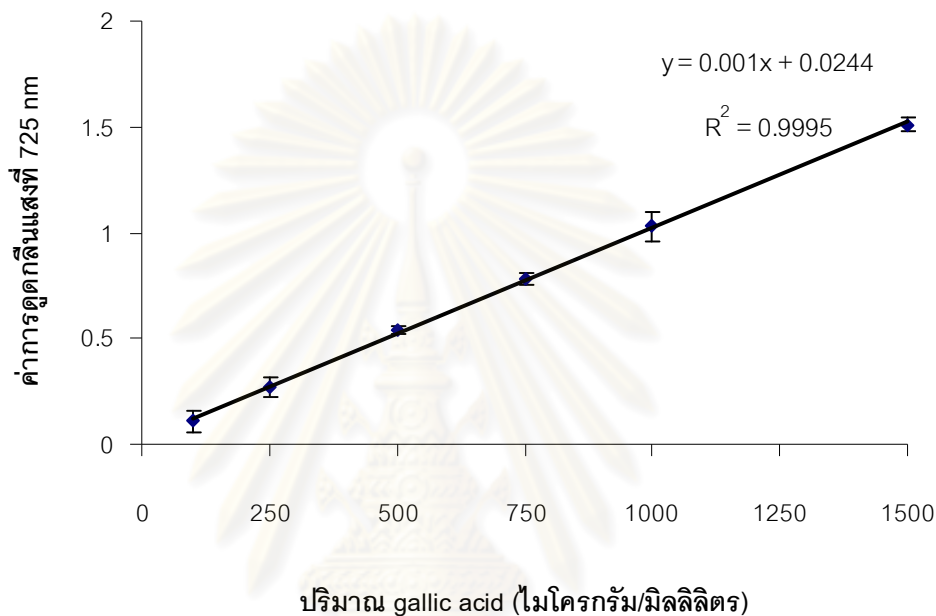
สารเคมี

1. สารละลาย Folin-Ciocalteu reagent
2. สารละลาย Sodium carbonate (Na_2CO_3) อิมิตัว

การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลาย gallic acid

1. ชั่งน้ำหนักสารละลายมาตรฐาน gallic acid 0.5 กรัม ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติม methanol 10 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 ml
2. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1. ปริมาตร 1 2.5 5.0 7.5 10 และ 15 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 50 ml
3. ปิเปตสารละลายจากข้อ 2. ปริมาตร 1 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 10 ml
4. เติมน้ำกลั่นประมาณ 5 ml
5. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 1 ml ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที

6. เติมสารละลาย Na_2CO_3 อิ่มตัว 1 ml จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายเป็น 10 ml ด้วยน้ำกลั่น
7. ตั้งสารละลายดังกล่าวไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 nm เปรียบเทียบกับ blank (น้ำกลั่น)
9. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณสารละลาย gallic acid ดังภาพ



รูปที่ ๒.๒ กราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำมันปริมาตร 1 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 10 ml ที่มีฝาปิด
2. เติมน้ำกลั่น ประมาณ 5 ml
3. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 1 ml เขย่าและตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 นาที
4. เติมสารละลาย Na_2CO_3 อิ่มตัว ปริมาตร 1 ml จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask เป็น 10 ml
5. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที สารละลายที่ได้จะแยกชั้น เป็นชั้นน้ำ (ด้านล่าง) และชั้นน้ำมัน (ด้านบน)
6. ดูดสารละลายส่วนใส (ด้านล่าง) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 nm เปรียบเทียบกับ blank (น้ำกลั่น)

7. นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid

ค.6 การวิเคราะห์หาค่า DPPH radical-scavenging activity

ตามวิธีของ Kubola และ Siriamornpun (2008)

