

รายงานการวิจัย

ชื่อโครงการภาษาไทย: ผลของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรต่อการต้านออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ: Effect of plant essential oils on retardation of oxidation in reheated palm frying oil

ชื่อผู้วิจัย: นางสาวสุรีย์ นานาสมบัติ หัวหน้าโครงการวิจัย

รศ.  
ศ.867๗  
ร.555

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...137345  
รับเดือนปี 22 ส.ย. 2558

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ

พ. ศ. 2555

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒๒ ๖๑๙๑๖๖  
b.....  
i.....

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) ผลของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรต่อการต้านออกซิเดชันในน้ำมัน  
ปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาอังกฤษ) Effect of plant essential oils on retardation of oxidation in reheated  
palm frying oil

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2553 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 200,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึง กันยายน พ.ศ. 2555

หัวหน้าโครงการวิจัย: รศ.ดร.สุรีย์ นานาสมบัติ

หน่วยงานต้นสังกัด: สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง อีเมลล์: knsuree@kmitl.ac.th

คำสำคัญ (Keywords): สารต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันหอมระเหย ปฏิกริยาออกซิเดชัน

### บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติทางพิษเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ กานพลู ขมิ้นชัน อบเชย ลูกผักชี และยี่ห่วย พบว่า น้ำมันกานพลูมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่า  $IC_{50}$  จากการทดสอบด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical เท่ากับ 0.008 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่า Ferric reducing antioxidant power (FRAP) เท่ากับ 3.858 มิลลิโมลต่อมิลลิกรัม นอกจากนี้ น้ำมันกานพลูยังมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุดเท่ากับ 500.69 ไมโครกรัมกรดแกลลิกอิกควาเลนต่อมิลลิกรัม น้ำมันหอมระเหย ดังนั้นจึงได้คัดเลือกน้ำมันการพลูมาประยุกต์ใช้ในการชะลอการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม (น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันทานตะวัน ในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร) ในระหว่างการทอดแคปหมูซ้ำ ในการศึกษาผลของน้ำมันกานพลู (ร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด (น้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม) และแคปหมูที่ผ่านการทอดซ้ำ ผลปรากฏว่า การเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดซ้ำ และแคปหมูได้ดีกว่าการเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4 เนื่องจากมีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidine ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารโพลาาร์ทั้งหมด ค่าสี และค่าเอนซาร์นี้เป็นเอนซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TBARS ของแคปหมูเพิ่มขึ้นช้าลงและยังช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันที่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมพบว่าน้ำมันผสมมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหลังการทอดซ้ำเกิดขึ้นได้ช้ากว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Abstract

The phytochemical properties of 5 Thai medicinal plant essential oils, including clove, turmeric, cinnamon, coriander and cumin oils in were studied. Clove oil had the strongest antioxidant activity with  $IC_{50}$  of 0.008 mg/ml by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity method and reducing capacity of 3.858 mmol/mg by ferric reducing antioxidant power (FRAP) method. In addition, clove oil also contained high amount of total phenolic compounds (500.69  $\mu$ g GAE/mg oil). Therefore, clove oil was selected for use to slow down the deterioration of palm and blend oils (palm, olive and sunflower oils in the ratio of 60:30:10 by volume) during repeated frying of pork skin.

The effect of clove oil (0.4 and 0.6%) on quality change of repeated frying oils (palm and blend oils) and a fried pork skin product (caps moo) was investigated. Addition of 0.6% clove oil in both frying oils resulted in retardation of lipid oxidation in the two frying oils and the fried pork skin product by slowing down the increasing of peroxide value, *p*-anisidine value, free fatty acid, content total and polar content in these frying oils and slowing down the increase of TBARS value of the product. Moreover, 0.6% clove oil added in these frying oils caused retardation of the oils during storage at ambient temperature for 4 weeks. Comparing with palm oil, blend oil was more effective oil as its deterioration occurred more slowing after repeated frying.

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	8
บทที่ 3 อุปรกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	30
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

เครื่องเทศเป็นพืชสมุนไพร (aromatic plant) ซึ่งได้จากส่วนต่างๆของพืชเช่น เมล็ด ดอก ใบ เปลือกหรือราก เครื่องเทศหลายชนิดเช่น พริกไทย กานพลู จิง ลูกจันทร์ ดอกจันทร์เทศและอื่นๆ ใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นรสและถนอมอาหาร ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยาและเครื่องสำอางค์ (Chaichite, 2004) เครื่องเทศและสมุนไพรหลายชนิดมีสมบัติต้านออกซิเดชันได้ (Santoro และคณะ, 2007) ดังเช่นในรายงานวิจัยของ Santoro และคณะ (2007) พบว่าน้ำมันกานพลูมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้สูงเมื่อวิเคราะห์ด้วย DPPH พบว่ามีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 99.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ในอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีผลทำให้คุณค่าทางอาหารและกลิ่นรสของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่ดี การเหม็นหืนเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เองเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) กับออกซิเจนได้เป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ที่สามารถสลายตัวเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ทำให้มีกลิ่นเหม็นหืน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งจะช่วยให้เริ่มต้นของปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) (Stauffer, 1996) ซึ่งอนุมูลอิสระนั้นเป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในวงนอกสุดจึงไม่คงตัวและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่ออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นถูกจับโดยออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (reactive oxygen species) เช่น อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออน (superoxide anion,  $O_2^-$ ) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl, OH) ไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO) และเปอร์ออกซิไนไตรต์ (peroxinitrite) เป็นต้น (Gulcin และคณะ, 2003) สารเหล่านี้เป็นผลให้เกิด oxidative stress ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรคต่างๆ เช่น มะเร็ง และหลอดเลือดหัวใจตีบตัน เป็นต้น (Halliwell และ Gutteridge, 1999)

น้ำมันที่ใช้ในการทอดอาหารเมื่อสัมผัสอากาศ แสงและผ่านความร้อนประมาณ 180 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาหนึ่งจะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งไม่เพียงส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดเท่านั้นยังส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทอดอีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นการรับประทานอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันที่เคยผ่านความร้อนมาแล้วหรือน้ำมันที่เกิดออกซิเดชันแล้วจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเช่น การทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรคมะเร็ง (de Mejia และคณะ, 2010) ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการชะลอการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อน

โดยทั่วไปการเติมสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์สามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารได้ มีสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์หลายชนิดที่นิยมเติมลงในอาหารได้แก่ บีเอชเอ (butyrate hydroxyl anisole, BHA) บีเอชที (butyrate hydroxyl toluene, BHT) และทีบีเอชคิว (tertiary butylhydroquinone, TBHQ) เป็นต้น แต่สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์เหล่านี้อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงซึ่งไม่ดีต่อสุขภาพ ถ้าหากใช้ในปริมาณที่สูง (Anagnostopoulou และคณะ, 2006) ฉะนั้นจึงน่าสนใจที่จะนำสารสกัดจากพืชที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันได้มาใช้ทดแทนสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ โดยจะพบได้ในเครื่องเทศและพืชสมุนไพร การชะลอการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดซ้ำด้วยน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรจึงเป็นทางเลือกที่ดีและได้มีการวิจัยกันมาบ้างแล้วเกี่ยวกับการเติมสารธรรมชาติลงในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร เช่น การเติมน้ำมันหอมระเหยจากไทม์และลาเวนเดอร์ลงในน้ำมันทานตะวัน (Bensmira และคณะ, 2007) และการเติมสารสกัดจากโรสแมรี่และเสจลงในน้ำมันปาล์ม (Che Man และ Jaswir, 1999) อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลในงานวิจัยน้อยจึงเป็นที่สนใจในการศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยเพื่อคัดเลือกชนิดที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันได้ดีที่สุดนำมาประยุกต์ใช้โดยเติมลงในน้ำมันพืชที่ใช้ทอดแคปหมู เพื่อชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันในแคปหมูและในน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดในระหว่างการเก็บรักษา

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย
2. เพื่อคัดเลือกน้ำมันที่เหมาะสมต่อการทอดอาหาร
3. เพื่อศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยต่อการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันทอดซ้ำและอาหารทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย เป็นสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของพืชซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความซับซ้อน ระเหยได้ มีกลิ่นแรง โดยปกติน้ำมันหอมระเหยจะได้รับการกลั่นด้วยน้ำ หรือกลั่นด้วยไอน้ำ ซึ่งได้มีการพัฒนาเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อยุคกลางในประเทศอาหรับ น้ำมันหอมระเหยเป็นที่รู้จักกันดีในด้านของคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค เช่น ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา มีคุณสมบัติเป็นยา ทำน้ำหอม เป็นสารถนอมอาหาร สารต้านจุลินทรีย์ ยาบรรเทาปวด ยาระงับประสาท ต้านการอักเสบ ยาบรรเทากล้ามเนื้อ และรักษาอาการชาได้ ในธรรมชาติน้ำมันหอมระเหยมีบทบาทสำคัญในการป้องกันพืชจากแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา รวมถึงแมลงที่มาทำลายพืช อีกทั้งยังป้องกันพืชจากสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร โดยทำให้ลดการขยายอาหารลงได้ นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยยังดึงดูดแมลงบางชนิดเพื่อให้เกิดการแพร่กระจายของเกสรหรือเมล็ด หรืออาจเป็นการขับไล่แมลงอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการอีกด้วย น้ำมันหอมระเหยสกัดได้จากพืชหลากหลายชนิด โดยทั่วไปมักเป็นพืชที่อยู่ในประเทศในเขตอบอุ่น เช่น ประเทศในเขตทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และประเทศเขตร้อนชื้น ลักษณะของน้ำมันหอมระเหย คือ เป็นของเหลว ระเหยได้ ใส ไม่ค่อยมีสี มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ละลายได้ในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำมันหอมระเหยสามารถสร้างได้จากทุกส่วนของพืช เช่น ตา ดอก ใบ ลำต้น กิ่ง เมล็ด ผล ราก เปลือกไม้ และอาจถูกเก็บไว้ใน secretory cell ตามท่อหรือช่อง ในเซลล์ชั้นอพิเดอริมีส (epidermis cell) หรือ glandular trichome (Bakkali และคณะ, 2008)

การสกัดน้ำมันหอมระเหยสามารถทำได้หลายวิธี รวมถึงการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว คลื่นไมโครเวฟ และการกลั่นโดยใช้แรงดันสูงหรือต่ำซึ่งใช้การต้มน้ำหรือการใช้ไอน้ำร้อน น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จะมีปริมาณ คุณภาพ และองค์ประกอบต่างๆ แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ องค์ประกอบของดิน ส่วนของพืชที่นำมาสกัด และช่วงอายุของพืช ดังนั้นการที่จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีองค์ประกอบต่างๆ คงที่ จึงต้องทำการสกัดภายใต้สภาวะเดิม จากส่วนเดียวกันของพืช ซึ่งเจริญเติบโตภายใต้สภาพของดิน และภูมิอากาศเดียวกัน และยังคงเก็บในช่วงฤดูเดียวกันอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันมีน้ำมันหอมระเหยประมาณ 3000 ชนิดที่เป็นรู้จักกันดี ในจำนวนนี้มีประมาณ 300 ชนิดที่มีความสำคัญทางด้านเภสัชกรรม อุตสาหกรรมด้านการเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมด้านสุขอนามัย อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมน้ำหอม น้ำมันหอมระเหยหรือส่วนประกอบบางส่วนของน้ำมันหอมระเหยได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำหอม เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ ด้านทันตกรรม ด้านการเกษตร โดยใช้เป็นสารถนอมอาหารและเจือปนในอาหาร และใช้เป็นยาธรรมชาติในการรักษาโรค ตัวอย่างเช่น ดี-ลิโมนีน (d-limonene) เจอรานิล แอซิเตท (geranyl acetate) หรือ ดี-คาร์ไวโน (d-carvone) ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำหอม ครีม สบู่ และสารช่วยเพิ่มกลิ่นรสของอาหาร ใช้เป็นสารให้กลิ่น ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดบ้าน และใช้เป็นตัวทำละลายในด้านอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามน้ำมันหอมระเหยยังถูกนำมาใช้ในการนวดโดยผสมกับน้ำมันพืช หรือผสมในอ่างอาบน้ำ แต่บ่อยครั้งที่มีกใช้ในสุนทรียบำบัดหรือการบำบัดรักษาด้วยกลิ่นหอม (aromatherapy) น้ำมันหอมระเหยบางชนิดยังมีคุณสมบัติเฉพาะทางด้านยาซึ่งได้ถูกกล่าวไว้ว่าสามารถรักษาอวัยวะภายในหรือระบบร่างกายที่มีความผิดปกติได้ (Bakkali และคณะ, 2008)

#### องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารธรรมชาติที่ซับซ้อนซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบประมาณ 20-60 ชนิดมีความเข้มข้นแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยจะมีสารประกอบที่เป็นสารประกอบหลักอยู่ 2-3 ชนิด และพบในปริมาณมากประมาณร้อยละ 20-70 ในขณะที่สารประกอบชนิดอื่นๆพบได้ในปริมาณน้อย อย่างเช่น น้ำมันหอมระเหยของออริกาโน (*Origanum compactum*) มีสารประกอบหลักคือ คาร์วาครอล (carvacrol) ประมาณร้อยละ 30 และไทมอล (thymol) ร้อยละ 27 น้ำมันหอมระเหยของผักชี (*Coriandrum sativum*) จะพบลินาลูล (linalool) ประมาณร้อยละ 68 น้ำมันหอมระเหยของ *Artemisia herba-alba* จะพบ แอลฟา-ทูจอน ( $\alpha$ -thuyone) และเบต้า-ทูจอน ( $\beta$ -thuyone) ประมาณร้อยละ 57 และการบูร (camphor) ร้อยละ 24 น้ำมันหอมระเหยของการบูร (*Cinnamomum camphora*) จะพบ 1,8-ซีเนออล (1,8-cineole) ร้อยละ 50 น้ำมันหอมระเหยในใบของผักชีลาว (*Anethum graveolens*) จะพบ แอลฟา-ฟีลเลนดรีน ( $\alpha$ -phellandrene) ร้อยละ 36 และลิโมนีน (limonene) ร้อยละ 31 ในขณะที่ในเมล็ดจะพบคาร์ไวโน (carvone) ร้อยละ 58 และลิโมนีน ร้อยละ 37 และน้ำมันหอมระเหยของสะระแหน่ญี่ปุ่น (*Mentha piperita*) จะพบเมนทอล (menthol) ร้อยละ 59 และเมนโทน (menthone) ร้อยละ 19 โดยปกติสารประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางชีวภาพของน้ำมันหอมระเหย และส่วนใหญ่มักเป็นสารที่พืชสังเคราะห์ขึ้นตามธรรมชาติที่แตกต่างกัน 2 กลุ่มด้วยกัน กลุ่มหลักๆเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรราชวิทยาลัย  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเทอร์พีน (terpenes) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) และสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) และ อะลิฟาติก (aliphatic) อื่นๆ ซึ่งทั้งหมดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Bakkali และคณะ, 2008)

### ก) เทอร์พีน (terpenes)

เป็นสารที่มีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิด ซึ่งเกิดขึ้นจากการรวมกันของหน่วยที่มีจำนวนคาร์บอน 5 อะตอมหลายๆหน่วย ซึ่งเรียกว่า ไอโซพรีน (isoprene) การสังเคราะห์ เทอร์พีน เริ่มจากสารตั้งต้นชื่อ ไอโซเพนทีนิลไดฟอสเฟต (isopentenyl diphosphate (IPP) precursor) และการเติม IPPs เพื่อสร้างพรีนิลไดฟอสเฟต (prenyldiphosphate precursor) ซึ่งทำให้เกิดเทอร์พีนหลากหลายชนิด และเกิดการดัดแปลงอัลลิลิกพรีนิลไดฟอสเฟต (allylic prenyldiphosphate) โดยเอนไซม์ซิลเททเอสจำเพาะ (terpene specific synthetase) เพื่อทำให้เกิด โครงสร้างของเทอร์พีน (terpene skeleton) และในที่สุดจะเกิดการดัดแปลงโดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction)) ของ โครงสร้างเทอร์พีน (terpene skeleton) ทำให้มีคุณสมบัติและหน้าที่ที่แตกต่างกันไป (Bakkali และคณะ, 2008)

เทอร์พีนชนิดหลักๆที่พบเป็น โมโนเทอร์พีน (monoterpene,  $C_{10}$ ) และเซสควิเทอร์พีน (sesquiterpene,  $C_{15}$ ) แต่อาจพบเทอร์พีนในกลุ่มอื่นได้ เช่น เฮมิเทอร์พีน (hemiterpene,  $C_5$ ) ไดเทอร์พีน (diterpene,  $C_{20}$ ) ไตรเทอร์พีน (triterpene,  $C_{30}$ ) และเตตราเทอร์พีน (tetraterpene,  $C_{40}$ ) และถ้าในโมเลกุลของเทอร์พีนมีอะตอมของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่จะเรียกว่าเทอร์พีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่สังเคราะห์ได้จากโมเลกุลของแอซีเตท โดยธรรมชาติแล้วสารชนิดนี้จะมีจุดกำเนิดร่วมกันกับกรดไขมัน แต่จะแตกต่างกับกรดไขมันตรงที่สารเหล่านี้จะมีความเป็นกิ่งก้านสาขาและเป็นวงแหวนมากกว่า ตัวอย่างของสารเทอร์พีนอลที่พบได้บ่อยได้แก่ เมทานอล และการบูรซึ่งเป็นสารในกลุ่มของโมโนเทอร์พีน นอกจากนี้ยังมีฟาร์นิซอล (farnesol) และ อาร์ทีมิซินิน (artemisin) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มของเซสควิเทอร์พีนด้วย สำหรับอาร์ทีมิซินินและอนุพันธ์แอลฟา-อาร์ทีเทอร์ ( $\alpha$ -arteether) หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อ qinghaosu เป็นสารที่ยับยั้งโรคไข้มาลาเรีย ซึ่งจัดเป็นสารในกลุ่มของเทอร์พีนอลด้วยเช่นกัน (Cowan, 1999)

โมโนเทอร์พีนเป็นสารที่เกิดจากการรวมตัวกันของหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit,  $C_{10}$ ) และเป็นสารที่พบมากที่สุดคือน้ำมันหอมระเหย โดยมีมากถึงร้อยละ 90 ของสารประกอบทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหยมีโครงสร้างหลากหลาย ซึ่งประกอบไปด้วยสารที่มีหน้าที่ต่างๆมากมาย (ตารางที่ 2.2) เมื่อโมเลกุลของสารมีคุณสมบัติ optically active จะพบบ่อยมากที่มักจะมีเอแนนทิโอเมอร์ (enantiomer) 2 ไอ

เอกลีแอกเป็นเอกลีแอกที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อการค้าเท่านั้น เมื่ออยู่ติดกันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเมอรินในพืชที่แตกต่างกัน เช่น (+)-แอลฟา-ไพเนน ((+)- $\alpha$ -pinene) จาก *Pinus palustris*, (-)-เบต้า-ไพเนน ((-)- $\beta$ -pinene) จาก *Pinus caribaea*, (-)-ลinalool ((-)-linalool) จากเมล็ดผักชี และ (+)-ลinalool ((+)-linalool) จากต้นการบูรบางชนิด ในบางกรณีจะเกิดรูปแบบของ racemic ขึ้นซึ่งพบได้บ่อย เช่น ( $\pm$ )-ซิโตรเนลลอล (( $\pm$ )-citronellol) โดยรูปแบบ (+) จะเป็นคุณลักษณะเฉพาะที่พบได้ใน *Eucalyptus citriodora* และรูปแบบของ (-) เป็นรูปแบบที่พบได้ทั่วไปในน้ำมันกุหลาบและเจอร์ราเนียม (Bakkali และคณะ, 2008)

เซสควิเทอร์พีน (sesquiterpenes) เกิดจากการประกอบเข้าด้วยกันของไอโซพรีน 3 โมเลกุล ( $C_{15}$ ) การต่อกันของโมเลกุลจนเป็นสายยาวจะเพิ่มการเกิด โครงสร้างที่เป็นวงมากขึ้นซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายของโครงสร้าง โครงสร้างและหน้าที่ของ sesquiterpenes จะคล้ายคลึงกับกลุ่มของ monoterpenes ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ตัวอย่างของพืชที่มีสารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เบอร์กามอท (bergamot) ยี่ห่วย (caraway) ขึ้นฉ่าย (celery) ตะไคร้หอม (citronella) ผักชี (coriander) ยูคาลิปตัส (eucalyptus) เจอราเนียม (geranium) ลาเวนดิน (lavandin) ลาเวนเดอร์ (lavander) มะนาว (lemon) ตะไคร้ (lemongrass) ส้มจีน (mandarin) มินต์ (mint) ส้ม (orange) สะระแหน่ ญี่ปุ่น (peppermint) ไบส้อม (petitgrain) โรสแมรี่ (rosemary) เสดจ (sage) และ ไทม์ (thyme)

#### ข) สารประกอบอะโรมาติก

สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) เป็นสารที่เกิดจากฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) ซึ่งพบได้น้อยกว่าเทอร์พีน วิธีในการสังเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับเทอร์พีนและอนุพันธ์ของฟีนิลโพรพานิก (phenylpropanic) ในพืชโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นแยกกัน แต่ในพืชบางชนิดอาจเกิดขึ้นร่วมกันโดยจะเกิดในวิถี (pathway) ของการสังเคราะห์หลักๆ 1 วิธี เช่น น้ำมันอบเชยสังเคราะห์สารซินนามอลดีไฮด์ (cinnamaldehyde) เป็นสารประกอบหลักและยูจีนอล (eugenol) เป็นสารประกอบรอง ลักษณะการเกิดเช่นนี้จะเกิดขึ้นในน้ำมันกานพลูและน้ำมันเฟนเนลด้วยเช่นกัน (Bakkali และคณะ, 2008)

สารประกอบอะโรมาติกประกอบด้วย สารกลุ่มอัลดีไฮด์ (aldehyde) เช่น ซินนามอลดีไฮด์ กลุ่มของแอลกอฮอล์ เช่น ซินนามิกแอลกอฮอล์ (cinnamic alcohol) กลุ่มของฟีนอล เช่น ชาวิคอล (chavicol) และยูจีนอล อนุพันธ์ของเมทอกซี (methoxy derivative) เช่น อะนิทอล (anethol) อิลิมิซิน (elemicine) เอสทราไกล (estragole) และเมทิลยูจีนอล (methyl eugenol) และในกลุ่มของ สารประกอบ

เมทิลีนไดออกซี (methylene dioxy compound) เช่น เอพิกอล (apicole) ไมริสทิซิน (myristicine) และ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซฟรอล (safrrole) พืชที่มักพบสารประกอบเหล่านี้ ได้แก่ เทียนสัตตบงกช (anise) อบเชย (cinnamon) กานพลู (clove) จันทน์เทศ (nutmeg) ผักชีฝรั่ง (parsley) โป๊ยกั๊ก (star anise) และพืชบางวงศ์ เช่น Apiaceae, Lamiaceae, Myrtaceae และ Rutaceae ในสารที่มีในโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น กลูโคซิโนเลต (glucosinolates) และอนุพันธ์ของไอโซไทโอไซยาเนต (isothiocyanate derivative) มักพบในน้ำมันกระเทียมและน้ำมันมัสตาร์ด สารเหล่านี้เป็นสารทุติยภูมิที่มีคุณลักษณะเฉพาะในพืชหลากหลายชนิดและยังพบได้ในผลิตภัณฑ์อบ หรือในผลิตภัณฑ์อย่างคั่ว (Bakkali และคณะ, 2008)

## 2.2 น้ำมันที่ใช้ทอด

น้ำมันพืชได้แก่ น้ำมันข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดเรพ (rape seed) ที่มีกรดอีรูคิก (erucic) ตำ ดอกคำฝอย (safflower) เมล็ดฝ้ายและดอกทานตะวัน ในปัจจุบันมีการใช้น้ำมันเหล่านี้ในการทอดกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความสัมพันธ์กันระหว่างต่อการเกิดโรคหัวใจ และไขมันอิ่มตัวที่ประกอบด้วยกรดไขมัน ในปัจจุบันจึงมีแนวโน้มในการใช้น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น แต่น้ำมันที่มีราคาถูกกว่าซึ่งอาจไม่มีการติดฉลากจะมีการผสมของน้ำมันที่มีมากเช่น น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดเรพ โดยที่จุดควันของน้ำมันที่ใช้ทอดควรจะไมต่ำกว่า 215 องศาเซลเซียส น้ำมันที่ใช้ทอดส่วนใหญ่มีสารต้านการเกิดฟองเช่น โดยมีการป้องกันการเกิดฟองสารดีเมทิลไดมethylpolysiloxane) น้อย (ประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สารนี้สามารถใช้เพื่อลดการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยการป้องกันการเกิดoxidative foaming ดังนั้นสารนี้จึงช่วยให้น้ำมันที่ใช้ทอดมีระยะเวลาการใช้งานได้ยาวนาน สารป้องกันการเกิดฟองไม่สามารถละลายได้อย่างแท้จริงในน้ำมันพืชและทำงาน โดยการทำให้เกิดชั้นเดี่ยวหรือมอโนเลเยอร์ (monolayer) บนพื้นผิวของน้ำมันที่กำลังเดือด น้ำมันที่ใช้ทอดอาจจะต้องถูกวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระ ค่าความหืนและความเป็นของแท้โดยถูกต้องโดยการวิเคราะห์ GLC fatty acid (Kirk และ Sawyer, 1991)

ในระหว่างการทอดที่อุณหภูมิสูงน้ำมันที่ใช้ทอดมีแนวโน้มที่จะเกิดออกซิเดชันและเกิดการเสื่อมสภาพด้วยอนุมูลสูงโดยทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่สามารถระเหยและไม่ระเหยได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์บางอย่างนี้ถ้ามีในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ ผลิตภัณฑ์นี้ได้แก่สารที่สามารถระเหยได้และ โพลีเมอร์ ไดเมอร์ (dimer) ออกซิสเตอรอล (oxysterols) กรดไขมันที่มีโครงสร้างแบบวง (cyclic fatty acid) สารประกอบอัลคาไลค์ (alkaline compounds) และฟอง ได้มีรายงานเกี่ยวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพมีผลต่อคุณภาพน้ำมันและผลิตภัณฑ์ (Kirk และ Sawyer, 1991)

### 2.2.1 น้ำมันปาล์ม

ในน้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันที่มีไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบหลักและยังพบ glyceridic material อีกปริมาณมากรวมมั้ง โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์อีกเล็กน้อย ความยาวของสายกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยจาก 12 ถึง 20 คาร์บอนอะตอม ซึ่งพบว่าในน้ำมันปาล์มมีร้อยละ 50 และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอีกร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังมีสารประกอบส่วนน้อยอื่นๆ ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) แอลฟา-โทโรเฟอรอล สเตอรอล ฟอสฟาไทด์ (phosphatides) ไตรเตอปีนิก (triterpenic) และกรดอะลิฟาติก (aliphatic acid) แม้ว่าจะพบสารเหล่านี้น้อยกว่าร้อยละ 1 ในน้ำมันก็ตาม แต่สารเหล่านี้กลับมีบทบาทต่อความเสถียรและความบริสุทธิ์ของน้ำมันในการเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารของน้ำมัน (Shahidi, 2005)

#### ก) น้ำมันปาล์มและสารสกัดเมล็ดปาล์ม

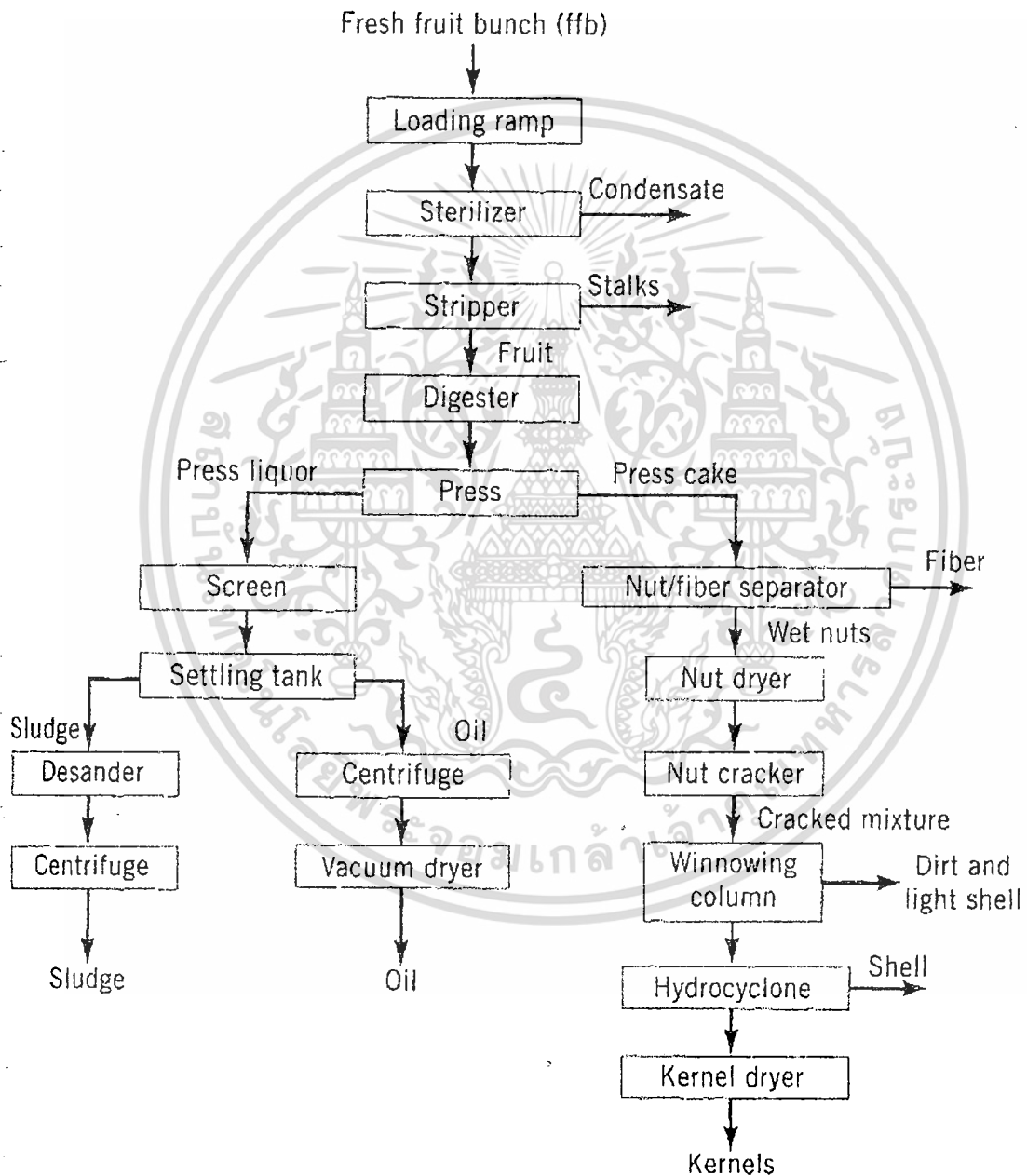
โดยในขั้นแรกจะทำการรับผลปาล์มเพื่อให้ผลปาล์มเสียหายน้อย ต้องเคลื่อนย้ายผลปาล์มอย่างระมัดระวังไปยังบริเวณที่ทำการถ่าผลปาล์ม จากนั้นจึงนำไปทำการฆ่าเชื้อ (sterilization) โดยทำการฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อุณหภูมิ 143 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 60 นาทีวัตถุประสงค์ของการฆ่าเชื้อคือ ป้องกันการเกิดกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ เพื่อความสะดวกในขั้นตอน stripping เพื่อเตรียมส่วน pericarp สำหรับกระบวนการต่อไป และเพื่อทำให้เกิดความเสียหายของเมล็ดปาล์มน้อยที่สุด จากนั้นเป็นขั้นตอน stripping เพื่อแยกผลส่วนที่ฆ่าเชื้อออกจากกัน แล้วจึงทำการย่อย (digestion) เพื่อให้ความร้อนผลปาล์มอีกครั้ง ทำให้เปลือกของผลปาล์มหลวมไม่ติดกับเนื้อในและเพื่อให้เซลล์น้ำมันแตกก่อนจะนำไปทำการสกัดน้ำมัน จากนั้นจึงทำการสกัดน้ำมัน (oil extraction) โดยมักจะใช้ screw press อย่างต่อเนื่อง แผนภูมิในการสกัดน้ำมันปาล์มดังแสดงรูปที่ 2.1