สารเคมี

สารละลาย DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) 0.001 M ใน methanol เตรียมโดยละลาย DPPH จำนวน 0.0395 g ใส่ลงในปิเปตเจอร์ขนาด 250 ml เติมน้ำ methanol 100 ml คนให้ละลาย (ควรเตรียมสารละลาย DPPH ใหม่ทุกครั้งเมื่อทำการทดลอง เนื่องจาก DPPH เป็นอนุมูลอิสระซึ่งสามารถดึงอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลข้างเคียง หรือจับกับออกซิเจน ได้อนุมูลอิสระตัวใหม่ นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นอาจรวมกันได้เป็นสารที่มีความเสถียร ทำให้ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ที่เตรียมได้เปลี่ยนไป ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะคลาดเคลื่อน)

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำมัน ปริมาตร 0.1 ml ใส่ลงในหลอดทดลอง
2. เติมน้ำสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.001 M ปริมาตร 3 ml
3. ตั้งสารละลายดังกล่าวทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm
4. คำนวณค่า DPPH radical-scavenging activity จากสูตร

$$\% \text{ inhibition} = \frac{A_0 - A_e}{A_0} \times 100$$

เมื่อ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่เติมน้ำสารละลายตัวอย่าง

A_e = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่เติมน้ำสารละลายตัวอย่าง

ภาคผนวก ง

องค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้าในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ และการคำนวณสัดส่วน กรดไขมันโอเมก้าในน้ำมันผสม

ง.1 องค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้าในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

รวมรวบรวมข้อมูลทางด้านองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันบริโภคจากงานวิจัยต่างๆ โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันงา น้ำมันคาโนลา และน้ำมันทานตะวัน และคัดเลือกน้ำมันคาโนลา ซึ่งมีสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 อยู่ในช่วงที่แนะนำให้บริโภค และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่โดดเด่นในการทอดแบบน้ำมันท่วม มาผลิตเป็นน้ำมันผสม

ตารางที่ ง.1 องค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ชนิดน้ำมัน	กรดไขมัน โอเมก้า 3 (Ω-3)	กรดไขมัน โอเมก้า 6 (Ω-6)	กรดไขมัน โอเมก้า 9 (Ω-9)	สัดส่วนของ Ω-3 : Ω-6 : Ω-9
น้ำมันถั่วเหลือง	10.00	53.00	27.00	1 : 5.30 : 2.70
น้ำมันข้าวโพด	16.60	0.80	46.70	1 : 0.05 : 2.81
น้ำมันรำข้าว	0.04	33.78	41.51	1 : 844.50 : 1037.75
น้ำมันถั่วลิสง	4.13	32.45	44.13	1 : 7.86 : 10.69
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	0.24	8.84	41.61	1 : 36.83 : 173.38
น้ำมันงา	13.50	44.00	40.00	1 : 3.26 : 2.96
น้ำมันคาโนลา	7.02	10.70	62.40	1 : 1.52 : 8.89
น้ำมันทานตะวัน	0.75	38.50	51.49	1 : 51.33 : 68.65

ที่มา : พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ (2548)

ง.2 การคำนวณสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้าของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลากับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันคาโนลาและน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะได้ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 (Ω-3) : กรดไขมันโอเมก้า 6 (Ω-6) : กรดไขมันโอเมก้า 9 (Ω-9) ดังนี้

$$\text{น้ำมันคาโนลา} \quad \Omega-3 : \Omega-6 : \Omega-9 = 6.42 : 15.80 : 33.95$$

$$\text{น้ำมันปาล์มโอเลอิน} \quad \Omega-3 : \Omega-6 : \Omega-9 = 0.45 : 7.14 : 19.95$$

ดังนั้น ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลากับน้ำมันปาล์มโอเลอินในอัตราส่วนต่างๆ มีดังนี้

1. น้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 20:80 (v/v)

$$\begin{aligned} \Omega-3 : \Omega-6 : \Omega-9 &= \frac{6.42(20) + 0.45(80)}{100} : \frac{15.80(20) + 7.14(80)}{100} : \frac{33.95(20) + 19.95(80)}{100} \\ &= 1.89 : 10.01 : 31.02 \end{aligned}$$

2. น้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 25:75 (v/v)

$$\begin{aligned} \Omega-3 : \Omega-6 : \Omega-9 &= \frac{6.42(25) + 0.45(75)}{100} : \frac{15.80(25) + 7.14(75)}{100} : \frac{33.95(25) + 19.95(75)}{100} \\ &= 2.04 : 9.31 : 31.56 \end{aligned}$$

3. น้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (v/v)

$$\begin{aligned} \Omega-3 : \Omega-6 : \Omega-9 &= \frac{6.42(30) + 0.45(70)}{100} : \frac{15.80(30) + 7.14(70)}{100} : \frac{33.95(30) + 19.95(70)}{100} \\ &= 2.26 : 10.05 : 31.58 \end{aligned}$$

4. น้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 40:60 (v/v)

$$\begin{aligned} \Omega-3 : \Omega-6 : \Omega-9 &= \frac{6.42(40) + 0.45(60)}{100} : \frac{15.80(40) + 7.14(60)}{100} : \frac{33.95(40) + 19.95(60)}{100} \\ &= 2.63 : 11.00 : 31.98 \end{aligned}$$

5. น้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 75:25 (v/v)

$$\frac{\omega-3}{100} : \frac{\omega-6}{100} : \frac{\omega-9}{100} = \frac{6.42(75) + 0.45(25)}{100} : \frac{15.80(75) + 7.14(25)}{100} : \frac{33.95(75) + 19.95(25)}{100}$$

$$= 5.34 : 14.82 : 32.99$$

ตารางที่ ง.2 สัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ของน้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมที่ใช้ในการทดลอง

สูตรน้ำมัน (v/v)	กรดไขมัน	กรดไขมัน	กรดไขมัน	สัดส่วนของ $\omega-3 : \omega-6 : \omega-9$
	โอเมก้า 3 ($\omega-3$)	โอเมก้า 6 ($\omega-6$)	โอเมก้า 9 ($\omega-9$)	
คาโนลา (CAO)	6.42	15.80	33.95	1 : 2.46 : 5.29
ปาล์มโอเลอิน (POO)	0.45	7.14	19.95	1 : 15.87 : 44.33
CAO:POO (20:80)	1.89	10.01	31.02	1 : 5.30 : 16.41
CAO:POO (25:75)	2.04	10.05	31.56	1 : 4.92 : 15.47
CAO:POO (30:70)	2.26	10.96	31.58	1 : 4.85 : 13.97
CAO:POO (40:60)	2.63	11.00	31.98	1 : 4.18 : 12.16
CAO:POO (75:25)	5.34	14.82	32.99	1 : 2.78 : 6.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

จ.1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ. 2543)

เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิตและฉลากสำหรับน้ำมันและไขมัน

ข้อ 1 ให้น้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหารได้ ซึ่งได้แก่ กลิเซอรอลของกรดไขมันต่าง ๆ ที่ได้จากพืชหรือสัตว์ ซึ่งใช้เป็นอาหารและบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท กล่อง ซอง หรือสิ่งห่อหุ้มที่ปิดผนึกเพื่อจำหน่ายเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ทั้งนี้ไม่รวมถึงเนยหรือเนยเทียม

ข้อ 2 น้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหาร แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.1 น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืช

2.2 น้ำมันและไขมันที่ได้จากสัตว์

2.3 น้ำมันและไขมันผสม ได้แก่ น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชต่างชนิดผสมกันไม่เกิน 2 ชนิด หรือน้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่ผสมกันโดยผ่านกรรมวิธีไฮโดรจิเนชัน หรือเอสเทอร์ริฟิเคชัน หรือน้ำมันและไขมันผสมตามชนิดและกรรมวิธีอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 3 พืชหรือไขมันของสัตว์ที่จะนำมาผลิตเอาน้ำมันและไขมัน ต้องมีสภาพที่เหมาะสมจะใช้ผลิตอาหาร และอยู่ในสภาพที่ให้น้ำมันและไขมันซึ่งบริโภคได้โดยปราศจากอันตราย