#### ข) การทำบริสุทธิ์และการแยกส่วน (refining and fractionation)

การทำบริสุทธิ์ทางกายภาพและทางเคมี น้ำมันปาล์มหยาบ (crude palm oil) ที่สกัดได้จากผลปาล์มสดเล็กน้อยจะมีส่วนประกอบที่ไม่ต้องการและไม่บริสุทธิ์เจือปนในปริมาณน้อยในปริมาณผันแปรบางส่วนของเส้นใย mesocarp ความชื้นและสารที่ละลายได้ กรดไขมันอิสระ ฟอสโฟลิปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

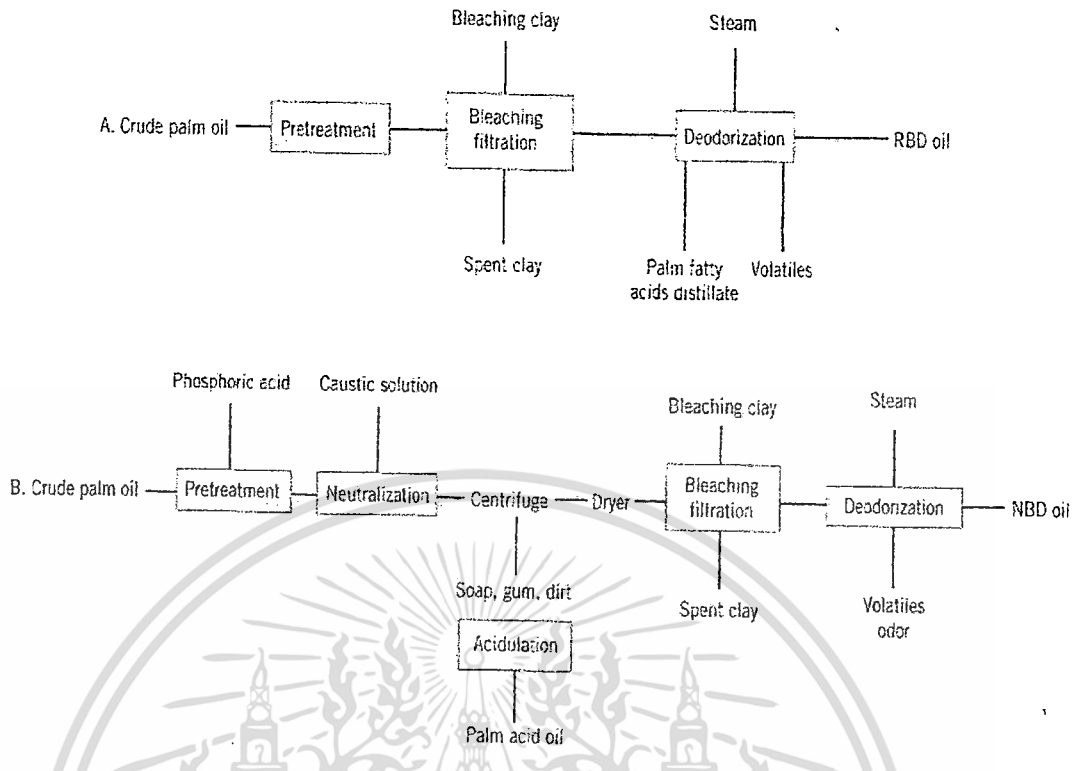
(phospholipids) โลหะ ผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันและสารที่มีกลิ่น ด้วยเหตุนี้จึงต้องนำน้ำมันปาล์มมาทำให้บริสุทธิ์และการแยกส่วน โดยมีสองวิธีการที่จะใช้เพื่อให้ไขมันปาล์มมีความบริสุทธิ์มากขึ้นคือ physical refining และ chemical refining ทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันในด้านวิธีการขจัดกรดไขมันอิสระที่ถูกกำจัดออกไป กระบวนการนี้แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แผนภูมิในการสกัดน้ำมันปาล์ม

ที่มา : Shahidi (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภาพของ (A) การทำบริสุทธิ์ทางกายภาพและ (B) การทำบริสุทธิ์ทางเคมีของสารสกัด  
 หยาดจากน้ำมันปาล์ม  
 ที่มา : Shahidi (2005)

2.3 ความเสถียรของน้ำมันทอดและอาหารประเภททอด

น้ำมันที่ใช้ทอดจะต้องประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่สามารถระเหยได้ของมันนั้นแล้ว สารต้านอนุมูลอิสระก็จะค่อยๆ ระเหยไปที่ละน้อยขณะที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมีอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส และจะสูญหายไปกับไอน้ำที่ระเหยจากน้ำในตัวอย่างที่ใช้ทอด สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ชนิดที่ไม่ระเหยหลายชนิดยังไม่ได้รับการอนุญาตให้ใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหาร (Pokorný และ Trojákayá, 2001)

วิตามินอีปกติจะมีอยู่แล้วในน้ำมันทุกชนิดที่ใช้สำหรับทอดอาหาร (deep frying) และอาจเติมกรดซิตรีกลงไปในน้ำมันเพื่อให้เสริมฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน สำหรับสารต้านออกซิเดชันอื่นควรจะทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระว่ายังคงมีกิจกรรมที่อุณหภูมิที่ใช้ทอดหรือไม่ สารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงจะมีการสูญเสียประสิทธิภาพอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยเฉพาะน้ำมันงา น้ำมันเมล็ดงาที่คั่วแล้วพบว่ามีประสิทธิภาพมากในการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนมปังครุตองซ์ (croutons) อาจเนื่องมาจากสารเซซามินอล (sesaminal) ในน้ำมันงา ดังนั้นอาจนำน้ำมันงาไปผสมกับน้ำมันอื่นๆ ที่ไม่เสถียรได้ (Pokorný และ Trojákayá, 2001)

## 2.4 การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด

### 2.4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์

การวิเคราะห์หาเปอร์ออกไซด์เป็นการทดสอบทางเคมีวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อวิเคราะห์หาคุณภาพของไขมันและน้ำมัน ได้มีผู้ที่แสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์ออกไซด์มีความสัมพันธ์กับคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรส สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1.0 หรือน้อยกว่าแสดงถึงความใหม่ ค่าเปอร์ออกไซด์ 1 ถึง 5 ชี้ให้เห็นถึงการเกิดออกซิเดชันปานกลาง ค่าเปอร์ออกไซด์มากกว่า 10 แสดงถึงการเกิดออกซิเดชันสูง และค่าเปอร์ออกไซด์มากกว่า 20 แสดงถึงกลิ่นรสที่ไม่ดี การประเมินคุณภาพนี้จำเพาะต่อน้ำมันถั่วเหลืองและค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงหรือต่ำกว่าระดับที่กล่าวมาอาจยอมรับได้สำหรับน้ำมันชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามค่าเปอร์ออกไซด์ไม่ได้ให้การประเมินกลิ่นรสของไขมันและน้ำมันได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากเปอร์ออกไซด์จะไม่อยู่ถาวร โดยจะเกิดการแตกสลายให้สารอื่น แม้ว่าค่าเปอร์ออกไซด์และคะแนนกลิ่นรสที่สังเกตได้จะมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงในระยะแรกเริ่มของการเกิดออกซิเดชัน แต่ไม่สามารถใช้วิธีนี้เพียงอย่างเดียวในการเป็นตัวบ่งชี้ด้านกลิ่นรสเพราะว่าค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุดจากนั้นจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าเปอร์ออกไซด์สูงมักจะหมายถึงกลิ่นรสแย่ แต่ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำไม่ได้หมายถึงกลิ่นรสที่ดีเสมอไป (O'Brien, 2009)

### 2.4.2 ค่าอะนิซิดีน

ค่าอะนิซิดีน (anisidine value) ใช้วัดปริมาณ  $\alpha$  และ  $\beta$  อัลดีไฮด์ไม่อิ่มตัว ( $\alpha$  and  $\beta$  unsaturated aldehyde) ที่มีอยู่ในน้ำมัน วิธีการหาค่าอะนิซิดีนนี้อาศัยความจริงที่ว่าในสภาพที่มีกรดแอซิดิก สารพารา-อะนิซิดีน (*p*-anisidine) ทำปฏิกิริยากับสารประกอบอัลดีไฮด์ในน้ำมันให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลือง ความเข้มของสีไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์เท่านั้นแต่ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารประกอบอัลดีไฮด์ด้วย มีรายงานว่าพันธะคู่ในสายคาร์บอนรวมตัวกับพันธะคู่คาร์บอนิล (carbonyl double bond) ช่วยส่งเสริมทำให้ค่าดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 4 หรือ 5 เท่า ค่าอะนิซิดีนใช้วัดปฏิกิริยาออกซิเดชันทุติยภูมิหรือทำให้ทราบประวัติของน้ำมัน ดังนั้นค่าอะนิซิดีนจึงเป็นประโยชน์สำหรับตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันดิบ (crude oils) และประสิทธิภาพของกรรมวิธีการการคั่วไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิต แต่ไม่เหมาะสมต่อการตรวจสอบปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ค่าอะนิซิดีนต่ำกว่า 2-3 % หลังจากการกำจัดกลิ่น (deodorization) แสดงถึงการคงตัวที่ดีของน้ำมัน วิธี AOCS Method Cd 18-90 เป็นวิธีมาตรฐานของการวิเคราะห์ค่าอะนิซิดีน (O'Brien, 2009)

### 2.4.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดการแตกออกของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่พันธะเอสเทอร์ทำให้เกิดการสร้างกรดไขมันอิสระ (free fatty acid หรือ FFA) ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ และลักษณะอื่นๆ กลิ่นรสเป็นผลมาจากกรดไขมันอิสระที่ถูกสร้างขึ้นจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของไขมัน การปลดปล่อยกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acid) เช่น กรดบิวทิริก (butyric acid) กรดคาโปรอิก (caproic acid) และกรดคาปริก (capric acid) เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นและรสที่ไม่พึงประสงค์ ขณะที่กรดไขมันสายยาว (long-chain fatty acid) (คาร์บอน 12 หรือมากกว่า 12 ขึ้นไป) ทำให้เกิดกลิ่นรสคล้ายเทียนหรือคล้ายสบู่ ที่พีเอชเป็นต่าง (O'Brien, 2009)

นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันยังสามารถใช้วัดประสิทธิภาพของการกำจัดกลิ่นและใช้เป็นที่ช่วยควบคุมการผลิต ถ้าน้ำมันที่กำจัดกลิ่นแล้วมีค่าของกรดไขมันอิสระสูงชี้ให้เห็นว่าระบบสูญญากาศของเครื่องกำจัดกลิ่นไม่ดีพอและมี steam sparging ไม่เพียงพอหรือมีการรั่วของอากาศ เป็นเหตุให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสูงและมีกลิ่นรสออกซิไดซ์ ระดับของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นที่ใช้เป็นมาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกาสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 0.05 แต่มาตรฐานของนานาชาติสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 0.03 (O'Brien, 2009)

น้ำมันพืชที่ผ่านการสกัดหยาบ (crude vegetable oil) อาจจะมีระดับกรดไขมันอิสระสูงผิดปกติ ถ้าเมล็ดได้รับความเสียหายในแหล่งเพาะปลูกหรือเก็บรักษาอย่างไม่เหมาะสม เอนไซม์ไลเปสในเมล็ดและผลึกกระดุน โดยความชื้นทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเริ่มต้นขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นถ้าน้ำมันที่ผ่านการสกัดหยาบมีปริมาณกรดไขมันอิสระในระดับสูงก็อาจทำให้เกิดการสูญเสียมากหลังผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (O'Brien, 2009)

การตรวจติดตามระดับของกรดไขมันอิสระระหว่างและหลังกระบวนการทั้งหมดรวมทั้งการเก็บรักษาให้ผลดีต่อการควบคุมกระบวนการผลิตซึ่งจะช่วยให้สามารถบ่งชี้ปัญหาที่สำคัญได้ ทำให้การแก้ไขสามารถเริ่มต้นได้ทันเวลา กรดไขมันอิสระเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันและน้ำมัน ความชื้นจะต้องมีอยู่เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นได้ ปฏิกิริยานี้ถูกเร่งโดยความร้อนและความดันเหมือนปฏิกิริยาทั่วไป (O'Brien, 2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไตเตรทหาปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นการหาปริมาณของวัสดุที่เป็นกรดทั้งหมดในน้ำมัน ซึ่งรวมถึงกรดที่เติมลงไปเพื่อคีเลต (chelate) โลหะและกรดที่ถูกชะออกจากสารฟอกขาว (bleaching earths) รวมทั้งความเป็นกรดของสารต้านอนุมูลอิสระ สารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) ที่เติมลงไปและ วัสดุที่เป็นกรดอื่นๆ ในขั้นตอนการกำจัดกลิ่นซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตจำเป็นต้องลด ปริมาณกรดไขมันอิสระให้อยู่ในระดับที่ยังคงอยู่ในเกณฑ์กำหนด (specification) แม้ว่าสารเจือปนที่ จำเป็นต้องเติมลงไปมีความเป็นกรดสูงก็ตาม (O'Brien, 2009)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

##### 3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

สมุนไพรไทยที่ใช้ในการทดลองได้แก่ กานพลู (*Syzygium aromaticum* Linn.) ขมิ้น (*Curcuma longa* Linn.) อบเชย (*Cinnamomum verum*) ลูกผักชี (*Coriandrum sativum* Linn.) และยี่หระ (*Cuminum cyminum* Linn.)

น้ำมันที่ใช้ในการทดลองทอด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม โอเลอินจากเนื้อปาล์มตรามรกต (บริษัทมรกต อินดัสทรีส์ จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย) น้ำมันดอกทานตะวันตราคิง (บริษัทชนากร ผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด, ประเทศไทย) น้ำมันมะกอกธรรมชาติ 100% ตราเนเชอเรล (บริษัทอะซีทีเอส เคล ชัวร์ คูซัวร์ เอส เอ ประเทศสเปน) น้ำมันข้าวโพด น้ำมันรำข้าวและน้ำมันถั่วเหลือง

##### 3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองได้แก่ DPPH (2, 2-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Fluka, Germany) เมทานอล (methanol, Merck, Germany) วิตามินอี ( $\alpha$ -tocopherol, Fluka, Switzerland) อะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 3.6 (acetate buffer, Merck, Germany) TPTZ (2,4,6-tripyridyl-5-triazine, Fluka, Switzerland) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric, VWR International S.A.S, France) เฟอร์ริกคลอไรด์ (ferricchloride hexahydrate, POCH, Poland) สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate heptahydrate, Merck, Germany) สารละลายกรดแกลลิก (gallic acid, Fluka, Spain) Folin-Ciocalteu (folin-Ciocalteu's phenol, Fluka, Switzerland) สารละลายควอซีทีน (Quercetin) BHT (butylated hydroxytoluene, FoodEQ) คลอโรฟอร์ม (chloroform, Merck, Germany) เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) ฟีนอลทาลีน (phenolphthalein) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, Merck, Germany) ไดเอทิลอีเทอร์ (diethylether, Panreac, Spain) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide, Merck, Germany) น้ำแป้ง (soluble starch, Ajax Finechem, Australia) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulphate, Merck, Germany) TBA (thiobarbituric acid, Fluka, Germany) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Ajax Finechem, Australia) อะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride, Ajax Finechem, Australia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพแทสเซียมอะซิเตต (potassium acetate, Ajex Finechem, Australia) กรดแอซิติก (glacial acetic acid, Macron, China) เฮกเซน (n-hexane, Merck, Germany) เอทิลแอซิเตต (ethylacetate, Macron, U.S.A) TEP (1,1,3,3-tetraethoxy-propane, Sigma, Germany)

### 3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย เครื่องตีปั่น (stomacher, BEC, Thailand) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer, Shimadzu UV-1601, Japan) เครื่องผสม (vortex mixer, Vortex genie 2,G560E, United States of America) เครื่องวัดสี (colorimeter, Minalta CR-300, Japan) โถดูดความชื้น (desiccator) เครื่องวัดปริมาณสารโพลาไรซ์ (Testo AG 270, Germany) หม้อทอดไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ (Fritel FR1265, Belgium)

## 3.2 วิธีการทดลอง

### 3.2.1 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย

น้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เตรียมโดยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ โดยนำพืชสมุนไพรแห้งทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ กานพลู ขมิ้น อบเชย ลูกผักชี และยี่ห่วย มาบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งสมุนไพรแห้งปริมาณ 150 กรัม ใส่ลงในขวดกลั่น เติมน้ำให้ท่วมพืช จากนั้นให้ความร้อนประมาณ 3-4 ชั่วโมง รอกจนกระทั่งปริมาณน้ำมันที่ได้ในขวดที่จึงหยุดให้ความร้อน และจดบันทึกปริมาณน้ำมันที่ได้ เก็บน้ำมันหอมระเหยไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในขวดสีชาเพื่อรอการวิเคราะห์

### 3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางพิษเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย

#### 3.2.2.1 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหย

ก) การวัดความสามารถในการกำจัด 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical

การวัดค่ากิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในการกำจัดอนุมูล DPPH ของน้ำมันกานพลู น้ำมันขมิ้น น้ำมันอบเชย น้ำมันลูกผักชี และน้ำมันยี่ห่วยทำตามวิธีการของ Singh และคณะ (2008) โดยนำน้ำมันหอมระเหยตัวอย่างมาเจือจางที่ความเข้มข้นต่างๆ (5-20 ไมโครลิตร/มิลลิลิตร) นำน้ำมันหอมระเหยแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1 มิลลิลิตรมาผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในเมทานอล 0.004% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเทียบกับชุดควบคุมซึ่งใช้เมทานอลแทนน้ำมันหอมระเหย และใช้สารละลายมาตรฐานซึ่งเติมสาร Antioxidant ได้แก่ BHA และ BHT เป็น positive control เมื่อได้ค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละความเข้มข้นจึงนำมาคำนวณหาการยับยั้ง DPPH radical ได้จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = (A_c - A_s) / A_c \times 100$$

โดย  $A_c$  คือค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม และ  $A_s$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ทดสอบ และสร้างกราฟระหว่างร้อยละของการยับยั้ง DPPH radicals กับน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อหาค่า  $IC_{50}$  ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถกำจัด DPPH radical ได้ร้อยละ 50

#### ข) Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

การวัดความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของน้ำมันหอมระเหย ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของ Lado และคณะ (2004) สารละลายที่ใช้ในการทดสอบ คือ FRAP reagent ประกอบด้วย acetate buffer pH 3.6 ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และ สารละลาย Ferric chloride hexahydrate ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร วิธีการวิเคราะห์ทำได้โดยนำ FRAP reagent ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลองที่มีตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยปริมาตร 50 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเทียบกับ blank ซึ่งใช้ FRAP reagent ที่ไม่มีตัวอย่างของน้ำมันหอมระเหย นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$ -TPTZ ในหน่วย มิลลิโมลาร์ต่อมิลลิกรัม

ทำกราฟมาตรฐานของสารละลาย ferrous sulfate heptahydrate ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ในช่วงความเข้มข้น 0- 3 มิลลิโมลาร์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น แต่ใช้สารละลาย ferrous sulfate heptahydrate ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆแทนน้ำมันหอมระเหย และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงกับระดับความเข้มข้นของสารละลาย ferrous sulfate heptahydrate จะได้เป็นสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$ -TPTZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหย

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหย ทำตามวิธีการของ Dastmalchi และคณะ (2007) โดยเตรียมน้ำมันหอมระเหยให้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตน้ำมันหอมระเหยปริมาตร 100 ไมโครลิตรใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูง (ultra pure water) ปริมาตร 6 มิลลิลิตรและเติมสาร Folin-Ciocalteu's phenol reagent ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เขย่าและทิ้งไว้ 1 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูง บ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในหน่วย ไมโครกรัมของกรดแกลลิกอิกควิวาเลนต์ (gallic acid equivalents, GAE) ต่อมิลลิกรัมของน้ำมันจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

ทำกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 0-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับวิธีการข้างต้นแต่ใช้สารละลายกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆแทนน้ำมันหอมระเหย นำค่าการดูดกลืนแสงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกรดแกลลิกจะได้เป็นสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างน้ำมันหอมระเหย

### 3.2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหย

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหยใช้ aluminum chloride colorimetric ตามวิธีการของ Pourmorad และคณะ (2006) นำตัวอย่างน้ำมันหอมระเหย ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ผสมด้วยเมทานอลปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 1.5 มิลลิลิตร ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นจึงเติมสารละลายโพแทสเซียมอะซิเตตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 2.8 มิลลิลิตร นำสารละลายที่เตรียมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สร้างกราฟมาตรฐานควอซีทิน 8 ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 12.5 ถึง 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรในเมทานอล ค่าของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดแสดงในหน่วยของ ไมโครกรัมของควอซีทินอิกควิวาเลนต์ (quercetin equivalents, QE) ต่อมิลลิกรัมของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรต่อการต้านออกซิเดชันของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

#### 3.2.3.1 การเตรียมหนังหมู

การเตรียมหนังหมูทำได้โดยนำหนังหมู 3 กิโลกรัม มาล้างน้ำให้สะอาดจำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 45 นาที จะได้หนังหมูสุกที่มีลักษณะใสแล้วนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆที่มีความยาว 5 เซนติเมตร กว้าง 1 เซนติเมตร และนำมาคลุกเกลือให้ทั่ว จะได้นำหนังหมูที่พร้อมจะนำไปทอด

#### 3.2.3.2 การคัดเลือกน้ำมันที่เหมาะสมต่อการทอด

ทำการหาปริมาณสารประกอบโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันรำข้าวโดยทำการทอดหนังหมูซ้ำจำนวน 3 รอบ ปริมาณ 100 กรัมต่อรอบในหม้อทอดไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ Fritel รุ่น FR 1265 ประเทศเบลเยียม ขนาดความจุ 3 ลิตรแล้ววัดหาปริมาณสารประกอบ โพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสทั้งก่อนทอดและหลังทอดทุกรอบ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณสารประกอบโพลาร์ (Testo 270, Testo AG., Germany) คัดเลือกชนิดของน้ำมันที่มีปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดน้อยที่สุด 3 ชนิดมาทำน้ำมันผสม 3 สูตร แล้วทดลองทอดเช่นเดียวกันกับวิธีการข้างต้นเพื่อคัดเลือกน้ำมันผสมที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้เป็นน้ำมันทอดเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันทอดชนิดเดียวที่เหมาะสมในการทดลองขั้นต่อไป

#### 3.2.3.3 การทดลองทอดแคปหมูโดยใช้น้ำมันทอดเดี่ยวและน้ำมันผสมชนิดที่เหมาะสมซึ่งเติมหรือไม่เติมน้ำมันหอมระเหย

นำน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันได้ดีที่สุดซึ่งได้คัดเลือกจากผลการทดลองในข้อ 3.2.2 มา 1 ชนิด มาใช้ในการเติมลงในน้ำมันปาล์ม และน้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันทานตะวันในอัตราส่วน 60 : 30 : 10 โดยปริมาตร จากนั้นนำน้ำมันทั้ง 2 ชนิดนี้ไปใช้ในการทอดแคปหมู ในการทดลองได้แบ่งชุดการทดลองเป็น 6 ชุด คือ ชุดที่ 1 (ชุดควบคุม) น้ำมันปาล์ม โอเลอินที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหย ชุดที่ 2 น้ำมันปาล์ม โอเลอินที่เติมน้ำมันหอมระเหย ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ชุดที่ 3 น้ำมันปาล์ม โอเลอินที่เติมน้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นร้อยละ 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดที่ 4 น้ำมันผสมที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหย ชุดที่ 5 น้ำมันผสมที่เติมน้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ชุดที่ 6 น้ำมันผสม ที่เติมน้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นร้อยละ 0.6

การทดลองนี้ทำตามวิธีการทอดของ Jaswir และคณะ (2000) โดยทำการทอดในหม้อทอดซึ่งในการทดลองทอดแคปหมูทั้ง 6 ชุดการทดลองจะทำในหม้อทอดไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ Fritel รุ่น FR 1265 ประเทศเบลเยียม ขนาดความจุ 3 ลิตร ในการทดลองแต่ละชุดการทดลองจะเติมน้ำมันปริมาตร 3 ลิตรลงในหม้อทอด ก่อนจะเริ่มการทอดได้การเก็บตัวอย่างน้ำมันก่อนทอดเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า Total polar (TPM) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide, PV) ค่า *p*-Anisidine ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) และทากิจกรรมการจับอนุมูล DPPH (DPPH radical scavenging activity) ของสารที่อยู่ในน้ำมัน จากนั้นเทน้ำมันลงในหม้อทอดแล้วเริ่มให้ความร้อนน้ำมันโดยตั้งอุณหภูมิการให้ความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นจึงเริ่มทอดแคปหมูรอบแรก (ในการทอดแต่ละรอบใช้หนังหมู 100 กรัม) ทำการทอดเป็นเวลา 5 นาทีจะได้แคปหมูที่เหลืองกรอบ ตักแคปหมูที่ทอดแล้วขึ้นในตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำมัน แล้วจึงทอดแคปหมูรอบต่อไป ซึ่งจะทำการทอดทั้งหมด 5 รอบต่อวันจนครบ 5 วัน หลังจากทอดแคปหมูครบ 5, 10, 15, 20 และ 25 รอบในแต่ละชุดการทดลอง วัดปริมาณสารโพลาร์ทั้งหมด (TPM) ในน้ำมันหลังทอด จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำมัน 30 มิลลิลิตรต่อ 1 ชุดการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า *P*-Anisidine ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) และ ค่าร้อยละของการลดลงของความเข้มข้นอนุมูล DPPH ของน้ำมันหลังทอด นำแคปหมูมาวิเคราะห์หาค่า TBARS เก็บรักษาน้ำมันทุกชุดการทดลองหลังทอดครบ 25 รอบ ไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างน้ำมันที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษามาวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า *P*-Anisidine ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ส่วนแคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันทอดซ้ำในรอบที่ 5 และ 25 เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจนครบ 4 สัปดาห์แล้ววิเคราะห์หาค่า TBARS รายละเอียดของการวิเคราะห์มีดังนี้

#### 3.2.3.4 การวิเคราะห์น้ำมันและแคปหมู

##### ก) การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

การหาค่าเปอร์ออกไซด์ทำตามวิธีของ Kirk และ Sawyer (1991) ทำโดยชั่งน้ำมัน 3 กรัม เติมนคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร เขย่าจนไขมันละลายเติม กรดแอสซิติค 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าและทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นใช้สารละลายน้ำแข็งสุกความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เป็นอินดิเคเตอร์ เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นไตเตรทไอโอดีนอิสระด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 โมลาร์จนสีน้ำเงินจางหายไป บันทึกปริมาตรที่ใช้

คำนวณตามสูตรดังนี้ 
$$PV = \frac{(v-v_0)T \times 10^3}{M}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

$V_0$  คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทสารละลาย blank (มิลลิลิตร)

T คือความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (โมลาร์)

M คือน้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

ข) การหาค่า *p*-anisidine

การหาค่า *p*-anisidine ทำตามวิธีของ Kirk และ Sawyer (1991) ทำโดยชั่งน้ำมัน 0.5 กรัม ใส่ในพลาสติก ที่ เดิมตัวทำละลาย (n-hexane) 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร ได้ค่า  $A_1$  โดยใช้ n-hexane เป็น blank จากนั้นปิเปตมาสารละลายนี้มา 5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองที่มีฝาปิด เติม *p*-anisidine ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 กรัมต่อลิตรในกรดอะซิติกปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร ได้ค่า  $A_2$  โดยใช้ n-hexane ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติม *p*-anisidine ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เป็น blank คำนวณค่า *p*-anisidine ได้ตามสูตรดังนี้

$$p\text{-anisidine value} = \frac{25 \times (1.2A_2 - A_1)}{w}$$

เมื่อ w คือ น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

ค) การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ทำตามวิธีของ AOAC (AOAC, 2005) โดยชั่งน้ำมัน 7.05 กรัม ลงในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมแอลกอฮอล์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และสารละลายฟีนอลทาลินความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่ถูกทำให้เป็นกลางมาก่อนแล้ว (โดยนำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ จนถึงจุดยุติซึ่งมีสีชมพูอ่อนอย่างถาวร) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาร์ จนเกิดสีชมพูอ่อนและคงอยู่อย่างน้อย 1 นาที คำนวณหาการหาปริมาณกรดไขมันอิสระ(ร้อยละ) โดยคำนวณในรูปของกรด โอเลอิก (oleic acid) ตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ Free fatty acid} = \frac{(V \times N \times 28.2)}{m}$$

เมื่อ  $m$  = น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)

$V$  = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

$N$  = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)

หมายเหตุ : สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตรทำปฏิกิริยาพอดี กับกรดโอเลอิก 0.0282 กรัม

ง) การวิเคราะห์หาสารประกอบโพลาร์ทั้งหมด (Total polar compound)

ปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันวัด โดยใช้เครื่องวัดสารประกอบโพลาร์ทั้งหมด (Testo 270, Testo AG ประเทศเยอรมัน) โดยอาศัยหลักการ dielectric constant change ซึ่งวัดสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันที่ร้อนโดยตรง โดยปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องมือ

จ) ค่าร้อยละของการลดลงของความเข้มข้นอนุมูล DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สำหรับตัวอย่างน้ำมันเพื่อศึกษาผลของความร้อนในการทอดซ้ำต่อกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระของ DPPH ของสารที่มีอยู่ในน้ำมัน ทำตามวิธีการของ Kalantzakis และคณะ (2006) ซึ่งทำได้โดยนำน้ำมันมาเจือจางด้วยเอทิลอะซิเตทให้ได้ระดับความเข้มข้นที่ 1 กรัมต่อมิลลิลิตรจากนั้น ปิเปตสารละลายน้ำมันปริมาตร 1 มิลลิลิตรมาผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น  $10^{-4}$  โมลาร์ในเอทิลอะซิเตท ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดฝาเกลียวขนาด 10 มิลลิลิตร นำไป ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer เป็นเวลา 10 วินาที บ่มไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร สำหรับชุดควบคุมใช้เอทิลอะซิเตทแทนสารละลายน้ำมัน โดยนำมาผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น  $10^{-4}$  โมลาร์ในเอทิลอะซิเตท วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตรทันที ความเข้มข้นของ DPPH ในตัวอย่างคำนวณจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH ดังนี้

$$A_{515} = 12.919 [\text{DPPH}^*] + 0.0005$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เหมือนกันแต่ใช้น้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร (แทนตัวอย่างได้จากการกลั่น) ผสมกับ TBA reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำให้หลอดทดลองเย็นในน้ำเป็นเวลา 10 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงจะวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเปรียบเทียบกับแบลนด์ นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่วัดได้มาคูณกับค่า K จะได้ค่า TBA ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของมาลโลนาลดีไฮด์ (malonaldehyde) ที่มีอยู่ในตัวอย่าง (mg MAD/kg sample) ซึ่งค่า K หาได้จากการทำกราฟมาตรฐานของสาร 1,1,3,3-tetraethoxypropane (TEP) ค่า TBA (thiobarbituric acid) ที่คำนวณได้แสดงอยู่ในรูปของค่า TBARS (thiobarbituric acid reactive substance) ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของมาลโลนาลดีไฮด์ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม (mg MAD/kg sample)

### 3.2.4 การผลิตแคปหมูปรุงรสจากแคปหมูที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลู

#### 3.2.4.1 การเตรียมผลิตภัณฑ์แคปหมูปรุงรส

ในการทดลองนี้ได้เตรียมแคปหมูปรุงรส โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแคปหมูปรุงรสที่ผลิตจากแคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันที่ไม่เติมน้ำมันกานพลู (ชุดควบคุม) และแคปหมูปรุงรสที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ซึ่งได้คัดเลือกจากผลการทดลองข้อ 3.2.4 แคปหมูปรุงรสมีส่วนผสมดังนี้ แคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันชุดควบคุมหรือแคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 84.53 น้ำตาลทรายร้อยละ 2.34 พริกป่นร้อยละ 0.42 ผงมะนาวร้อยละ 0.42 เกลือร้อยละ 0.42 พริกแห้งและใบมะกรูดร้อยละ 5.91 จากนั้นนำแคปหมูปรุงรสที่ผลิตมาทดสอบความแตกต่าง (difference testing) กับแคปหมูปรุงรสที่ทอดด้วยน้ำมันชุดควบคุม ด้วยวิธี Duo-trio test รายละเอียดของการใช้วิเคราะห์มีดังนี้

#### 3.2.4.2 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการทดสอบความแตกต่าง (difference testing) ด้วยวิธี Duo-trio test ซึ่งเป็นการทดสอบหาความแตกต่างทางประสาทสัมผัส ในการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมาก่อนจำนวน 12 คน ทำการประเมินผลิตภัณฑ์ 3 ตัวอย่าง โดยจะมีตัวอย่างหนึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมที่ใส่รหัสเป็น "R" ส่วนอีก 2 ตัวอย่างให้ใส่รหัสเป็นตัวเลข 3 หลัก หลังจากนั้นผู้ทดสอบชิมจะถูกถามว่าตัวอย่างใดใน 2 ตัวอย่างที่เหมือนกับตัวอย่างควบคุม "R" ก่อนที่จะเสิร์ฟตัวอย่างให้กับผู้ทดสอบชิมและผู้ทำการทดลองจะทำการเตรียมตัวอย่างดังนี้ แคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันชุดควบคุมหรือแคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 84.53 น้ำตาลทรายร้อยละ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พริกป่นร้อยละ 0.42 พงมะนาวร้อยละ 0.42 เกล็ดร้อยละ 0.42 พริกแห้งและใบมะกรูดร้อยละ 5.91 ทำการผสมส่วนผสมและแคปซูลให้เข้ากัน จากนั้นนำแคปซูลบรรจุใส่ถุงและนำไปเสิร์ฟให้แก่ผู้ทดสอบชิม จากนั้นแปลผลการทดสอบจากแบบประเมินเพื่อจะได้จึงจำนวนผู้ทดสอบชิมที่ตอบถูกและตอบผิด และนำผลที่ได้ไปประเมินความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากตาราง Duo-trio test ของ Roessler และคณะ (1978)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลงานวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 คุณสมบัติทางพฤกษศาสตร์เคมีในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหย

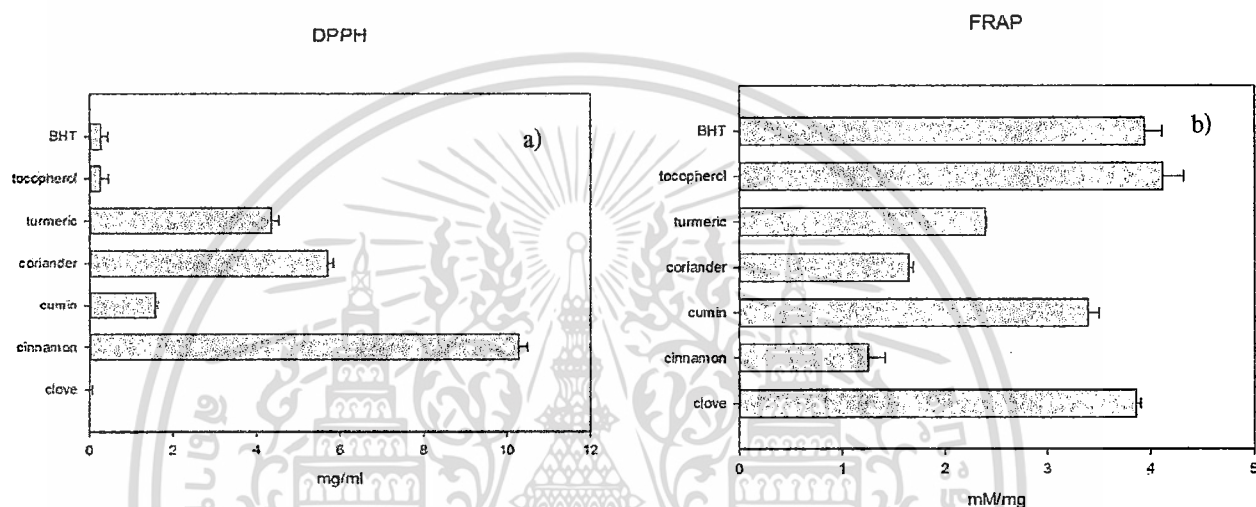
##### 4.1.1 ความสามารถในการกำจัด 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical

จากการศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยด้วยวิธีการหาความสามารถในการกำจัดอนุมูลของ DPPH เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน alpha-tocopherol และ BHT พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลของ DPPH ได้ดีที่สุด คือ น้ำมันกานพลู ซึ่งมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 0.008 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลของ DPPH ได้ดีรองลงมาคือ น้ำมันยี่ห่วยและน้ำมันขมิ้น ซึ่งมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 1.577 และ 4.352 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.1a) สำหรับน้ำมันผักชีและน้ำมันอบเชยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 5.704 และ 10.289 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ส่วนสารมาตรฐาน alpha-tocopherol และ BHT เป็นสารที่มีสมบัติในการยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ดีโดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 0.251 และ 0.280 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ สารมาตรฐาน alpha-tocopherol และ BHT มีสมบัติการยับยั้งอนุมูล DPPH เป็นรองน้ำมันกานพลู ส่วนน้ำมันยี่ห่วย น้ำมันขมิ้น น้ำมันผักชี และน้ำมันอบเชย มีสมบัติในการยับยั้งอนุมูล DPPH ที่น้อยกว่าสารมาตรฐาน alpha-tocopherol และ BHT

##### 4.1.2 Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

จากการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี FRAP พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ได้ดีที่สุดคือ น้ำมันกานพลู โดยมีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เท่ากับ 3.858 มิลลิโมลาร์ต่อมิลลิกรัม (รูปที่ 4.1b) ซึ่งหมายความว่าน้ำมันหอมระเหย 1 มิลลิกรัม สามารถเปลี่ยนสารประกอบเชิงซ้อนของ  $Fe^{3+}$ -TPTZ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน  $Fe^{2+}$ -TPTZ 3.858 มิลลิโมลาร์ต่อสาร 1 มิลลิกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน alpha-tocopherol และ BHT พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน BHT ซึ่งเท่ากับ 3.939 มิลลิโมลาร์ต่อมิลลิกรัม แต่ไม่ดีเท่ากับสารมาตรฐาน alpha-tocopherol ซึ่งมีความสามารถในการรีดิวซ์ที่ดีที่สุด โดยสามารถทำให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ ได้เท่ากับ 4.116 มิลลิโมลาร์ต่อสาร 1 มิลลิกรัม สำหรับ น้ำมันยี่ห่วยและน้ำมันขมิ้นมีสมบัติในการรีดิวซ์รองลงมาจากน้ำมันกานพลูซึ่งทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ ได้เท่ากับ 3.390 และ 2.390 มิลลิโมลาร์ต่อสาร 1 มิลลิกรัมตามลำดับ ส่วน น้ำมันหอมระเหยที่มีสมบัติในการรีดิวซ์ต่ำ คือ น้ำมันผักชีและน้ำมันอบเชย โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ เท่ากับ 1.646 และ 1.253 มิลลิโมลาร์ต่อสาร 1 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.1 ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (รูป a) และวิธี Ferric reducing antioxidant power assay (รูป b)

#### 4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำมันหอมระเหย

##### 4.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหย พบว่าน้ำมันกานพลู มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด คือ 500.69 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิกรัมน้ำมันหอมระเหย ส่วนน้ำมันยี่ห่วย น้ำมันขมิ้น น้ำมันผักชี และน้ำมันอบเชย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยมากเท่ากับ 2.933, 2.605, 1.490 และ 1.121 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิกรัมน้ำมันหอมระเหยตามลำดับ (รูปที่ 4.2a) เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน alpha-tocopherol และ BHT ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 116.575 และ 209.880 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิกรัมน้ำมัน

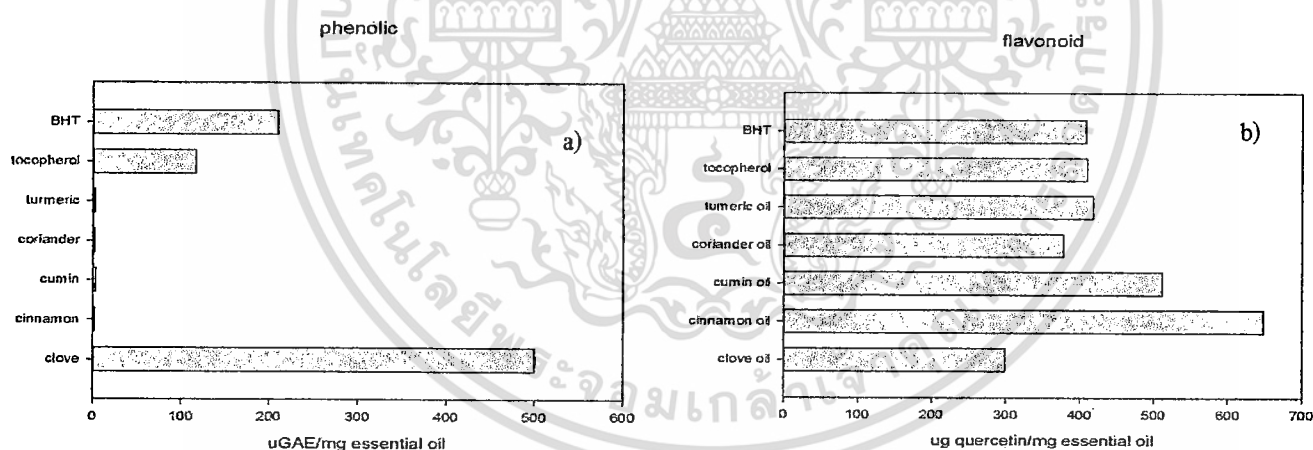
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอมระเหยตามลำดับ พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าน้อยกว่าน้ำมันกานพลู แต่มีปริมาณมากกว่าน้ำมันยี่หระ น้ำมันขมิ้น น้ำมันผักชี และน้ำมันอบเชย

#### 4.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหย พบว่าน้ำมันอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด คือ 648.627 ไมโครกรัม ควอซิทินต่อมิลลิกรัมของน้ำมันหอมระเหย และรองลงมา คือ น้ำมันยี่หระ น้ำมันขมิ้น น้ำมันผักชี และน้ำมันกานพลู ซึ่งมีค่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 511.779, 418.333, 377.316 และ 298.672 ไมโครกรัมควอซิทินต่อมิลลิกรัมของน้ำมันหอมระเหย ตามลำดับ (รูปที่ 4.2b) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน alpha-tocopherol และ BHT ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 409.541 และ 408.213 ไมโครกรัมควอซิทินต่อมิลลิกรัมของน้ำมันหอมระเหย ตามลำดับ พบว่าสารมาตรฐานทั้งสองมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยกว่าน้ำมันอบเชย น้ำมันยี่หระ น้ำมันขมิ้น แต่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากกว่าน้ำมันผักชี และน้ำมันกานพลู



รูป 4.2 ปริมาณประกอบสารฟีนอลิกทั้งหมด (รูป a) และปริมาณประกอบสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (รูป b) ในน้ำมันหอมระเหย

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่ามีผลการทดลองดังนี้ น้ำมันกานพลูมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ส่วนน้ำมันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่หระ น้ำมันขมิ้น น้ำมันผักชี และน้ำมันอบเชย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยลงตามลำดับ สำหรับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่า น้ำมันอบเชยมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์มากที่สุด ส่วนน้ำมันยี่หระ น้ำมันขมิ้น น้ำมันผักชี และน้ำมันกานพลูมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์น้อยลงตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดให้ผลที่สอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยจะเห็นได้ว่าน้ำมันกานพลูซึ่งมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดจะมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด ส่วนน้ำมันยี่หระ น้ำมันขมิ้น น้ำมันผักชี และน้ำมันอบเชย ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยลงมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระน้อยลงมาตามลำดับเช่นเดียวกัน

ในการศึกษาครั้งนี้ น้ำมันกานพลูมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Gülsin และคณะ (2012) ซึ่งได้วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันกานพลูด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่าน้ำมันกานพลูมีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารต้านออกซิเดชันมาตรฐาน (BHA, BHT) และมีรายงานของ Ramadan (2013) ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมันกานพลู น้ำมันยี่หระ น้ำมันพริกไทยดำ และน้ำมันลูกผักชี พบว่าน้ำมันกานพลูมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 5.9 มิลลิกรัมกรดแกลลิกอิกควาเลนท์ต่อกรัมน้ำมัน การที่น้ำมันกานพลูมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง คาดว่าเป็นผลมาจากการมีสารประกอบที่สำคัญ ดังรายงานของ Lee และ Shibamoto (2001) ทำการจำแนกสารที่เป็นส่วนประกอบในสารสกัดกานพลูด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี พบสารประกอบทั้งหมด 32 ชนิด โดยสารประกอบที่พบในปริมาณมากได้แก่ eugenol (24.371 มิลลิกรัมต่อกรัม) eugenyl acetate (2.354 มิลลิกรัมต่อกรัม) 1-acetyoxy-2-propanone (0.162 มิลลิกรัมต่อกรัม) 2-methyl-5-(1-methylethenyl acetate) (0.136 มิลลิกรัมต่อกรัม) และสารประกอบอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย

สำหรับน้ำมันหอมระเหยจากยี่หระที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rebey และคณะ (2011) พบว่าในสารสกัดจากยี่หระที่สกัดด้วยอะซีโตน ในสภาวะขาดน้ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 18.32 มิลลิกรัมกรดแกลลิกอิกควาเลนท์ต่อกรัมสารสกัด การที่น้ำมันยี่หระมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูงนั้น คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการมีสารสำคัญหลายชนิดเป็นส่วนประกอบ ดังการรายงานของ Gachker และคณะ (2007) ได้จำแนกชนิดของสารที่เป็นส่วนประกอบในน้ำมันยี่หระ โดยวิธี GC และ GC-MS พบว่าประกอบด้วยสารสำคัญ 32 ชนิด

โดยสารสำคัญที่พบในปริมาณมาก ได้แก่  $\alpha$ -pinene (ร้อยละ 29.1), limonene (ร้อยละ 21.5), 1,8-cineole (ร้อยละ 17.9), linalool (ร้อยละ 10.4), linalyl acetate (ร้อยละ 4.8) และ  $\alpha$ -terpineol (ร้อยละ 3.13)

สำหรับน้ำมันขมิ้นที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระปานกลาง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Gounder และ Lingamallu (2012) พบว่าสารสกัดน้ำมันจากเหง้าของขมิ้นแห้ง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระต่ำ เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ trolox โดยที่สารมาตรฐาน BHA และ trolox มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงถึงร้อยละ 60-90 ที่ระดับความเข้มข้น 5-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ขณะที่น้ำมันจากเหง้าขมิ้นแห้ง มีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 3.5 มิลลิกรัม ที่ความเข้มข้น 4-5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร การที่น้ำมันขมิ้นมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้นั้น อาจเป็นเพราะในน้ำมันขมิ้นมีสารประกอบที่มีผลต่อการต้านอนุมูลอิสระอยู่ ดังเช่นการรายงานของ Singh และคณะ (2010) ศึกษาส่วนประกอบของน้ำมันขมิ้น โดยวิธี GC-MS พบว่าในน้ำมันขมิ้นมีสารทั้งหมด 38 ชนิด สารที่พบในปริมาณมาก ได้แก่ ar-turmerone (ร้อยละ 21.1), alpha-santalene (ร้อยละ 7.2), ar-curcumene (ร้อยละ 6.6), germacrone (ร้อยละ 4.3), beta-sesquiphellandrene (ร้อยละ 4.2), beta-bisabolene (ร้อยละ 4.1) และสารอื่นๆ ปริมาณเล็กน้อย

สำหรับน้ำมันลูกผักชีที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างน้อย เช่นเดียวกับการรายงานของ Neffati และคณะ (2011) พบว่าสารสกัดจากลูกผักชีมีปริมาณสารฟีนอลิก 1.04 มิลลิกรัมกรดแกลลิก อีควิวาเลนต์ต่อกรัมสารสกัด และวิเคราะห์ DPPH ในสารสกัดลูกผักชี พบว่าค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 0.24 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์สารประกอบของน้ำมันลูกผักชีด้วยวิธี GC-MS พบว่าประกอบด้วยสาร 24 ชนิด ได้แก่ monoterpene alcohol (2,775 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง), linalool (2,697 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง), camphor (130 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง), ketone (130 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง), geraniol (50 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง), monoterpene hydrocarbons (44.1 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง), monoterpene esters (25.9 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และสารอื่นๆอีกปริมาณเล็กน้อย

ในการทดลองครั้งนี้ น้ำมันอบเชยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง จากการรายงานของ Mathew และ Abraham (2006) พบว่าสารสกัดอบเชยมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ดี เนื่องจากมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 4.21 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่า  $EC_{50}$  ของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน BHA ( $EC_{50}$  เท่ากับ 5.79 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ขณะที่ Li และคณะ (2013) ได้ทำการวิเคราะห์สารประกอบในน้ำมันอบเชยโดยวิธี GC-MS พบว่าน้ำมันอบเชยมีสารประกอบทั้งหมด 37 ชนิด ประกอบด้วย trans-เอเคสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cinnamaldehyde (ร้อยละ 79.49), eugenol (ร้อยละ 7.29), cis- cinnamaldehyde (ร้อยละ 2.29),  $\alpha$ -guaiene (ร้อยละ 1.51), 2-propenal,3(2-methoxyphenyl) (ร้อยละ 1.13) และสารอื่นๆอีกมากมายในปริมาณเล็กน้อย

#### 4.3 การคัดเลือกชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทดลองทอดแคปหมู

ในการทดลองนี้ได้วิเคราะห์หาปริมาณสาร โพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันรำข้าว และน้ำมันมะกอกที่ผ่านการทอดแคปหมูซ้ำจำนวน 3 รอบ ซึ่งได้วัดค่าปริมาณสาร โพลาร์ในน้ำมันพืชแต่ละชนิดดังกล่าวทั้งก่อนทอดและหลังทอดในแต่ละรอบพบว่าก่อนทอดน้ำมันมะกอกมีปริมาณสาร โพลาร์ทั้งหมดต่ำที่สุด (ร้อยละ 4) น้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณสาร โพลาร์ทั้งหมดสูงที่สุด (ร้อยละ 11) เมื่อนำน้ำมันพืชแต่ละชนิดมาทอดแคปหมูซ้ำ ปรากฏว่าปริมาณสาร โพลาร์ในน้ำมันแต่ละชนิดค่อยๆเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการทอดที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้น้ำมันพืชทุกชนิดในการทอดแคปหมูจนถึงรอบที่ 3 พบว่า น้ำมันรำข้าวมีปริมาณสาร โพลาร์ทั้งหมดสูงที่สุด (ร้อยละ 13) รองลงมาคือ น้ำมันข้าวโพด (ร้อยละ 12) น้ำมันถั่วเหลือง (ร้อยละ 11.5) น้ำมันดอกทานตะวัน (ร้อยละ 11) น้ำมันปาล์ม (ร้อยละ 9.5) และ น้ำมันมะกอก (ร้อยละ 6.5) ดังนั้นน้ำมันที่เหมาะสมที่จะคัดเลือกมาใช้ในการทำน้ำมันผสมเพื่อการทดลองทอดในขั้นต่อไปได้แก่ น้ำมันมะกอก น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันปาล์ม เนื่องจากมีแนวโน้มการเกิดสาร โพลาร์ทั้งหมดน้อยกว่าในน้ำมันรำข้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบโพลาร์ในน้ำมันชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทอดแคปหมู

ชนิดของน้ำมัน	ปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมด <sup>a</sup> (ร้อยละ)			
	ก่อนทอด	ทอดรอบที่ 1	ทอดรอบที่ 2	ทอดรอบที่ 3
น้ำมันปาล์ม	7.5	8.5	9.0	9.5
น้ำมันข้าวโพด	10.0	12.0	11.5	12.0
น้ำมันถั่วเหลือง	11.0	12.5	10.5	11.5
น้ำมันดอกทานตะวัน	7.5	9.5	10.0	11.0
น้ำมันรำข้าว	10.0	11.0	12.0	13.0

<sup>a</sup> ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองเปรียบเทียบการใช้น้ำมันผสม 3 สูตรในการทอดแคปหมูชำจำนวน 3 รอบคือ สูตรที่ 1 น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร สูตรที่ 2 น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:20:20 โดยปริมาตร และสูตรที่ 3 น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:10:30 โดยปริมาตรซึ่งได้วัดปริมาณสารโพลาร์ของน้ำมันแต่ละสูตรทั้งก่อนทอดและหลังทอดในแต่ละรอบ พบว่าก่อนทอดน้ำมันทั้ง 3 สูตรมีปริมาณสารโพลาร์เท่ากัน (ร้อยละ 8.5) หลังจากการทอดแคปหมูรอบที่ 1 พบว่าน้ำมันสูตรที่ 1 มีปริมาณสารโพลาร์ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ น้ำมันสูตรที่ 2 และน้ำมันสูตรที่ 3 มีปริมาณสารโพลาร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.5 เป็นร้อยละ 9 และร้อยละ 10 ตามลำดับ เมื่อทอดแคปหมูต่อไปในรอบที่ 2 และรอบที่ 3 พบว่าน้ำมันสูตรที่ 1 มีปริมาณสารโพลาร์ต่ำที่สุด (ร้อยละ 9) แต่ น้ำมันสูตรที่ 2 และน้ำมันสูตรที่ 3 มีปริมาณสารโพลาร์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.5 ดังนั้นในการทดลองทอดขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ น้ำมันผสมสูตรที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร เนื่องจากมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารโพลาร์น้อยกว่าน้ำมันผสมสูตรอื่น

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของน้ำมันผสม	ปริมาณสารโพลาร์ <sup>a</sup>			
	ก่อนทอด	ทอดรอบที่ 1	ทอดรอบที่ 2	ทอดรอบที่ 3
BO <sub>1</sub>	8.5	8.5	8.0	9.0
BO <sub>2</sub>	8.5	9.0	9.0	9.5
BO <sub>3</sub>	8.5	10.0	9.5	9.5

<sup>a</sup> ค่าเฉลี่ยของกรวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

BO<sub>1</sub> คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร

BO<sub>2</sub> คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:20:20 โดยปริมาตร

BO<sub>3</sub> คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:10:30 โดยปริมาตร

#### 4.4 ผลของน้ำมันกานพลูต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างทอดซ้ำ

ในการทดลองนี้ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบผลของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6 ที่เติมลงในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ประกอบด้วยน้ำมันปาล์ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วนที่เหมาะสมซึ่งได้ทำการคัดเลือกจากผลการทดลองข้อที่ 4.3 จะได้ว่าน้ำมันที่ประกอบด้วยน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตรมีความเหมาะสมที่สุด จากนั้นนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมทั้ง 6 ทรีตเมนต์มาใช้ทอดแคปหมูเป็นจำนวน 25 รอบ ทำการวิเคราะห์ผลน้ำมันก่อนทอดและตัวอย่างน้ำมันทอดซ้ำรอบที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้

#### 4.4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

จากการศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูต่อการต้านออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ใช้ทอดแคปหมูซ้ำจำนวน 25 รอบ พบว่า ก่อนทอดน้ำมันปาล์มชุดควบคุมซึ่งไม่ได้เติมน้ำมันกานพลู (PO) น้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4 (PO+0.4%CO) น้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 (PO+0.6%CO) มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 1.65 – 2.26 มิลลิลิตรสมมูลต่อ กิโลกรัมไขมัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสม(ของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวัน อัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร) ชุดควบคุม (BO) น้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4 (BO+0.4%CO) และน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 (BO+0.6%CO) (ค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 1.99 – 2.65 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน) (ตารางที่ 4.3) และเมื่อนำน้ำมันทั้ง 6 ชุด ไปทอดซ้ำ ผลปรากฏว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 6 ชุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการทอดซ้ำในช่วงแรก ดังจะเห็นได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มทั้ง 3 ชุดหลังจากการทอดรอบที่ 5 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น (เพิ่มขึ้น 4.95-5.08 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน) โดยเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมทั้ง 3 ชุด (เพิ่มขึ้น 2.47–4.67 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน) การเติมน้ำมันกานพลูมีผลช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ของทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมดังจะเห็นได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ของทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดที่เติมน้ำมันกานพลูหลังจากการทอดรอบที่ 5 – 25 มีค่าต่ำกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันชุดควบคุม แต่การใช้น้ำมันผสมในการทอดซ้ำให้ผลดีกว่า เนื่องจากค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมเพิ่มขึ้นช้ากว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์ม

เกือบทุกรอบของการทอดซ้ำ สำหรับน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมการเติมน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 มีส่วนช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าการเติมน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 โดยเฉพาะการเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ลงในน้ำมันผสมมีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ดังจะเห็นได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 หลังจากการทอดรอบที่ 25 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.76 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน ขณะที่น้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่า คือเพิ่มขึ้น 6.29 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน

#### 4.4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่า *p*-anisidine ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

จากการวิเคราะห์หาของค่า *p*-anisidine ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำ พบว่าค่า *p*-anisidine ของน้ำมันแต่ละชุดเพิ่มขึ้นในทุกๆ 5 รอบของการทอดซ้ำที่เพิ่มขึ้น การเติมน้ำมันกานพลูมีผลช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า *p*-anisidine ได้ดีกว่าการไม่เติมน้ำมันกานพลู และการเติมน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 มีประสิทธิภาพดีกว่าการเติมน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ที่ทุกๆรอบของการทอดซ้ำ ซึ่งจะเห็นได้จากค่า *p*-anisidine ของทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ไม่เติมน้ำมันกานพลู (ชุดควบคุม) มีค่า *p*-anisidine สูงที่สุด รองลงมาเป็นค่า *p*-anisidine ของ น้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4 ส่วนน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 มีค่า *p*-anisidine ต่ำที่สุดในทุกรอบของการทอดซ้ำ (ตารางที่ 4.3) และเปรียบเทียบการใช้ไขมันปาล์มและน้ำมันผสมในการทอดซ้ำพบว่า ส่วนใหญ่ค่า *p*-anisidine ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำ ต่ำกว่าค่า *p*-anisidine ของน้ำมันปาล์ม (เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มชุดควบคุมกับน้ำมันผสมชุดควบคุม และน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูระดับความเข้มข้นเดียวกับที่เติมลงในน้ำมันผสม)

#### 4.4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำ พบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดควบคุม (ไม่เติมน้ำมันกานพลู) ก่อนทอดมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.19 ซึ่งต่ำกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น (ปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 0.23-0.27) และเมื่อนำน้ำมันทั้ง 6 ชุดไปทอดแคปหมูซ้ำ ปรากฏว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันชุดที่เติมน้ำมันกานพลูทั้ง 2 ระดับความเข้มข้นที่ผ่านการทอดซ้ำจนถึงรอบที่ 10 ก่อนจะข้างคงที่ ขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดควบคุมเริ่มที่จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยหลังจากการทอดรอบที่ 10 (ตารางที่ 4.3) หลังจากนั้นเมื่อใช้น้ำมันทุกชุดในการทอดแคปหมูซ้ำต่อไป พบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดควบคุมมีปริมาณกรดไขมันอิสระค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยตามจำนวนรอบของการทอดที่เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3 น้ำมันปาล์มชุดควบคุมมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (จากร้อยละ 0.19 ก่อนการทอดเป็นร้อยละ 0.27) เมื่อทอดครบ 25 รอบ แต่การเพิ่มขึ้นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชี้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันผสมชุดควบคุม (เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.19 ก่อนทอดเป็นร้อยละ 0.31) ส่วนการเติมน้ำมันกานพลูความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6 ลงในน้ำมันปาล์มพบว่าให้ผลดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยกว่าปริมาณไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มชุดควบคุม โดยการเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นกรดไขมันอิสระได้ดีกว่าการเติมน้ำมันกานพลูที่ระดับร้อยละ 0.4 โดยเฉพาะในช่วงรอบของการทอดถึงการทอดรอบที่ 20 เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 มีค่าต่ำกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4 ในกรณีของน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6 ให้ผลดีโดยเฉพาะในการทอดซ้ำที่มากกว่า 10 รอบ เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันผสมได้ โดยการเติมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ระดับ 0.4 เนื่องจากทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูมีค่าต่ำที่สุดหลังจากการทอดรอบที่ 25 (ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.26) และยังต่ำกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4 อีกด้วย (ปริมาณกรดไขมันอิสระ ร้อยละ 0.27)

#### 4.4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

ในการหาปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมได้ทำการวัดปริมาณสารโพลาร์ของน้ำมันทุกชุดก่อนทอดและหลังทอดแคปหมูซ้ำทุก 5 รอบจนครบ 25 รอบ ผลปรากฏว่า ก่อนทอด น้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดควบคุมมีปริมาณสารโพลาร์ร้อยละ 8 ซึ่งต่ำกว่าปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น (ตารางที่ 4.3) เมื่อนำน้ำมันทุกชุดไปทอดแคปหมูซ้ำ ปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันปาล์มทุกชุดค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยตามจำนวนรอบของการทอดซ้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำน้ำมันทุกชุด ไปทอดแคปหมู จนครบ 25 รอบ ปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทุกชุดเพิ่มสูงขึ้น (อยู่ในช่วงร้อยละ 10.50-11.83) โดย น้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดควบคุมมีปริมาณสารโพลาร์สูงที่สุด รองลงมาคือน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดที่มีการเติมน้ำมันร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเติมน้ำมันกานพลูลงในน้ำมันปาล์มมีแนวโน้มที่จะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารโพลาร์ และการเติมน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 0.6) ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารโพลาร์ได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

รอบ		ผลการวิเคราะห์ $\pm$ SD					
		PO	PO+0.4%CO	PO+0.6%CO	BO	BO+0.4%CO	BO+0.6%CO
Peroxide value	0	1.66±0.00	2.26 ± 0.09	1.65±0.00	2.65±0.01	2.32±0.00	1.99±0.00
(มิลลิกรัมต่อ	5	6.61±0.17	7.34 ± 0.37	6.66±0.20	7.32±0.38	5.71±0.23	4.46±0.00
ลิตรน้ำมัน)	10	6.98±0.28	6.29 ± 0.01	6.31±0.16	7.35±0.24	6.65±0.16	4.97±0.01
	15	6.55±0.08	6.42 ± 0.19	6.24±0.09	6.86±0.17	6.42±0.23	5.03±0.08
	20	6.93±0.08	6.76 ± 0.24	6.46±0.17	7.44±0.15	7.01±0.08	5.41±0.08
	25	8.01±0.10	6.80 ± 0.17	6.29±0.34	7.31±0.02	6.84±0.18	5.76±0.18
<i>p</i> -anisidine	0	3.01±0.05	2.83 ± 0.04	2.63±0.03	3.36±0.01	3.03±0.02	2.39±0.01
	5	10.91±0.43	10.61±0.42	10.41±0.18	12.11±0.53	9.65±0.09	6.32±0.06
	10	18.35±0.17	17.44±0.39	16.88±0.01	17.71±0.10	14.54±0.35	13.81±0.11
	15	29.63±0.04	27.49±0.12	27.20±0.20	26.17±0.59	27.33±0.09	26.22±0.18
	20	36.64±0.15	35.81±0.12	35.52±0.27	35.60±0.15	35.23±0.05	35.05±0.06
	25	40.44±0.01	39.43±0.14	38.90±0.26	39.76±0.03	38.65±0.11	38.41±0.04
FFA	0	0.19±0.00	0.23±0.00	0.23±0.00	0.19±0.00	0.27±0.00	0.27±0.00
(ร้อยละ)	5	0.19±0.00	0.25±0.02	0.23±0.00	0.19±0.00	0.24±0.03	0.27±0.00
	10	0.21±0.02	0.23±0.00	0.23±0.00	0.23±0.01	0.27±0.00	0.27±0.00
	15	0.23±0.00	0.22±0.01	0.19±0.06	0.24±0.01	0.23±0.01	0.22±0.01
	20	0.23±0.00	0.27±0.01	0.25±0.00	0.27±0.02	0.26±0.02	0.23±0.00
	25	0.27±0.00	0.27±0.01	0.27±0.00	0.31±0.01	0.29±0.00	0.26±0.02
TPM	0	8.00±0.50	10.00±0.00	10.33±0.28	8.00±0.00	9.50±0.00	10.00±0.00
(ร้อยละ)	5	9.67±0.28	10.50±0.00	11.00±0.00	9.16±0.28	9.83 ± 0.28	10.16±0.28
	10	10.50±0.00	10.83±0.28	11.00±0.00	9.16±0.28	9.83 ± 0.28	10.50±0.00
	15	11.00±0.00	10.83±0.28	11.50±0.00	10.33±0.28	9.50 ± 0.00	10.83±0.28
	20	11.17±0.28	11.33±0.28	11.33±0.28	10.83±0.28	9.83 ± 0.28	11.16±0.28
	25	11.83±0.28	11.50±0.00	11.50±0.00	11.00±0.00	10.50 ± 0.00	11.33±0.28

<sup>a</sup> ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

PO คือ น้ำมันปาล์ม

BO คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันทานตะวัน ในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร

CO คือ น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.5 ผลของความร้อนต่อค่าร้อยละของการลดลงของความเข้มข้นอนุมูล DPPH ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

ในการวิเคราะห์หาค่าร้อยละของการลดลงของความเข้มข้นอนุมูล DPPH ( $\%[\text{DPPH}\cdot]_{\text{red}}$ ) โดยสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันที่ใช้ทอดซ้ำ ผลปรากฏว่าน้ำมันปาล์มทั้ง 3 ชุดก่อนทอดมีค่า  $\%[\text{DPPH}\cdot]_{\text{red}}$  อยู่ในช่วงร้อยละ 94.11-95.39 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า  $\%[\text{DPPH}\cdot]_{\text{red}}$  ของน้ำมันผสมทั้ง 3 ชุดก่อนทอด (อยู่ในช่วง ร้อยละ 93.25-95.06) เมื่อนำน้ำมันทุกชุดมาทอดแคปหมูซ้ำจนครบ 25 รอบพบว่าค่า  $\%[\text{DPPH}\cdot]_{\text{red}}$  ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมทุกชุดค่อยๆ ลดน้อยลงตามจำนวนรอบของการทอดซ้ำที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4) การเติมน้ำมันกานพลูทั้ง 2 ระดับความเข้มข้นลงในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมมีผลทำให้ค่า  $\%[\text{DPPH}\cdot]_{\text{red}}$  ในน้ำมันที่ใช้ทอด (ทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม) สูงกว่าการไม่เติมน้ำมันกานพลู

จากการทดลอง ค่า  $\%[\text{DPPH}\cdot]_{\text{red}}$  จะมีค่าลดน้อยลงตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเป็นผลมาจากความร้อนมีผลทำให้สาร Tocopherols และ tocotrienols ที่มีอยู่ในน้ำมันแตกสลายไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rossi (2007) ที่ศึกษาปริมาณสาร Tocopherols และ tocotrienols ในน้ำมันระหว่างการทอดซ้ำ พบว่าเมื่อชั่วโมงการทอดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสาร Tocopherols และ tocotrienols ในน้ำมันลดลง ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละของการลดลงของความเข้มข้นอนุมูล DPPH ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

	$\%[\text{DPPH}\cdot]_{\text{red}} \pm \text{SD}$					
	0	5	10	15	20	25
PO	94.37±0.10	92.98±0.16	92.24±0.09	91.99±0.05	91.36±0.09	89.44±0.79
PO+0.4%CO	95.39±0.31	94.15±0.39	93.60±0.17	92.61±0.20	91.82±0.24	89.89±0.16
PO+0.6%CO	94.11±0.07	93.39±0.08	93.24±0.16	91.80±0.32	91.57±0.21	89.86±0.50
BO	93.59±0.13	92.19±0.13	91.00±0.19	90.12±1.16	90.02±0.17	89.16±1.16
BO+0.4%CO	93.25±0.18	92.58±0.05	92.06±0.08	91.82±0.21	91.62±0.15	89.54±0.05
B0+0.6%CO	95.06±0.05	93.92±0.13	92.99±0.12	92.36±0.05	92.04±0.10	89.84±0.11

<sup>a</sup> คือค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

PO คือ น้ำมันปาล์ม

BO คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร

CO คือ น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู

#### 4.4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

จากผลการวัดสีของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ จะเห็นได้ว่าน้ำมันผสมทั้ง 3 ชุดก่อนทอดมีค่าความสว่าง (ค่า L) อยู่ในช่วง 64.68-67.56 ซึ่งสูงกว่าค่าความสว่างของน้ำมันปาล์มทั้ง 3 ชุดก่อนทอด (ค่าสว่างอยู่ในช่วง 51.52-54.57) เมื่อนำน้ำมันทุกชุดมาทอดแค่ปหมูต่อไปจนครบ 25 รอบ พบว่าค่าความสว่างของน้ำมันลดลงเกือบทุกชุด (สีเข้มขึ้น) (ตารางที่ 4.5) โดยน้ำมันปาล์มชุดควบคุมมีค่าความสว่างต่ำที่สุด (38.25) ในขณะที่น้ำมันผสมที่มีการเติมน้ำมันกานพลูมีค่าความสว่างสูงที่สุด (48.07) ดังนั้นการเติมน้ำมันกานพลูมีส่วนช่วยชะลอการลดลงของค่าความสว่างของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม ซึ่งการเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ให้ผลดีกว่าการเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการทอดซ้ำ

รอบ		ค่าสีระหว่างทอดซ้ำ <sup>a</sup> ± SD					
		PO	PO+0.4%CO	PO+0.6%CO	BO	BO+0.4%CO	BO+0.6%CO
L*-value	0	51.52±0.51	54.57±0.53	53.13±0.08	64.68±1.11	67.56±0.83	66.55±0.89
	5	49.80±0.87	53.50±2.40	51.36±1.25	58.83±0.93	60.22±0.85	61.31±0.71
	10	46.54±0.57	52.08±1.59	48.44±0.54	51.62±1.20	51.37±0.59	57.03±0.65
	15	41.71±1.17	49.48±1.21	44.90±0.61	49.72±0.25	45.55±0.53	51.25±0.79
	20	40.09±0.54	46.21±0.82	45.51±0.61	47.61±0.25	48.33±0.24	49.30±0.42
	25	38.25±0.66	44.14±0.46	42.96±0.25	45.94±0.29	46.75±0.31	48.07±0.30
a*-value	0	2.05±1.02	1.42±0.71	1.82±0.91	0.33±0.16	0.82±0.41	1.54±0.77
	5	2.07±1.13	1.51±0.86	1.81±0.91	0.46±0.24	0.87±0.44	1.74±0.87
	10	1.21±0.66	0.83±0.42	1.30±0.66	0.41±0.22	0.74±0.40	1.55±0.77
	15	1.43±0.76	0.58±0.34	1.03±0.52	0.29±0.18	0.61±0.31	1.61±0.80
	20	1.96±0.98	1.45±0.72	1.33±0.66	0.58±0.29	0.73±0.37	1.72±0.86
	25	3.48±1.75	2.81±1.41	2.89±1.46	0.75±0.37	0.73±0.36	2.74±1.40
b*-value	0	7.27±0.03	12.60±0.58	9.71±0.09	12.11±0.08	10.66±0.09	11.09±0.15
	5	8.57±0.92	13.58±0.96	11.69±0.61	12.69±0.57	12.10±0.39	13.79±1.89
	10	12.12±1.39	14.93±0.37	14.17±0.51	13.24±0.79	10.58±1.24	13.67±1.22
	15	16.80±0.72	19.03±0.89	15.19±0.32	13.88±0.51	18.44±0.59	17.61±0.60
	20	18.55±0.88	20.41±0.74	17.04±0.24	15.45±1.20	20.71±0.46	17.15±0.37
	25	20.15±0.58	22.26±0.80	18.10±0.21	15.71±0.35	22.20±0.44	18.54±0.20

<sup>a</sup>ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

PO คือ น้ำมันปาล์ม

BO คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันทานตะวันในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร

CO คือ น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าสีแดง (ค่า a) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม พบว่าการนำน้ำมันทุกชนิดมาทอด แคลปหมูซ้ำจนครบ 25 รอบ ทำให้ค่าสีแดงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมทุกชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีแดงของน้ำมันทุกชนิดก่อนทอด (ตารางที่ 4.5) สำหรับการเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ลงในน้ำมันปาล์มพบว่าส่วนใหญ่ทำให้ค่าสีแดงต่ำกว่าในน้ำมันที่ไม่เติมน้ำมันกานพลู

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (ค่า b) จะเห็นได้ว่าค่าสีเหลืองของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นหลังทอดทุกๆ 5 รอบ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม อาจเป็นผลมาจากการเติมน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองมีค่าแตกต่างกัน

#### 4.5 ผลของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรต่อการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในแคลปหมูระหว่างการเก็บรักษา

##### 4.5.1 การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ในแคลปหมู

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ในแคลปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำจำนวน 5 รอบและ 25 รอบ ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า แคลปหมูที่ผ่านการทอด 5 รอบด้วยน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6 มีค่า TBARS ลดลงหลังจากเก็บรักษาครบ 4 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบกับค่า TBARS ในแคลปหมูที่เวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา โดยแคลปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 มีค่า TBARS ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.31 และ 0.48 มิลลิกรัมมาลโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) เมื่อพิจารณาแคลปหมูที่ผ่านการทอดซ้ำ 25 รอบ ค่า TBARS ของแคลปหมูที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันปาล์มทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาครบ 4 สัปดาห์ โดยแคลปหมูที่ผ่านการทอดซ้ำ 25 รอบด้วยน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 มีค่า TBARS ต่ำที่สุด (0.42 มิลลิกรัมมาลโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน)เช่นเดียวกัน ดังนั้นการเติมน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6 มีส่วนช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในแคลปหมูระหว่างการเก็บรักษา สำหรับการใช้น้ำมันผสมในการทอดซ้ำแคลปหมูมีผลทำให้ค่า TBARS ในแคลปหมูสูงกว่าการใช้น้ำมันปาล์มในการทอดแคลปหมูเกือบทุกรอบของการทอด ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวัน ทำให้แคลปหมูเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าการใช้น้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 4.6 ผลของน้ำมันกานพลูต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของแคปหมูระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์

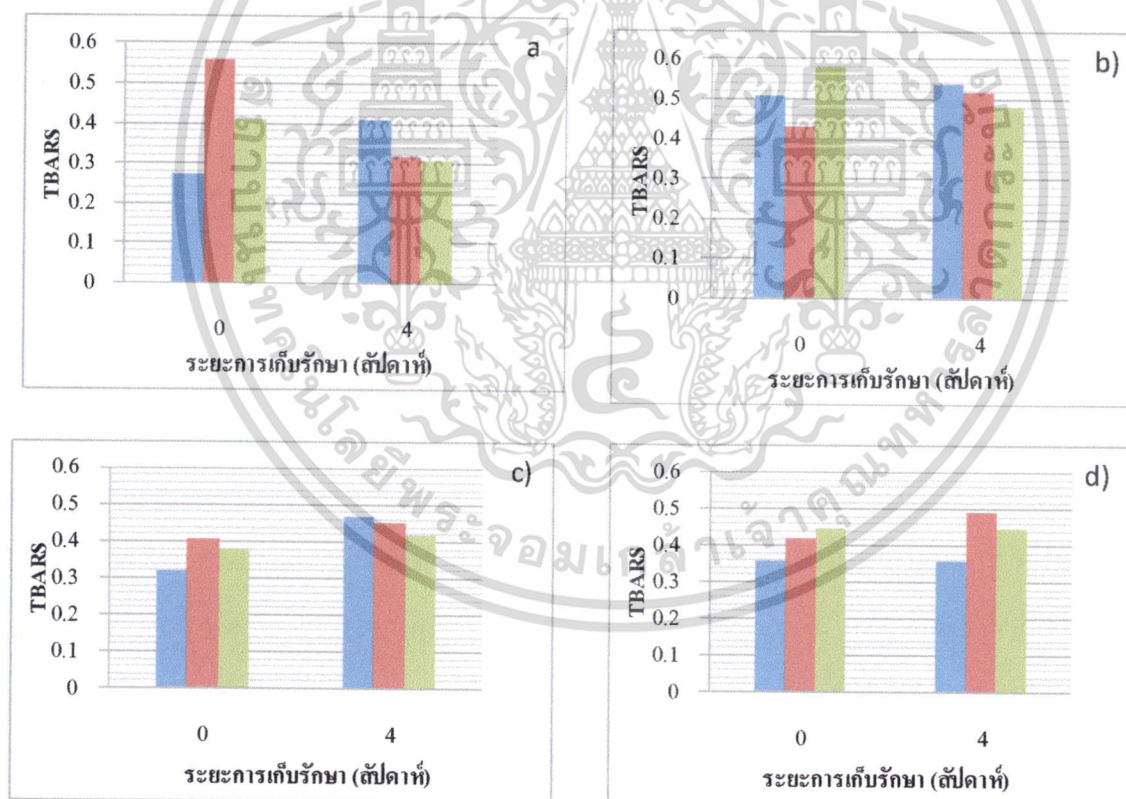
สัปดาห์ที่	รอบ	TBARS <sup>a</sup> ±SD					
		PO	PO+0.4%CO	PO+0.6%CO	BO	BO+0.4%CO	BO+0.6%CO
0	5	0.27±0.13	0.56±0.27	0.41±0.19	0.51±0.24	0.43±0.20	0.58±0.28
	25	0.32±0.15	0.41±0.19	0.38±0.18	0.36±0.17	0.42±0.20	0.45±0.21
4	5	0.41±0.19	0.32±0.15	0.31±0.15	0.54±0.25	0.52±0.24	0.48±0.23
	25	0.47±0.18	0.35±0.17	0.42±0.20	0.36±0.17	0.49±0.24	0.45±0.23

<sup>a</sup> ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

PO คือ น้ำมันปาล์ม

BO คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวันในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร

CO คือ น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู



รูป 4.3 ผลของน้ำมันกานพลูต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของแคปหมูที่ผ่านการทอดซ้ำครบ 5 รอบในน้ำมันปาล์ม (รูป a) และ น้ำมันผสม (รูป b) ค่า TBARS ของแคปหมูที่ผ่านการทอดครบ 25 รอบในน้ำมันปาล์ม (รูป c) และ น้ำมันผสม (รูป d) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ผลของน้ำมันกานพลูต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำระหว่างการเก็บรักษา

##### 4.6.1 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม

จากการวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแคปหมูซ้ำจำนวน 25 รอบ และเก็บไว้ 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าที่เวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษา น้ำมันปาล์มชุดควบคุมและชุดที่เติมน้ำมันกานพลูทั้ง 2 ระดับความเข้มข้นมีค่าเปอร์ออกไซด์ 6.29-8.01 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน ส่วนน้ำมันผสมทั้ง 3 ชุดมีค่าเปอร์ออกไซด์ 5.76-7.31 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน (ตารางที่ 4.7) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นน้ำมันทุกชุดมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันผสมเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปาล์ม ดังจะเห็นได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มทุกชุดที่เก็บรักษาจนครบ 4 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 10.48-11.81 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน ขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 17.35-17.96 มิลลิลิตรสมมูลต่อกิโลกรัมไขมัน โดยค่าเปอร์ออกไซด์ของทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันชุดควบคุมและน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4

##### 4.6.2 การเปลี่ยนแปลงค่า *p*-anisidine ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า *p*-anisidine ของน้ำมันที่ผ่านการทอดครบ 25 รอบ จะเห็นได้ว่า ค่า *p*-anisidine ของน้ำมันเกือบทุกชุดลดลงเล็กน้อยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นแล้วลดลงหลังจากเก็บรักษาครบ 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) โดยที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดควบคุมมีค่า *p*-anisidine สูงกว่าค่า *p*-anisidine ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูทั้ง 2 ระดับความเข้มข้นเล็กน้อย การเติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ลงในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ใช้ทอดแคปหมูมีผลทำให้ค่า *p*-anisidine ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมมีค่าต่ำสุด (ร้อยละ 37.72 และร้อยละ 36.46) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา

##### 4.6.3 การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม

น้ำมันปาล์มทุกชุดที่ผ่านการทอดครบ 25 รอบ มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) เริ่มต้นเท่ากัน (ร้อยละ 0.27) ขณะที่น้ำมันผสมทุกชุดมีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.26-0.27 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.31 (ตารางที่ 4.7) หลังจากเก็บน้ำมันไว้ 1 สัปดาห์พบว่าน้ำมันปาล์มชุดควบคุมยังคงมีปริมาณกรดไขมันอิสระ ร้อยละ 0.27 เท่าเดิม ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูทั้ง 2 ระดับความเข้มข้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ร้อยละ 0.31) ส่วนน้ำมันผสมชุดควบคุมมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (ร้อยละ 0.35) เมื่อเก็บรักษาจนครบ 2 สัปดาห์ ทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมชุดควบคุมมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนน้ำมันชุดที่เติมน้ำมันกานพลูยังคงมีปริมาณกรดไขมันอิสระคงที่ และเมื่อเก็บจนครบ 4 สัปดาห์ น้ำมันทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยที่น้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันชุดควบคุมและน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์

	สัปดาห์	ผลการวิเคราะห์ <sup>a</sup> ± SD					
		PO	PO+0.4%CO	PO+0.6%CO	BO	BO+0.4%CO	B0+0.6%CO
Peroxide	1	7.37±0.09A	7.21±0.10A	7.31±0.01A	9.98±0.01A	9.88±0.08A	8.98±0.01A
	2	8.62±0.01A	8.32±0.01A	8.14±0.14A	10.91±0.1A	10.62±0.01A	10.07±0.07A
	4	11.81±0.00A	10.65±0.01A	10.48±0.14A	17.67±0.00A	17.96±0.02A	17.35±0.08A
<i>p</i> -anisidine	1	40.54±0.38A	39.22±0.25A	39.36±0.42A	38.5±0.14A	37.23±0.09A	36.50±0.12A
	2	41.86±0.07A	40.26±0.12A	39.92±0.19A	39.37±0.11A	38.24±0.06A	37.76±0.07A
	4	38.83±0.02A	37.75±0.16A	37.92±0.34A	37.16±0.20A	36.96±0.07A	36.46±0.19A
FFA	1	0.27±0.00A	0.31±0.00A	0.31±0.00A	0.35±0.00A	0.31±0.00A	0.31±0.00A
	2	0.31±0.00A	0.31±0.00A	0.35±0.00A	0.35±0.00A	0.31±0.00A	0.31±0.00A
	4	0.35±0.00A	0.35±0.00A	0.37±0.00A	0.35±0.00A	0.33±0.01A	0.32±0.01A

<sup>a</sup> คือค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

PO คือ น้ำมันปาล์ม

BO คือ น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวัน ในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร

CO คือ น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมน้ำมันกานพลูลงในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมมีผลช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ใช้ทอดซ้ำ ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Özcan และ Arslan (2011) ที่พบว่า การเติมน้ำมันกานพลูลงในน้ำมันเฮเซลนัท (hazelnut oil) และน้ำมันดอกป๊อปปี้ (poppy oil) มีผลช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมน้ำมันกานพลู ความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 0.5) ให้ผลในการช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันได้ดีกว่าการเติมน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 0.25) การที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะในน้ำมันกานพลู ประกอบด้วย สารสำคัญหลายชนิด ซึ่งอาจมีผลช่วยต้านออกซิเดชันในน้ำมันได้ดี ดังเช่นการรายงานของ Ivanovic และคณะ (1013) ซึ่งพบว่า สารสกัดจากกานพลูบริสุทธิ์ มีปริมาณสารยูจีนอล (eugenol) สูงถึงร้อยละ 64.1 และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 536.56 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ซึ่ง Ito และคณะ (2005) ได้ศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารยูจีนอล พบว่า ยูจีนอล สามารถทำปฏิกิริยากับ DPPH ได้ซึ่งชี้ให้เห็นถึงกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระของออกซิเจน

การที่พบว่า น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอก และน้ำมันดอกทานตะวัน ในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำมันปาล์ม หลังจากผ่านการทอดซ้ำหลายครั้ง เนื่องจากการเสื่อมคุณภาพเกิดขึ้นช้ากว่า (เกิดออกซิเดชันน้อยกว่า) น้ำมันปาล์ม การที่เป็นเช่นนี้ น่าจะเป็นเพราะผลของการมีน้ำมันมะกอกร้อยละ 30 เป็นส่วนประกอบ ซึ่ง Sánchez-Gimeno (2008) ได้ระบุว่า น้ำมันมะกอกเป็นน้ำมันที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ทอดมากที่สุด เนื่องจากมีกรดโอเลอิกเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง มีความต้านทานสูงต่อการเกิดออกซิเดชัน และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดสารโพลาร์น้อยกว่า น้ำมันทานตะวันระหว่างการทอด สำหรับปริมาณกรดโอเลอิก O'Brien กล่าวว่า น้ำมันมะกอกมีปริมาณกรดโอเลอิก ร้อยละ 80.3 ขณะที่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันมะพร้าว มีปริมาณกรดโอเลอิก ร้อยละ 39.2, 25.4, 23.3, 18.7 และ 6.2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม น้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแล้วจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และค่า *p*-anisidine ต่ำ แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า ในกรณีของการใช้น้ำมันปาล์มในการทอด การที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะในน้ำมันผสมประกอบด้วย น้ำมันดอกทานตะวันร้อยละ 10 มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณมาก เช่น กรดลิโนเลอิก (C-18:2) ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยถึงร้อยละ 67.5 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มและน้ำมันดอกทานตะวันแล้ว พบว่า น้ำมันปาล์มมีกรดลิโนเลอิกในปริมาณที่ต่ำกว่า (ร้อยละ 10.1 โดยเฉลี่ย) เช่นเดียวกับน้ำมันมะกอกซึ่งมีกรดไขมันชนิดนี้เพียง ร้อยละ 6.3 โดยเฉลี่ย (O'Brien, 2009) และเช่นเดียวกัน การที่แคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันผสมมีค่า TBARS สูงกว่า แคปหมูที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเป็นผลมาจากการมีกรดไขมันที่มีพันธะคู่ ปริมาณมากอยู่ในน้ำมันผสม จึงทำให้ไขมันในแคปซูลที่ผ่านการทอดซ้ำเกิดออกซิเดชันได้ง่ายกว่า

#### 4.7 การใช้แคปซูลที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูในการทำผลิตภัณฑ์แคปซูลปรุงรส

จากการศึกษาผลของน้ำมันกานพลูต่อการต้านออกซิเดชันของไขมันในแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 มีประสิทธิภาพยืดอายุการเก็บรักษาแคปซูลที่สุด ดังนั้นจึงได้ทดลองนำแคปซูลที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูมาผลิตเป็นแคปซูลปรุงรสเปรียบเทียบกับแคปซูลที่ทอดด้วยน้ำมันชุกควบคุม โดยทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Duo-trio test ใช้ผู้ทดสอบชิม 12 คน นำผลการชิมมาเปรียบเทียบกับตารางของ Roessler และคณะ (1978) ซึ่งเป็นตาราง duo - trio ที่บ่งบอกถึงจำนวนผู้ทดสอบชิมจำนวนน้อยที่สุดที่ตอบถูก ทำให้สรุปได้ว่าตัวอย่างแคปซูลที่ทอดด้วยน้ำมันชุกควบคุมและตัวอย่างแคปซูลที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ที่ทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างแคปซูลที่ทอดด้วยน้ำมันชุกควบคุมและแคปซูลที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 นั่นคือผู้ทดสอบชิมไม่สามารถตรวจจับกลิ่นรสของน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ที่เติมลงในน้ำมันที่ใช้ทอดแคปซูลได้ ดังนั้นกลิ่นรสของน้ำมันกานพลูจึงไม่เป็นปัญหาที่จะทำให้แคปซูลปรุงรสที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ กานพลู อบเชย ยี่หระ ลูกผักชี และขมิ้นชัน ด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่าน้ำมันกานพลูมีผลการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าน้ำมันชนิดอื่น เนื่องจากมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันยี่หระ น้ำมันขมิ้น น้ำมันลูกผักชี และน้ำมันอบเชย ตามลำดับ ดังนั้นจึงได้คัดเลือกน้ำมันกานพลูมาประยุกต์ใช้เพื่อชะลอการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม (น้ำมันปาล์ม: น้ำมันมะกอก:น้ำมันทานตะวัน อัตราส่วน 60:30:10) รวมทั้งแคปซูลที่ผ่านการทอดซ้ำในน้ำมันดังกล่าว ในการศึกษาผลของการเติมน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.6 ต่อการชะลอการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดแคปซูลซ้ำ โดยวิธีวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidine ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารโพลาร์ ค่าร้อยละของการลดลงของอนุมูล DPPH ในสารประกอบในน้ำมัน และค่าสีของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำทุกๆ 5 รอบ จนครบ 25 รอบ พบว่าน้ำมันกานพลูสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสมได้ดี เนื่องจากเมื่อจำนวนรอบของการทอดเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidine ปริมาณกรดไขมันอิสระ และปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทั้ง 2 ชนิดมีค่าลดลง แต่ค่าร้อยละของการลดลงของอนุมูล DPPH ในสารประกอบในน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การเติมน้ำมันกานพลูยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันได้ดีกว่าการไม่เติมน้ำมันกานพลู การเติมน้ำมันกานพลูความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ให้ผลชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทอดด้วยน้ำมันปาล์มและน้ำมันผสม พบว่าน้ำมันผสมสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าน้ำมันปาล์ม

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ค่า TBARS ของแคปซูลที่ผ่านการทอดจนครบ 25 รอบ ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า แคปซูลที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลู โดยเฉพาะการเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในแคปซูลได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแคปซูลที่ทอดในน้ำมันที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.4

ส่วนการศึกษาผลของน้ำมันกานพลูต่อการชะลอการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำ 25 รอบระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidine และปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าการเติมน้ำมันกานพลู สามารถทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นซ้ำกว่าการไม่เติมน้ำมันกานพลู โดยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 มีประสิทธิภาพดีที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันกับน้ำมันผสมทำให้ทราบว่า น้ำมันผสมสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าน้ำมันปาล์ม เช่นเดียวกับน้ำมันที่ทอดซ้ำ 25 รอบ ก่อนเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าแคปหมูที่ได้จากการทอดในน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำมันกานพลูร้อยละ 0.6 มีกลิ่นรสที่ไม่แตกต่างกับแคปหมูที่ทอดในน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมน้ำมันกานพลู เนื่องจากผู้บริโภคไม่สามารถตรวจจับความแตกต่างของกลิ่นรสของแคปหมูทั้ง 2 ได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันกานพลูไปใช้เติมลงในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บของอาหารทอด โดยการชะลอการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์นั้นๆ และเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรใช้น้ำมันผสมที่ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันทานตะวัน ในอัตราส่วน 60:30:10 โดยปริมาตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international* (17th ed.). Garthersburg, Maryland: The Association of Official Analysis Chemists.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils-A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 446-475.
- Bensmira, M., Jiang, B., Nsabimana, C., & Jian, T. (2006). Effect of Lavender and Thyme incorporation in sunflower seed oil on its resistance to frying temperatures. *Food Research International*, 40, 341-346.
- Chaichite, C. (2004). Spices. In C. Chaichit (Ed.), *Thai herbs and herbal products* (pp. 53-84). Bangkok: The National Identity office.
- Che Man, Y.B., & Jaswir, I. (1999). Effect of rosemary and sage extracts on frying performance of refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 69, 301-307.
- Cowan, M.M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12, 564-582.
- Dastmalchi, K., Dorman, H. J. D., Lakso, I., & Hiltunen, R. (2007). Chemical composition and antioxidant activity of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extracts. *LWT- Food Science and Technology*, 40, 1655-1663.
- Gounder, D.K., & Lingamallu, J. (2012). Comparison of chemical composition and antioxidant potential of volatile oil from fresh, dried and cured turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes. *Industrial Crops and Products*, 38, 124-131.
- Gachkar, L., Yadegari, D., Rezaei, M.B., Taghizadeh, M., Astaneh, S.A., & Rasooli, I. (2007).

Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*officinalis* essential oils. *Food Chemical*, 102, 898-904.

- Gounder, D.K., & Lingamallu, J. (2012). Comparison of chemical composition and antioxidant potential of volatile oil from fresh, dried and cured turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes. *Industrial Crops and Products*, 38, 124-131.
- Gulcin, I., Elmastas, M., & Aboul-Enein, Y. (2003). Antioxidant activity of clove oil - A powerful antioxidant source. *Arabian Journal of Chemistry*, 194, 101-104.
- Gülçin, I., Elmastas, M., & Aboul-Enein, H.Y. (2012). Antioxidant activity of clove oil – A powerful antioxidant source. *Arabian Journal of Chemistry*, 5, 489-499.
- de Mejia, E. G., Song, Y. S., Heak, C. I., & Ramirez-Mares, M. V. (2010). Yerba mate tae (*Ilex paraguariensis*) : phenolics, antioxidant capacity and in vitro inhibition of colon cancer cell proliferation. *Journal of Functional Foods*, 2, 23-34.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (1999). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford: Oxford University Press.
- Ivanovic, J., Dimitrijevic-Brankovic, S., Mihailo, R., & Zizovic, I. (2013). Evaluation and improvement of antioxidant and antibacterial activities of supercritical extracts from clove buds. *Functional Foods*, 5, 416-423.
- Ito, M., Myrakami, K., & Yoshino, M. (2005). Antioxidant action of eugenol compounds: role of metal ion in the inhibition of lipid peroxidation. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 461-466.
- Jaswir, I., Man, Y. B. C., & Kitts, D. D. (2000). Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. *Food Research International*, 33, 501-508.
- Kalantzakis, G., Blekas, G., Pegklidou, K., & Boskou, D. (2006). Stability and radical-scavenging activity of heated olive oil and other vegetable oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108, 329-335.

Kirk, R. S., & Sawyer, R. (1991). *Pearson's Composition and Analysis of Foods*, 9<sup>th</sup> ed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล ห้ามมิให้ผู้ใดนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Longman Scientific & Technical., Essex: England.

- Lado, C., Then, M., Varga, I., Szoke, E., & Szentmihály, K. (2004). Antioxidant property of volatile oils determined by the ferric reducing ability. *Biosciences*, 59, 354-358.
- Lee, K.G., & Shibamoto, T. (2001). Antioxidant property of aroma extract isolated from clove buds [*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. et Perry]. *Food Chemistry*, 74, 443-448.
- Li, Y., Kong, D., & Wu, H. (2013). Analysis and evaluation of essential oil components of cinnamon barks using GC-MS and FTIR spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 41, 269-278.
- O'Brien, R.D. (2009). *Fats and oils : Formulating and Processing for Applications*. (3<sup>rd</sup> ed.). America : Taylor & Francis Group., (Chapter 1).
- Özcan, M.M., & Arslan, D. (2011). Antioxidant effect of essential oils of rosemary, clove and cinnamon on hazelnut and poppy oils. *Food Chemistry*, 129, 171-174.
- Mathew, S., & Abraham, T.E. (2006). Studies on the antioxidant activities of cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark extracts, through various in vitro models. *Food Chemistry*, 94, 520-528.
- Neffati, M., Sriti, J., Hamdaoui, G., Kchouk, M.E., & Marzouk, B. (2011). Salinity impact on fruit yield, essential oil composition and antioxidant activities of *Coriandrum sativum* fruit extracts. *Food Chemistry*, 124, 221-225.
- Pokorný, J., & Trojáková, L. (2001). The use of natural antioxidants in food products of plant origin. In J. Pokorný, N. Yanishlieva, & M. Gordon (Eds.), *Antioxidants in food* (pp. 355-372). Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd.
- Pourmorad, F., Hosseinimher, S. J., & Shahabimajd, N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 5, 1142-1145.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ramadan, M.F. (2013). Healthy blends of high linoleic sunflower oil with selected cold pressed oils: Functionality, stability and antioxidative characteristics. *Industrial Crops and Products*, 43, 65-72.
- Rebey, I.B., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Liman, F., & Marzouk, B. (2012). Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 36, 238-245.
- Roessler, E. B., Panborn, R.M., Sidel, J. L., & Stone, H. (1978). Expand statistical table for estimating significance in paired – preference, paired – difference, duo – trio and triangle tests. *Journal of Food Science*, 43, 940 – 943.
- Sánchez-Gimeno, A.C., Negueruela, A.I., Benito, M., Vercet, A., & Oría, R. (2008). Some physical changes in Bajo Aragón extra virgin olive oil during the frying process. *Food Chemistry*, 110, 654-658.
- Santoro, G. F., Cardoso, M. G., Guimaraes, L. L., Mendonça, L. Z., & Soares, M. J. (2007). *Trypanosoma cruzi* : activity of essential oils from *Achillea millefolium* L., *Syzygium aromaticum* L. and *Ocimum basilicum* L. on epimastigotes and trypomastigotes. *Experimental Parasitology*, 116, 283-290.
- Shahidi, F. (2005). Bailey' s industrial oil & fat products, 6<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, (Volume 2).
- Singh, G., Kapoor. I. P. S., Singh. P., de Heluani. S. C., de Lampasona. P. M., & Catalan. N. A. C. (2008). Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of *Zingiber officinale*. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 3295–3302.
- Singh, G., Kapoor, I.P.S., Singh, P., Heluani, C.S., Lampasona, M.P., & Catalan, C.A.N. (2010). Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* Linn.). *Food and Chemical Toxicology*, 48, 1026-1031.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stauffer, C. E. (1996). *Fats and oil: practical guides for the food industry*. Minnesota:  
Association of Cereal Chemists, Inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้