ข้อ 4 วิธีการผลิตน้ำมันและไขมันให้ทำได้ดังนี้

4.1 วิธีธรรมชาติ ทำโดยการบีบอัด โดยใช้ความร้อนหรือวิธีธรรมชาติอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง หรือการหมุนเหวี่ยง

4.2 วิธีผ่านกรรมวิธี ทำโดยนำน้ำมันและไขมันที่ได้จากวิธีธรรมชาติ หรือที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

4.3 วิธีอื่น ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 5 น้ำมันและไขมันต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

5.1 มีค่าของกรด (acid value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม

5.1.1 ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

5.1.2 ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

5.1.3 ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

5.1.4 ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

5.1.5 ได้ไม่เกิน 1.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีผสมกับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

5.2 มีค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำมันและไขมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10

5.3 มีน้ำและสิ่งที่จะระเหยได้ (water and volatile matter) ที่อุณหภูมิ 105°C ได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

5.4 มีปริมาณสบู่ (soap content) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

5.5 มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (insoluble impurities) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

5.6 มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมัน ยกเว้นน้ำมันและไขมันผสม

5.7 ไม่มีกลิ่นหืน

5.8 ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้

5.8.1 ไม่พบน้ำมันแร่ (Mineral oil)

5.8.2 เหล็ก ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.3 ทองแดง ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.4 ตะกั่ว ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.5 สารหนู ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.6 อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.7 Cyclopropanoid Fatty Acid ไม่เกินร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (ไม่เกิน 20 ส่วนในพันล้านส่วน)

- น้ำมันและไขมันผสมนอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามวรรคที่หนึ่งแล้ว อาจมีคุณภาพหรือมาตรฐานอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาด้วยก็ได้

- น้ำมันและไขมันที่ผลิตตามวิธีอื่นในข้อ 4 (4.3) ให้มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 การใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายประกาศนี้ การใช้วัตถุเจือปนอาหารชนิดอื่นนอกจากที่กำหนดให้ใช้ได้ตามวรรคแรก ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 ผู้ผลิตหรือนำเข้าน้ำมันและไขมันเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 8 การใช้ภาชนะบรรจุน้ำมันและไขมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 9 การแสดงฉลากของน้ำมันและไขมันที่ได้รับประทานหรือปรุงแต่งอาหาร ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องฉลาก

ข้อ 10 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุม เฉพาะ และกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลาก สำหรับน้ำมันและไขมัน ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72 (พ.ศ.2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2525 ประกาศกระทรวง สาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ.2534) เรื่อง น้ำมันและไขมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2534 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ.2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน (ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2538 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไป ได้อีกสองปี นับแต่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 11 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าน้ำมันและไขมันที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ ยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.2 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 (พ.ศ. 2547)

เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลารีนในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย

ด้วยปรากฏข้อมูลว่าน้ำมันที่นำมาทอดอาหารเพื่อจำหน่าย เมื่อมีการใช้ทอดซ้ำ หรือนำไปประกอบอาหารอาจมีสารโพลารีนในปริมาณสูงและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงสมควรกำหนดปริมาณสารโพลารีนในน้ำมันดังกล่าว

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพ ของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 39 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของ รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่ง กฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้ “น้ำมัน” หมายความว่า น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชหรือ สัตว์ และใช้เป็นอาหารได้

ข้อ 2 น้ำมันตามข้อ 1 ที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย มีสารโพลารีนได้ ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก

ข้อ 3 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็น ต้นไป ประกาศไว้ ณ วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2547

นางสุดารัตน์ เกตุราพันธ์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ จ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L* a* b*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด

SOV	df	MS			
		ความหนืด (cP)	L*	a*	b*
สูตรน้ำมัน	6	59545.023*	5.848*	7.157*	99.713*
error	14	0.850	1.803	0.144	0.077

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบมีขี้้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด

SOV	df	MS			
		สารประกอบมีขี้้ว (%)	กรดไขมันอิสระ (% oleic acid)	เปอร์ออกไซด์ (mEqv.O ₂ /kg)	ค่า p-anisidine
สูตรน้ำมัน	6	0.312*	5.848*	0.820*	0.116*
error	14	0.083	0.0003	0.0004	0.002

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ จ.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	61293.610*	62666.259*	65081.759*
error	14	11.605	6.523	2.834

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ จ.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	12.915*	12.757*	13.959*
error	14	0.208	0.045	0.051

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	3.812*	3.278*	2.263*
error	14	0.159	0.026	0.023

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	93.203*	97.385*	99.044*
error	14	0.116	0.129	0.121

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	2.675*	2.855*	3.181*
error	14	0.087	0.107	0.200

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	0.229*	0.248*	0.284*
error	14	0.0002	0.0009	0.0003

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	5.630*	5.930*	7.327*
error	14	0.0002	0.010	0.026

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า p-anisidine ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	6	68.863*	143.403*	227.672*
error	14	0.123	0.319	0.119

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L^* a^* b^*) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำก่อนการทอด

SOV	df	MS			
		ความหนืด (cP)	L^*	a^*	b^*
สูตรน้ำมัน	4	41431.282*	0.007 ^{ns}	0.145*	0.003 ^{ns}
error	10	10.941	2.927	0.023	6.641

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบมีขี้้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า p-anisidine ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำก่อนการทอด

SOV	df	MS			
		สารประกอบมีขี้้ว (%)	กรดไขมันอิสระ (% oleic acid)	เปอร์ออกไซด์ (mEqv. O_2 /kg)	ค่า p-anisidine
สูตรน้ำมัน	4	0.068 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.076*
error	10	0.098	0.001	0.055	0.001

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำก่อนการทอด

SOV	df	MS	
		DPPH radical-scavenging activity (%)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/g sample)
สูตรน้ำมัน	4	182.836 ^{ns}	12872.743*
error	10	9.367	476.867

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	41785.926 ^{ns}	42460.687 ^{ns}	43344.882 ^{ns}
error	10	6.938	5.834	0.441

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	0.070 ^{ns}	0.113 ^{ns}	0.178 ^{ns}
error	10	2.039	1.678	1.184

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	0.115 ^{ns}	0.190*	0.197 ^{ns}
error	10	0.037	0.037	0.075

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	0.225 ^{ns}	0.414 ^{ns}	0.517 ^{ns}
error	10	7.050	5.164	11.314

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบมีขี้ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	2.225*	2.787*	3.018*
error	10	0.664	0.133	0.219

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	0.0007 ^{ns}	0.0010 ^{ns}	0.0012 ^{ns}
error	10	0.0005	0.001	0.001

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ จ.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	0.035 ^{ns}	0.046 ^{ns}	0.077 ^{ns}
error	10	0.034	0.046	0.055

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ จ.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า p-anisidine ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	33.599*	40.021*	96.776*
error	10	0.532	0.551	3.568

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ จ.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	202.177 ^{ns}	197.299 ^{ns}	157.478*
error	10	12.119	8.265	9.447

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ ที่ระยะเวลาในการทอดที่ 20 40 และ 60 นาที

SOV	df	MS		
		20 นาที	40 นาที	60 นาที
สูตรน้ำมัน	4	11078.934*	9843.906*	9074.785*
error	10	7.449	3.037	3.899

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L^* a^* b^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ก่อนการเก็บรักษา

SOV	df	MS			
		ความหนืด (cP)	L^*	a^*	b^*
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	4.107*	10.716*	0.529*	100.920*
อุณหภูมิในการเก็บรักษา (B)	1	1.369 ^{ns}	3.572 ^{ns}	0.176 ^{ns}	33.640 ^{ns}
AXB	1	0.287 ^{ns}	0.718 ^{ns}	0.158 ^{ns}	0.178 ^{ns}
error	8	0.036	0.090	0.020	0.022

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ก่อนการเก็บรักษา

SOV	df	MS	
		กรดไขมันอิสระ (% oleic acid)	เปอร์ออกไซด์ (mEqv.O ₂ /kg)
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	4.8x10 ⁻⁵ ns	0.024*
คุณหมุมิในการเก็บรักษา (B)	1	1.6x10 ⁻⁵ ns	0.008 ^{ns}
AXB	1	0.079 ^{ns}	0.005 ^{ns}
error	8	1.9x10 ⁻⁵	0.001

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

ตารางที่ จ.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ก่อนการเก็บรักษา

SOV	df	MS	
		DPPH radical- scavenging activity (%)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/g sample)
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	1158.367*	82369.470*
คุณหมุมิในการเก็บรักษา (B)	1	386.123 ^{ns}	27456.490 ^{ns}
AXB	1	16.717 ^{ns}	1.560 ^{ns}
error	8	2.090	0.195

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

ตารางที่ จ.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	40.333*	18.650*	52.501*	35.158*
คุณหมุมิในการเก็บรักษา (B)	1	19.406*	10.120*	1.021*	0.018*
AXB	1	14.083*	6.871*	0.367*	3.478 ^{ns}
error	8	0.141	0.170	0.062	0.285

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	3.300*	6.571*	7.760*	28.244 ^{ns}
คุณหมุมิในการเก็บรักษา (B)	1	0.704*	2.001*	4.236*	16.263 ^{ns}
AXB	1	0.292*	0.032 ^{ns}	2.042*	10.735 ^{ns}
error	8	0.023	0.037	0.043	5.374

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	34.273*	30.880*	43.358*	53.594*
อุณหภูมิในการเก็บรักษา (B)	1	4.638*	5.057*	8.450*	13.653*
AXB	1	4.563*	5.031*	8.417*	11.369*
error	8	0.006	0.001	0.004	0.005

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	483.743*	493.057*	658.897*	660.083*
อุณหภูมิในการเก็บรักษา (B)	1	178.872*	206.007*	308.053*	324.064*
AXB	1	164.798*	166.806*	289.690*	266.209*
error	8	0.165	0.009	0.062	0.042

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระ ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	0.001*	0.003*	0.005*	0.001*
อุณหภูมิในการเก็บรักษา (B)	1	0.001*	0.003*	0.004*	0.009*
AXB	1	0.326*	0.373*	0.001*	0.005*
error	8	0.0001	0.00003	0.00001	0.00002

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	5.942*	4.871*	3.831*	4.566*
อุณหภูมิในการเก็บรักษา (B)	1	0.788*	0.697*	0.854*	25.864*
AXB	1	0.719*	0.338 ^{ns}	0.255 ^{ns}	1.493*
error	8	0.001	0.081	0.083	0.050

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า DPPH radical-scavenging activity ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลากับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	223.005*	175.874*	40.376*	7.492*
อุณหภูมิในการเก็บรักษา (B)	1	7.901 ^{ns}	15.393*	18.372*	32.112*
AXB	1	6.011 ^{ns}	8.730*	5.582*	0.003 ^{ns}
error	8	6.010	0.374	0.533	0.088

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันคาโนลากับน้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่เติมสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ 800 ppm ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 1 2 3 และ 4 เดือน

SOV	df	MS			
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ปริมาณสารสกัดจากใบมะกอกน้ำ (A)	1	74892.000*	43320.083*	38874.083*	20833.333*
อุณหภูมิในการเก็บรักษา (B)	1	560.333 ^{ns}	3710.083*	6864.083*	8533.333*
AXB	1	280.333 ^{ns}	3234.083*	5676.750*	7301.333*
error	8	140.500	310.833	25.250	42.500

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวทิมพัชร พิมพ์แก้ว เกิดวันที่ 16 เมษายน 2529 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

ผลงานวิจัย

เสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายเรื่องผลของสารสกัดจากใบมะกอกน้ำต่อเสถียรภาพของน้ำมันบริโภคชนิดผสมระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม (Effect of olive leaf extract on stability of blending edible oil during deep-fat frying) ในการประชุมทางวิชาการ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 29-31 กรกฎาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก



ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย