การคัดเลือกและการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศเป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันทอด

Selection and Use of Herbs/Spices as Antioxidants in Frying Oil

ศิรินุช ทองฤทธิ์

Sirinuch Thongrit

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Food Science and Technology

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การคัดเลือกและการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศเป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันทอด
ผู้เขียน นางสาวศิรินุช ทองฤทธิ์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……..... (ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……..... (ดร.สุนิสา ศิริพงศ์วุฒิกร)

คณะกรรมการสอบ

……..ประธานกรรมการ (ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์)

…….....กรรมการ (ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี)

…….....กรรมการ (ดร.สุนิสา ศิริพงศ์วุฒิกร)

…….....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

……..……
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การคัดเลือกและการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศเป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันทอด
ผู้เขียน	นางสาวศิรินุช ทองฤทธิ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในระบบ DPPH ของสารสกัดจากเอทานอลของสมุนไพร/เครื่องเทศ 9 ชนิด คือ ใบกะเพรา, ใบโหระพา, ใบมะกรูด, กระเทียม, หอมแดง, ขมิ้น, ข่า, ใบเตย และตะไคร้ ทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที พบว่าสารสกัดจากขมิ้น, ใบเตย, กะเพราและหอมแดงมีความคงตัวต่อความร้อนดีกว่าสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศชนิดอื่น ดังนั้นจึงคัดเลือกสารสกัดทั้ง 4 ชนิดมาทดสอบความสามารถในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอด โดยเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 150, 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำมันปาล์ม และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที จากการทดลองพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยที่ทุกความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของร้อยละของกรดไขมันอิสระ, ค่าเพอร์ออกไซด์และ ค่า TBARS และให้ผลดีกว่าการใช้สารสกัดจากกะเพราและหอมแดง อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงมีความหนืดเพิ่มขึ้นต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสี (L*, a*, b*) ของสารสกัดมีอิทธิพลต่อค่าสีของน้ำมันทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อน เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่เติมสารสกัดแบบเดี่ยวและแบบผสมระหว่างขมิ้นและใบเตย (อัตราส่วน 1:1) พบว่าสารสกัดแบบเดี่ยวมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์ได้ ในขณะที่สารสกัดผสมมีความสามารถในการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ได้ดี อย่างไรก็ตามพบว่าทั้งสารสกัดแบบเดี่ยวและแบบผสมสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ดังนั้นเมื่อคัดเลือกสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ไก่ทอด พบว่าสารสกัดแบบเดี่ยวมีความสามารถในการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าสารสกัดผสม แต่

ยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS และค่ากรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกับสารสกัดผสม ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดผสม และสารสกัดจากขมิ้นรวมทั้งไก่ทอดที่ทอดด้วยน้ำมันดังกล่าวได้รับคะแนนความชอบทางด้านสีและลักษณะปรากฏสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านกลิ่น (น้ำมัน) หรือกลิ่นรส (ไก่ทอด) และกลิ่นหืน (น้ำมันและไก่ทอด) ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน

Thesis Title	Selection and Use of Herbs/Spices as Antioxidants in Frying Oil
Author	Miss Sirinuch Thongrit
Major Program	Food Science and Technology
Academic Year	2009

ABSTRACT

The total phenolic content and DPPH scavenging activity of ethanolic extract from nine herbs/spices, basil, sweet basil, kaffir lime leaf, garlic, shallot, turmeric, galangal, fragrant screw pine leaf, and lemon grass before and after heating at 175 ^{o}C for 20 min were investigated. The results showed that turmeric, pandanus, basil and shallot extracts improved the antioxidant activity after heating. Therefore, these extracts were selected and added to commercial palm oil at the concentration of 150, 500, 1000 ppm. Chemical and physical changes of the oil were determined after heating at 175^{o}C for 10, 20 and 30 min. It was found that palm oil added with turmeric and pandanus extracts at any concentration could prevent free fatty acid, peroxide, TBARS better than other treatments ($p<0.05$). However, palm oil added with shallot extract had lowest viscosity value. In addition, color of the extract affected to L*, a*, b* of palm oil both before and after heat treatments. Antioxidant activity of single extract and mixture of turmeric and pandanus extracts (1:1) to prevent oil quality deterioration was also investigated. Results revealed that using single extract could prevent peroxide value better than the mixture extract, while using of mixture extract could retard TBARS better than single one. However, there is no significant different in free fatty acid value in both mixture and individual extracts ($p\geq0.05$). Therefore, turmeric extract, pandanus extract in form of single and mixture (1:1) at the concentration of 150 ppm were added to frying oil and heated at 175 ^{o}C for 30 min before subjected to fry the marinated chicken wings. The result showed that individual extract could retard the peroxide value but could not TBARS and free fatty acid value ($p\geq0.05$) when compared with the mixture. Moreover, frying oil added with only turmeric and mixture extracts after repeated frying had higher rating score for color and appearance attributes compared with other treatments. However, there was no significant difference in odor (frying oil), flavor (fried chicken) and rancidity (both frying oil and fried chicken) scores in any treatment.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี และ ดร. สุนิสา ศิริพงศ์วุฒิกร ประธานกรรมการที่ปรึกษา และประธานกรรมการที่ปรึกษาร่วมที่ให้ความรู้และคำแนะนำในเรื่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา ตลอดจนการทำวิจัย และตรวจทานแก้ไขรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร และคณะบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนการศึกษาและทุนอุดหนุนในการศึกษาวิจัย ขอบพระคุณอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตรที่ให้คำแนะนำและปรึกษา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนการศึกษา รวมทั้งกำลังใจและการช่วยเหลือในด้านต่างๆ จาก เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ศิรินุช ทองฤทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... (3)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... (5)
กิตติกรรมประกาศ..... (6)
สารบัญ..... (7)
LIST OF TABLES..... (9)
LIST OF APPENDIX TABLES..... (11)
LIST OF FIGURES..... (12)
LIST OF APPENDIX FIGURES..... (13)
บทที่
1. บทนำ..... 1
บทนำต้นเรื่อง..... 1
ตรวจเอกสาร..... 3
1. การเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน..... 3
2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน..... 5
3. สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)..... 6
4. ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน..... 11
5. การทอดอาหาร..... 18
6. วิธีการตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมัน..... 23
วัตถุประสงค์..... 25
2.วิธีการวิจัย..... 26
วัสดุและอุปกรณ์..... 26
วิธีการดำเนินการ..... 28
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 33
4. บทสรุป..... 88
ข้อเสนอแนะ..... 90
เอกสารอ้างอิง..... 91

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก..... 100
ภาคผนวก ก..... 101
ภาคผนวก ข..... 109
ภาคผนวก ค..... 110
ประวัติผู้เขียน..... 113

LIST OF TABLES

Table		Page
1.	Snapshot of some antioxidants regulated in CODEX Alimentarius, America, Australia and New Zealand.....	12
2.	Source of polyphenol antioxidant derived from plants.....	14
3.	Antioxidative compound of nine herbs/spices used in this experiment.....	16
4.	Nine herbs/spices used in this experiment.....	28
5.	Effect of heat treatment on total phenolic contents and DPPH radical scavenging activity (IC50) of 9 herb/spice extracts.....	36
6.	Characteristics of initial palm oil before heating.....	39
7.	Effect of heat treatment on free fatty acid value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts.....	42
8.	Effect of heat treatment on peroxide value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts.....	44
9.	Effect of heat treatment on TBARS value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts.....	47
10.	Effect of heat treatment on viscosity value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts.....	50
11.	Color of herb/spice extracts.....	51
12.	Effect of heat treatment on lightness value (L*) of palm oil added with BHT and herb/spice extracts.....	53
13.	Effect of heat treatment on redness value (a*) of palm oil added with BHT and herb/spice extracts.....	55
14.	Effect of heat treatment on yellowness value (b*) of palm oil added with BHT and herb/spice extracts.....	57
15.	Effect of heat treatment on ΔE value of palm oil added with BHT or herb/spice extracts.....	59
16.	Effect of heat treatment on free fatty acid value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	61

LIST OF TABLES (cont.)

Table		page
17.	Effect of heat treatment on peroxide value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	63
18.	Effect of heat treatment on TBARS value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	65
19.	Effect of heat treatment on viscosity of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	66
20.	Color of selected herb/spice extracts.....	67
21.	Effect of heat treatment on lightness value (L*) of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	67
22.	Effect of heat treatment on redness value (a*) of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	69
23.	Effect of heat treatment on yellowness value (b*) of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	70
24.	Effect of heat treatment on ΔE value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).....	71
25.	Color of single and mixture of herb/spice extracts.....	77
26.	Effect of heating cycle on L* value of repeated frying oil.....	78
27.	Effect of heating cycle on ΔE value of repeated frying oil.....	81
28.	Sensory scores of repeated frying oil.....	83
29.	Sensory scores of fried chicken.....	85

LIST OF APPENDIX TABLES

Table		Page
1.	Moisture contents of nine herbs/spices after incubated at 50°C for 24-28 hr.....	101
2.	Solid contents of selected herb/spice extracts.....	101
3.	Effect of heating cycle on free fatty acid value of repeated frying oil…….....	102
4.	Effect of heating cycle on peroxide value of repeated frying oil.....	103
5.	Effect of heating cycle on TBARS value of repeated frying oil.....	104
6.	Effect of heating cycle on viscosity value of repeated frying oil.....	105
7.	Effect of heating cycle on redness value (a*) of repeated frying oil.....	106
8.	Effect of heating cycle on yellowness value (b*) of repeated frying oil.....	107
9.	Rancidity scores of repeated frying oil…….....…….	108
10.	Rancidity scores of fried chicken……..……...	108

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1.	Generalized scheme for autoxidation of lipid.....	4
2.	Radical scavenger/hydrogen donor antioxidants.....	7
3.	Electron-acceptor antioxidants.....	8
4.	Metal chelating antioxidants.....	9
5.	Singlet oxygen quencher antioxidant.....	10
6.	Structure of antioxidative compound of nine herbs/spices used in this experiment.....	16
7.	Changes occurring during deep fat frying.....	20
8.	Physical and chemical changes of oil during deep-fat frying.....	21
9.	TBA reaction.....	24
10.	Color of herb/spice extracts (a = Pandanus, b = Basil, c = Turmeric, d = Shallot).....	51
11.	Effect of heating cycle on free fatty acid value of repeated frying oil.....	73
12.	Effect of heating cycle on peroxide value of repeated frying oil.....	75
13.	Effect of heating cycle on TBARS value of repeated frying oil.....	76
14.	Effect of heating cycle on viscosity value of repeated frying oil.....	77
15.	Effect of heating cycle on a* value of repeated frying oil.....	79
16.	Effect of heating cycle on b* value of repeated frying oil.....	80
17.	Effect of heating cycles on rancidity scores of repeated frying oil.....	84
18.	Effect of heating cycles on rancidity scores of fried chicken.....	86

LIST OF APPENDIX FIGURES

Figure		Page
1.	Treated palm oil with (a) control, (b) BHT 150 ppm, (c) pandanus extract 150 ppm, (d) basil extract 150 ppm (e) turmeric extract 150 ppm, (f) shallot extract 150 ppm (g) mixture 150 ppm.....	110
2.	The preparation of herb/spice extracts before analysis of total phenolic content and DPPH radical scavenging activity.....	111
3.	The preparation of herb/spice extracts before added with palm oil.....	111
4.	Calculation of solid content in herb/spice extracts.....	112

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

การเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร หรือที่ใช้ในการทอดก่อให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ผลิตภัณฑ์อาหารยังมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ยังทำให้อาหารไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้น เพื่อที่จะควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน/น้ำมันดังกล่าว จึงมีการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ อาทิเช่น butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisole (BHA) และ propyl gallate (PG) ในผลิตภัณฑ์หรือในน้ำมันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามความปลอดภัยในการใช้สารสังเคราะห์ดังกล่าวยังเป็นประเด็นที่ได้รับการกล่าวถึง เช่น BHA พบว่ามีฤทธิ์เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง เช่นเดียวกับการใช้ BHT ในปริมาณสูง ก่อให้เกิดการตกเลือด (internal and external hemorrhaging) มีผลให้หนูทดลองบางสายพันธุ์ตาย เนื่องจาก BHT ลดกิจกรรมของวิตามินเคที่มีต่อการแข็งตัวของเม็ดเลือด (Ito *et al.,* 1986) ประกอบกับความตระหนักถึงความสำคัญของอาหารต่อการมีสุขภาพที่ดีของผู้บริโภค ดังนั้นผู้บริโภคจึงหันมาให้ความสนใจ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผลิตมาจากธรรมชาติมากขึ้น โดยเฉพาะสารสกัดจากพืชหรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า พฤษเคมี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavoniods), ฟีนอลิก (phenolic), โทโคฟีรอล (tocopherol), แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และ กรดแอสคอบิก (ascorbic acid) (Caraguy, 1992; Pratt, 1992; Meyers *et al.,* 2003)

การใช้สมุนไพร/เครื่องเทศ เช่น ขมิ้น พริกไทย กระเทียม หรือรากผักชี เป็นส่วนผสมของเครื่องปรุงที่ใช้หมักเนื้อ ปลา หมู หรืออื่นๆ ก่อนการทอด เพื่อก่อให้เกิดรสชาติที่ดี และส่งผลให้อาหารเก็บได้นานขึ้น เป็นวิธีปฏิบัติของคนไทยเป็นระยะเวลานาน และจากการสำรวจข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในระยะที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า สารสกัดที่เตรียมได้จากพืชสมุนไพร/เครื่องเทศหลายชนิดที่ใช้ในการปรุงอาหารมีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Barik *et al.,* 1987; Wang *et al.,* 1997; Cheah and Abu Hasim, 2000; Javanamardi *et al.,* 2003) จึงเชื่อว่าการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศในการหมักอาหารทอดไม่เพียงแต่ทำให้อาหารทอดมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีเท่านั้น แต่องค์ประกอบในเครื่องปรุงซึ่งมีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและสามารถละลายในน้ำมัน มีผลให้อายุ

การใช้งานเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในประเทศตะวันตกที่มีการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศ เช่น โรสแมรี่ (rosemary), ออริกาโน (oregano) หรือไทม์ (thyme) ซึ่งต่างก็มีสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเตรียมอาหารที่เป็นวิธีปฏิบัติตามปกติเช่นกัน และผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศเหล่านี้สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Nakatami, 1984; Cuvelier *et al.,* 1994; Hirasa and Takemasa, 1998; Lu and Foo, 2001)

การเพิ่มความคงตัวให้แก่น้ำมันต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระหว่างการทอดอาหาร โดยเฉพาะจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยการนำสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศเติมลงไปในน้ำมันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันแทนสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์เป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่ควรปฏิบัติโดยเฉพาะการใช้ประโยชน์สารต้านออกซิเดชันที่มีอยู่ตามธรรมชาติในสมุนไพร/เครื่องเทศชนิดต่างๆ โดยคาดหวังว่าการเติมสารสกัดเหล่านี้ จะทำให้องค์ประกอบของพืชสมุนไพร/เครื่องเทศที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันละลายเข้าสู่น้ำมัน ทำให้น้ำมันทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการใช้ทอดอาหารเพิ่มขึ้น

การตรวจเอกสาร

1. การเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเป็นปฏิกิริยาที่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ ความปลอดภัย สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของอาหาร (Shahidi *et al.,* 1992) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอาจเกิดขึ้นเองเรียกว่า ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (Autoxidation) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปโดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันมี 3 ขั้นตอน (Jadhav *et al.,* 1995) คือ

1.1 ขั้นตอนการเหนี่ยวนำ (initiation) เป็นระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาโดยที่กรดไขมัน (RH) แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ ($R^{\bullet}$) ซึ่งมีแสง อุณหภูมิ หรือโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการที่ 1

$$RH + \text{initiator} \longrightarrow R^{\bullet} + H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

1.2 ขั้นตอนการเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องของอนุมูลอิสระที่ได้จากขั้นตอนการเหนี่ยวนำทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical, $ROO^{\bullet}$) ซึ่งสามารถดึงไฮโดรเจนจากกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถที่จะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้อีกถ้ามีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ความร้อน และแสง อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้อีก ซึ่งจะเกิดเป็นลูกโซ่ปฏิกิริยาต่อเนื่องเรื่อยไป ดังสมการที่ 2-6

$$R^{\bullet} + {}^{3}O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

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

$$ROOH \longrightarrow RO^{\bullet} + OH \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

$$RO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROH + R^{\bullet} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

$$OH + RH \longrightarrow H_2O + R^{\bullet} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

1.3 ขั้นตอนสิ้นสุด (termination) เป็นระยะที่เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ โดยอนุมูลอิสระทั้งหมดที่เกิดขึ้น รวมทั้งอนุมูลเพอร์ออกซีจะรวมตัวกันแล้วเกิดเป็นสารประกอบที่คงตัวไม่เหนี่ยวนำปฏิกิริยาต่อไป ดังสมการ 7-9

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow R\text{-}R \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

$$R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

กลไกการเกิดออโตออกซิเดชันของลิพิด แสดงใน Figure 1

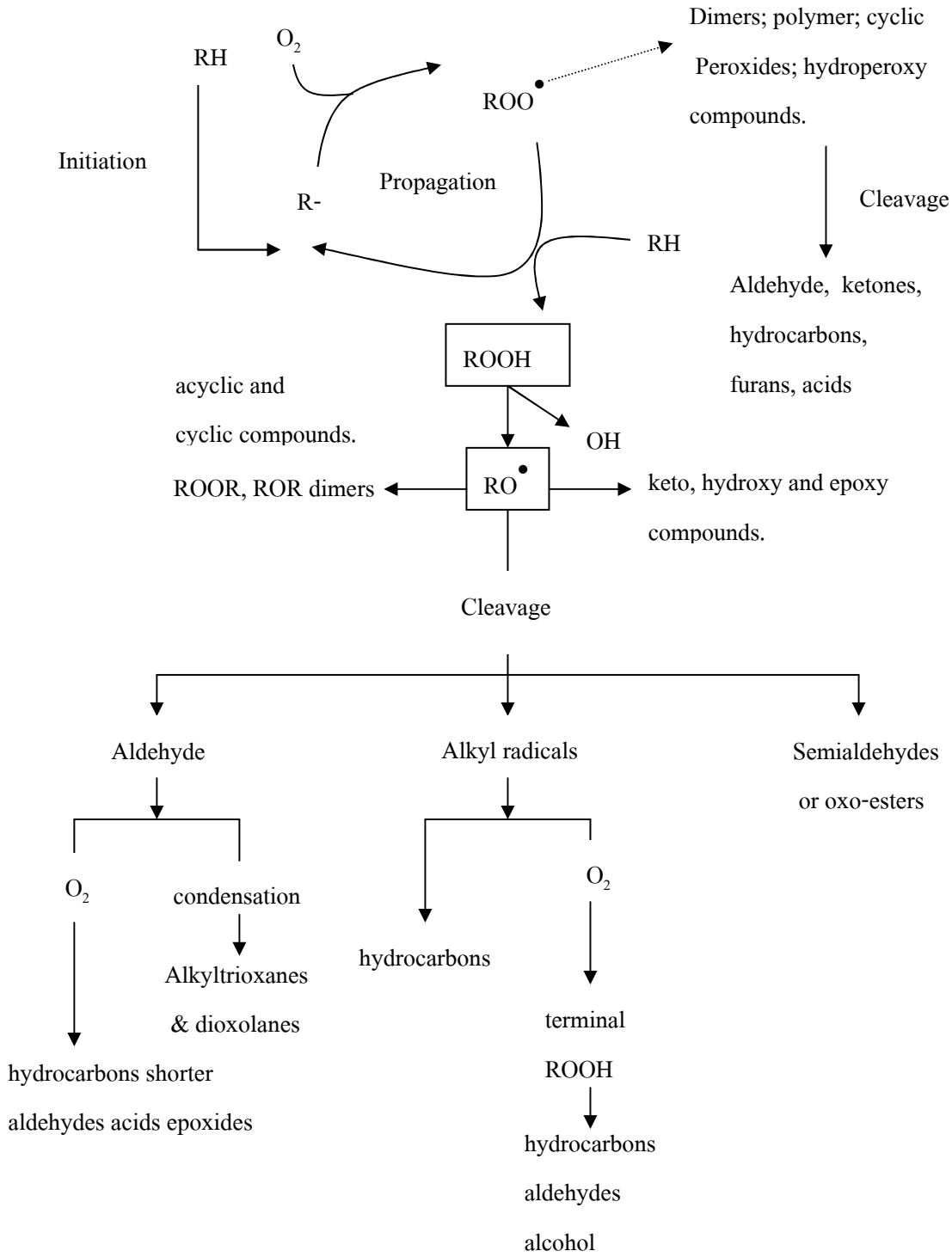


Figure 1. Generalized scheme for autoxidation of lipid

ที่มา : Nawar (1996)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

2.1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ถ้าระดับความไม่อิ่มตัวมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์จากกรดไขมันที่มีพันธะคู่ตั้งแต่ 2 คู่ ต้องการพลังงานกระตุ้นต่ำส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเร็วขึ้น โดยทั่วไปพันธะคู่แบบคอนจูเกต (การเกิดพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่) สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าพันธะคู่ชนิดอื่น (Nawar, 1996)

2.2 ออกซิเจน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และในสภาวะที่มีออกซิเจนและมีแสง เหล็กที่มีในฮีม (heme iron) และคลอโรฟิลล์ (chlorophylls) สามารถเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (Nakatami and Ikeda, 1984)

2.3 ความร้อน มีบทบาทสำคัญในการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน ดังนั้นการเก็บอาหารในอุณหภูมิต่ำสามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ (Jadhav *et al.,* 1995)

2.4 แสงสว่าง ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดได้เร็วเมื่อระบบสัมผัสกับแสง (Nawar, 1996)

2.5 โลหะ โลหะทรานซิชันที่มีวาเลนซี 2-3 เช่น โคบอลท์ (Co), เหล็ก (Fe^{2+} or Fe^{3+}), ทองแดง (Cu^{+} or Cu^{2+}), แมงกานีส (Mn), และ นิกเกิล (Ni) เป็นต้น มีคุณสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ กลไกการทำงานของโลหะมีหลายแบบ เช่น ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารตั้งต้น หรือกระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็น singlet oxygen และอนุมูลเพอร์ออกซี (Nawar, 1996)

2.6 ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่

2.6.1 ความชื้น หรือค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Aw) ในผลิตภัณฑ์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในอาหารแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำมากๆ (Aw < 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดอย่างรวดเร็ว แต่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เพิ่มขึ้นเป็น 0.3 จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน และอัตราการเกิดออกซิเดชันจะต่ำมาก ทั้งนี้เกิดจากปริมาณความชื้นในระดับนี้จะลดกิจกรรมของโลหะโดยจับกับอนุมูลอิสระ หรือป้องกันการสัมผัสของออกซิเจนกับไขมัน อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สูงขึ้น (Aw = 0.55-0.85) อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่ของคะตะลิสและออกซิเจน (Nawar, 1996)

2.6.2 ตัวเร่งชีวภาพ จัดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหาร ได้แก่ เอนไซม์ ไลพอกซีจีเนส (lypoxygenase) เนื่องจากภายในโมเลกุลของเอนไซม์ชนิดนี้ประกอบด้วยเหล็ก 1 อะตอมที่อยู่ในรูป Fe^{2+} ซึ่งจะถูกออกซิไดส์ให้อยู่ในรูป Fe^{3+} ได้โดย fatty acid hydroperoxides หรือ hydrogen

peroxides เกิดเป็น ROX-Fe^{3+} สารตั้งต้นที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเข้ามาจับโดยไฮโดรเจนจากหมู่ methylene จะถูกดึงออกไปและ Fe^{3+} ของเอนไซม์จะถูกรีดิวซ์กลับมาอยู่ที่ Fe^{2+} เกิดเป็น enzyme-alkyl radical (ROX-Fe^{2+}-$R^{\bullet}$) ที่สามารถถูกออกซิไดส์ได้โดย O_2 ให้อยู่ในรูปของ ROX-Fe^{2+}-ROO เกิดเป็นวัฏจักรต่อไป (Gordon, 2001)

3. สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติและองค์ประกอบของอาหาร เช่น การเปลี่ยนแปลงสี เนื้อสัมผัส กลิ่น กลิ่นรส สูญเสียวิตามิน และทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีน (Nakatami and Ikeda, 1984) ดังนั้นการใช้สารต้านออกซิเดชันจึงสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันส่งผลต่อการลดการสูญเสียต่าง ๆ ชะลอการเสื่อมเสีย การเกิดกลิ่นหืน หรือการเปลี่ยนแปลงสี อันเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi and Wanasundara, 1996) Yanishieva-Maslarova (2001) ได้แบ่งชนิดของสารต้านออกซิเดชันออกเป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

3.1 Radical scavenger/Hydrogen donor เป็นสารที่สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับ peroxy radical เกิดเป็น hydroperoxide ซึ่งเป็นรูปที่เสถียรไม่เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาอีก ในขณะที่ตัวของสารยับยั้งจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระแทนและสามารถจับกับ proxy radical ตัวอื่นให้อยู่ในรูปที่เสถียรได้อีก ดังสมการ 10-12

$$RO^{\bullet} + AH \longrightarrow A^{\bullet} + ROH \quad \text{…...……..} \ (10)$$

$$ROO^{\bullet} + AH \longrightarrow A^{\bullet} + ROOH \quad \text{……..} \ (11)$$

$$ROO^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow ROOA \quad \text{……..} \ (12)$$

ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ BHA, BHT, tocopherol และ PG ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงใน Figure 2

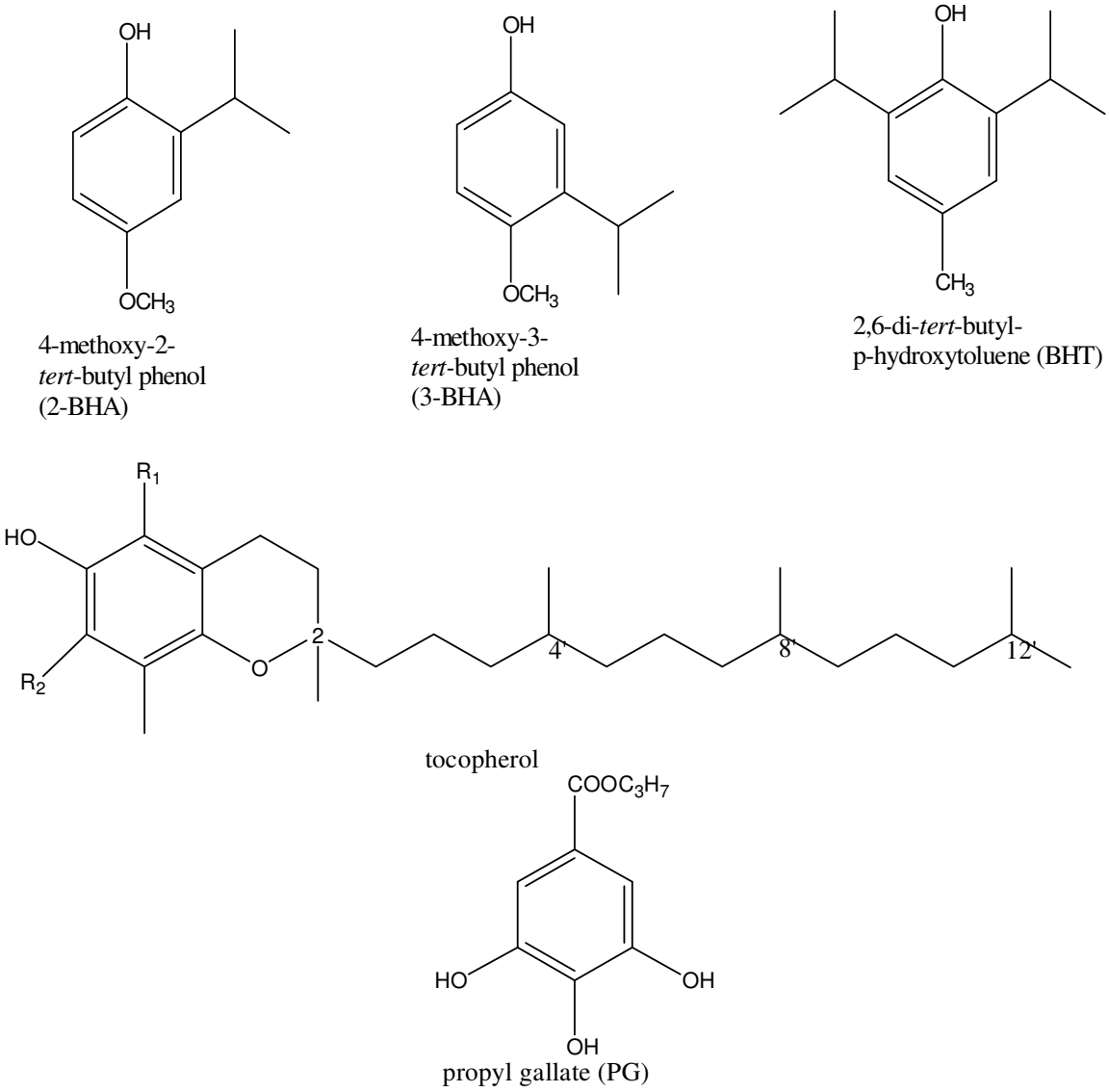
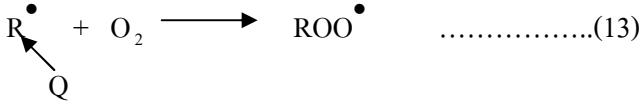


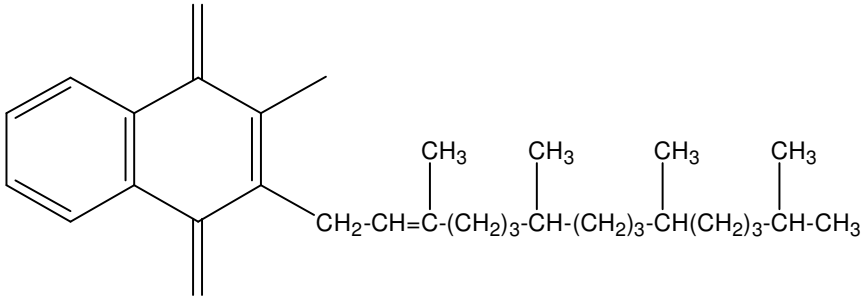
Figure 2. Radical scavenger/hydrogen donor antioxidants

ที่มา : Yanishieva-Maslarova (2001)

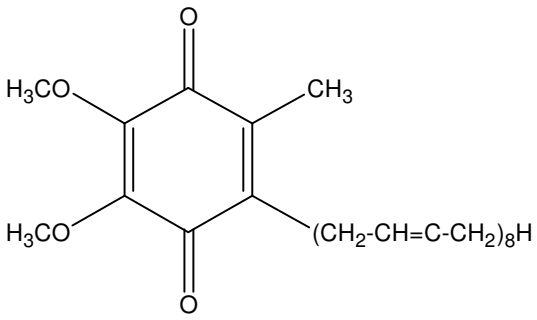
3.2 Electron-acceptor compounds เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันโดยการแข่งกับออกซิเจนในการจับกับอนุมูลอิสระของ alkyl ปฏิกิริยาการแข่งขันจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อความดันบรรยากาศออกซิเจนต่ำ ดังสมการที่ 13



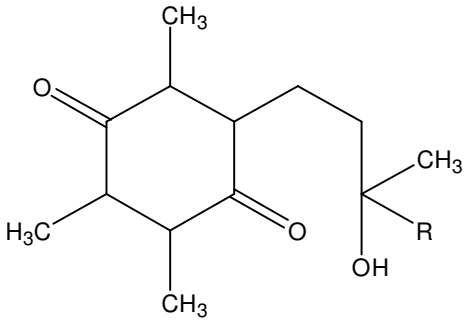
ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ quinones (Vitamin K, ubiquinone, α-tocopheryl quinone) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงใน Figure 3



vitamin K



ubiquinone



R=$CH_3(CH_2CH_2CHCH_2)_3H$

alpha-tocopheryl quinone

Figure 3. Electron-acceptor antioxidants

ที่มา : Yanishieva-Maslarova (2001)

3.3 Metal chelating agents จะเป็นสารยับยั้งพวก pro-oxidant ที่เป็นอนุมูลอิสระของโลหะ ดังสมการที่ 14

$$Mn^n + AH \longrightarrow Mn^n.H \quad \text{……..(14)}$$

ตัวอย่างสารยับยั้งออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ ascorbic acid, citric acid, tartaric acid, EDTA, และ flavonoid ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงใน Figure 4

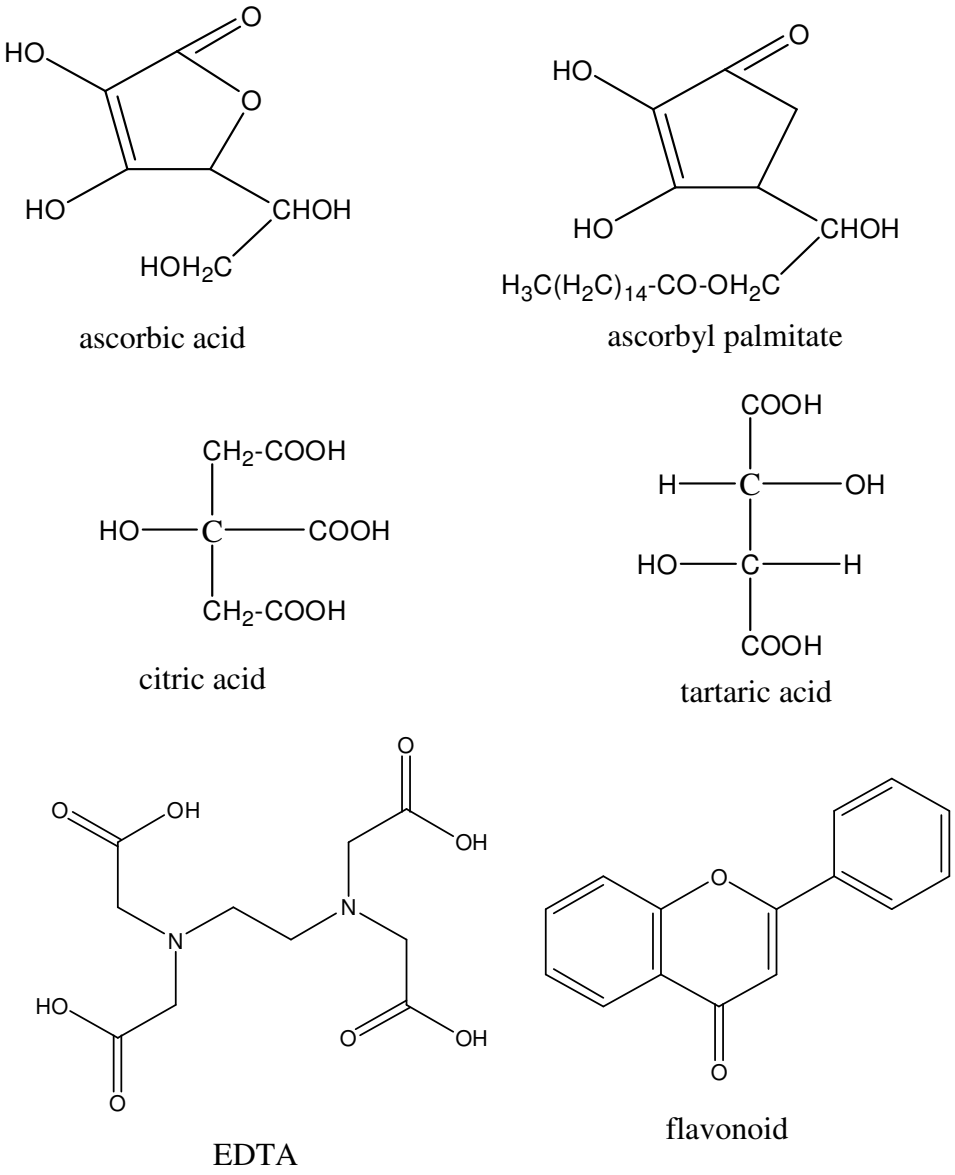


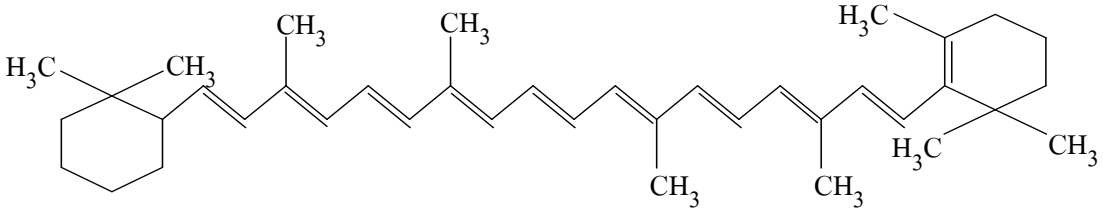
Figure 4. Metal chelating antioxidants

ที่มา : Yanishieva-Maslarova (2001)

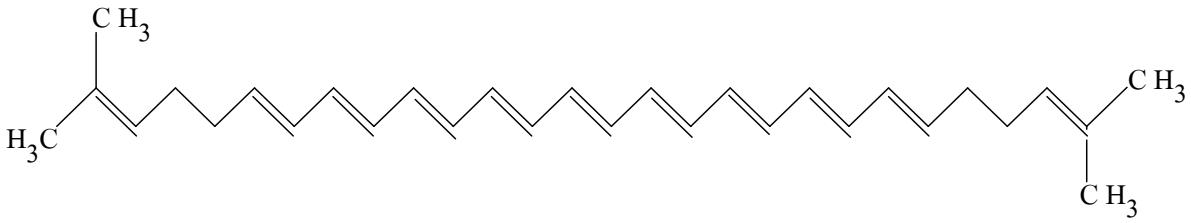
3.4 Singlet oxygen quencher จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนออกซิเจนที่อยู่ในรูปของ singlet oxygen ให้กลายเป็น triplet oxygen ซึ่งอยู่ในสถานะพื้นไม่สามารถทำปฏิกิริยากับไขมันได้และ Car (Singlet oxygen quencher: Carotenoids) จะเปลี่ยนเป็น ^{3}Car* ซึ่งมีพลังงานจำนวนมากจึงสลายต่อเป็น Car และมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น ดังสมการที่ 15

$^1O_2$ + Car ⟶ $^3O_2$ + ^{3}Car* ⟶ Car + thermal energy ……..…(15)

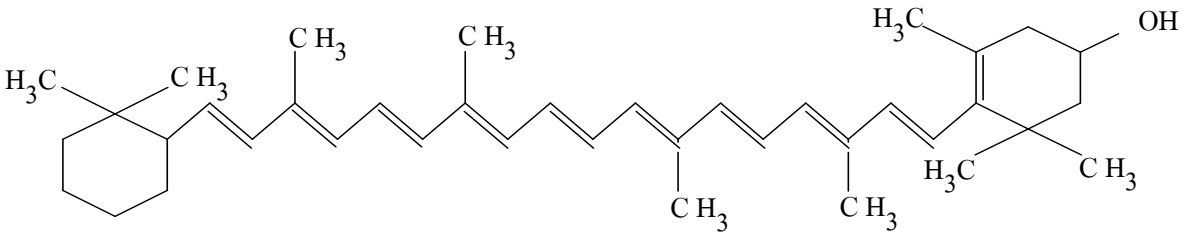
ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ได้แก่ carotenoids (β-carotene, canthaxanthin, lycopene, zeaxanthin และ lutein) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงใน Figure 5



β-carotene



lycopene



Zeaxanthin

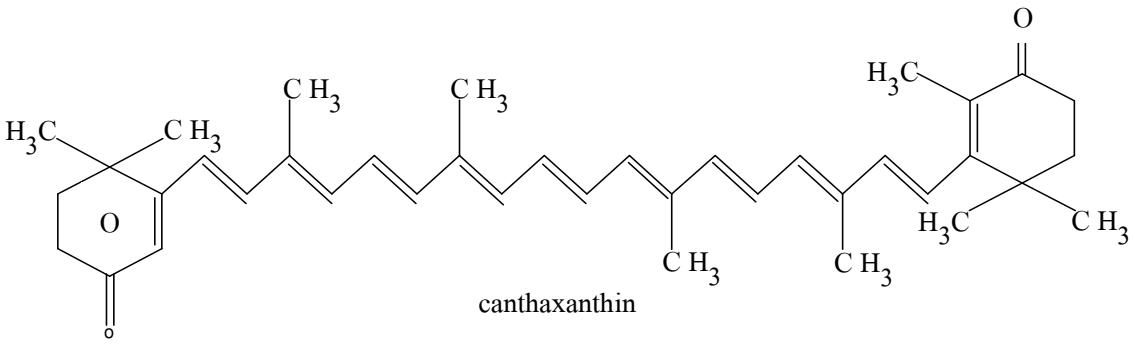


Figure 5. Singlet oxygen quencher antioxidant

ที่มา : Yanishieva-Maslarova (2001)

3.5 Enzymatic peroxide destroyer เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันทางธรรมชาติที่นำมาใช้งานในด้านอาหาร เอนไซม์บางชนิดสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันโดยการเปลี่ยนออกซิเจนในรูปอนุมูลอิสระหรือไฮโดรเพอร์ออกไซด์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ดังสมการที่ 16-18

$$ROOH + 2GSH \longrightarrow ROH + H_2O + GSS \quad \text{.....(16)}$$

$$O_2^{\bullet} + HO_2^{\bullet} \xrightarrow{SOD} {}^3O_2 + H_2O_2 \quad \text{.....(17)}$$

$$2H_2O_2 \xrightarrow{catalase} {}^3O_2 + 2H_2O \quad \text{.....(18)}$$

ตัวอย่างสารยับยั้งออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ได้แก่ Glutathione peroxidese (GSH), superoxide dimutase (SOD) และ catalase

4. ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน

4.1 สารสังเคราะห์ (Synthetic antioxidant)

สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่นิยมใช้ในอาหารโดยทั่วไปในหลายๆ ประเทศ ได้แก่ butylated hydroxylanisole (BHA), butylated hydroxyltoluene (BHT), propyl gallate (PG), octyl gallate (OG) และ dodecyl gallate (DG) อย่างไรก็ตาม สารต้านออกซิเดชันเหล่านี้มีความเป็นพิษแตกต่างกัน (Ito *et al.,* 1986) ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ และในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น ทำให้ในแต่ละประเทศออกกฎหมายเพื่อควบคุมการใช้สารต้านออกซิเดชัน

เหล่านี้ (Table 1) ซึ่งปริมาณที่กำหนดนี้ประเมินมาจากปริมาณที่ผู้บริโภคสามารถรับได้ในแต่ละวันในระดับที่ปลอดภัย

สันติ ทิพยางค์ (2535) กล่าวว่า สารยับยั้งออกซิเดชันที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ BHA, BHT, TBHQ และ PG หลายประเทศอนุญาตให้ใช้สารเหล่านี้กับน้ำมันและไขมันในปริมาณความเข้มข้นต่างๆกัน เช่นองค์การอาหารและยาในสหรัฐอเมริกา (FDA) อนุญาตให้ใช้สารกันหืนเหล่านี้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกันได้ในปริมาณความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 0.02 หรือ 200 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากสารยับยั้งออกซิเดชันสังเคราะห์เมื่อใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดการกลายพันธุ์และเกิดเนื้องอกในหนูทดลอง

Table 1. Snapshot of some antioxidants regulated in CODEX Alimentarius, America, Australia and New Zealand

Source	Antioxidant	Level
CODEX	BHA, BHT and PG in fat emulsions mainly of type oil-in-water, including mixed and/or flavoured products based on fat emulsions; emulsions containimg less than 80% fat; and margarine and similar products	200 µg/g
USA	BHA, BHT and PG in rendered animal fat or a combination of such fat and vegetable fat	100 µg/g individually or 200µg/g in combination with other antioxidants approved for use
	BHA,BHT, PG, OG and DG in margarine or oleomargarine	200 µg/g individually or in combination with other antioxidants approved for use
Australia,	BHT, PG, OG and DG	100µg/g
New Zealand	BHA in edible oils and oil emulsions	200µg/g

ที่มา : Sin และคณะ (2006)

4.1.1 Butylated hydroxyanisol (BHA) มี 2 แบบ คือ 2- tert-butyl-4-hydroxyanisol (2-BHA) และ 3-tert-butyl-4-hydroxyanisol (3-BHA) ใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์อาหารทอดและอบ เมื่อใช้ร่วมกับ BHT, TBHQ หรือ PG จะช่วยเสริมให้มีคุณภาพป้องกันการหืนสูงกว่าชนิดเดียว โดยเฉพาะ BHA

ผสมกับ BHT แต่มีรายงานว่าเมื่อใช้ BHA เกินปริมาณที่ FDA กำหนด (175 ส่วนในล้านส่วน) ผสมกับ BHT อาจมีอันตรายทำให้เกิดสารก่อมะเร็งและเนื้องอก (Du and Li, 2008)

4.1.2 Butylated hydroxytoluene (BHT) มีชื่อเรียกทางเคมีว่า 2,6-di-tertiary-butyl-p-cresol หรือ 2,6-di-tertiary-butyl-4-metyl phenol ใช้ได้ดีพอสมควรกับอาหารทอดและอบ สามารถใช้ร่วมกับ BHA, หรือ PG

4.1.3 Propyl gallate (PG) มีชื่อเรียกทางเคมีว่า 3,4,5-trihydroxybenzoic acid ใช้กับไขมันสัตว์ได้ดี แต่จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะทำให้เกิดเป็นสีดำหรือสีม่วงเข้ม ซึ่งจะป้องกันได้โดยการเติมสารพวก chelating agent ลงไปเพื่อไปรวมกับอิออนของโลหะ สารพวกนี้ได้แก่ กรดซิตริก กรดแอสคอบิค และ เลซิติน เมื่อใช้ PG ร่วมกับ BHA และ BHT ให้ผลในการป้องกันการหืนได้ดี

4.2 สารสกัดจากธรรมชาติ (Natural antioxidant)

ผักและผลไม้มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทั้งยังเป็นแหล่งของสารประกอบ phenolics, flavonoids, anthocyanins และ carotenoids โดยที่ Iqbal และ Bhanger (2007) ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพความคงตัวของน้ำมันดอกทานตะวัน (Refined, bleached, deodorized (RBD) sunflower oil) เมื่อเติมสารสกัดเมทานอลของกระเทียม โดยวิเคราะห์ค่า Antioxidant activity index (AAI), Free fatty acid (FFA) content, Peroxide value (PV), Conjugated dienes (CD), Conjugated trienes (CT) และ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) พบว่า สารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 1,000, 500 และ 250 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันแก่น้ำมันดอกทานตะวันดีกว่า BHA และ BHT ที่ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

ชลดา กุลสถาพร และอมรทิพย์ สมสุข (2545) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดเมทานอลของตะไคร้ด้วยเทคนิค NMR พบว่ามีสารกลุ่ม flavonoid คือ luteotin เป็นองค์ประกอบซึ่งเมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่า BHT ประมาณ 4 เท่า ส่วน Su และคณะ (2007) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบฟีนอลลิก ความสามารถในการจับโลหะและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของ พริกไทยดำ (black peppercorn) , ลูกจันทร์เทศ (nutmeg) , โรสฮิป (rosehip) , อบเชย (cinnamon) และใบออริกาโน (oregano leaf) พบว่าสารสกัดจากพืชเหล่านี้มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจากเป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยสารสกัดอะซิโตนของอบเชย (cinnamon) เข้มข้นร้อยละ 50 มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในระบบ 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazolamine-6-sulfonic acid) ($ABTS^{+}$), Oxygen Radical Absorbance

Capacity (ORAC), ความสามารถในการจับโลหะ และปริมาณของสารประกอบฟีนอลลิก สูงสุดเมื่อเทียบกับสารสกัดจากพืชชนิดอื่นข้างต้น สำหรับ Maisuthisakul และคณะ (2007) ซึ่งทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของพืชพื้นเมืองของประเทศไทย 26 ชนิดเทียบกับเมล็ดองุ่นพบว่า ปริมาณของสารประกอบฟีนอลลิก และสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ในสารสกัดจากเมล็ดองุ่นที่เหลือจากการทำไวน์ มีปริมาณสูงกว่าสารสกัดที่ได้จากผักและสมุนไพร และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในระบบ 1,1- diphenyl-2-picrylhydrazyl radicals (DPPH) Boskou (2006) ได้สรุปแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชแสดงดัง Table 2

Table 2. Source of polyphenol antioxidant derived from plants

Source	Antioxidants
Fruits	
Berries	Flavanols hydroxycinammic acids, hydroxybenzoic acids, anthocyanins
Cherries	Hydroxycinnamicacids, anthocyanins
Blackgrapes	Anthocyanins, flavonols
Citrus fruits	Flavanones, flavonols, phenolic acids
Plums, prunes, apples, pears, kiwi	Hydroxycinnamic acids, catechins
Vegetables	
Aubergin	Anthocyanins, hydroxycinnamic acids
Chicory, artichoke	Hydroxycinnamic acids
Parsley	Flavones
Rhubarb	Anthocyanins
Sweet potato leaves	Flavonols, flavones
Yellow onion, curly kale, leek	Flavonols
Parsley	Flavones
Beans	Flavanols
Spinach	Flavonoids, p-coumaric acid

Table 2. (Continued)

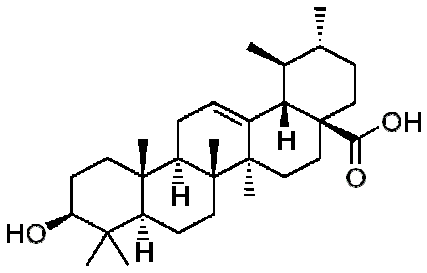
Source	Antioxidants
Flours	
Oats, wheat, rice	Caffeic and ferulic acids
Teas	
Black, green	Flava-3-ols, flavonols
Alcoholic drinks	
Red wine	Flavan-3-ols, flavonols, anthocyanins
Cider	Hydroxycinnamic acids
Other drinks	
Orange juice	Flavanols
Coffee	Hydroxycinnamic acids
Chocolate	Flavanols
Herbs and spices	
Rosemary	Carnosic acid, carnosol, Rosmarinic acid rosmanol
Sage	Rosmarinic acid, Carnosol, Carnosic acid, lateolin, rosmanul, rosmarinic acid
Oregano	Rosmarinic acid, phenolic acids, flavonoids
Thyme	Thymol, carvacrol, Flavonoids, lubeolin
Summer savory	Rosmarinic, carnosol, carvacrol, flavonoids
Ginger	Gingerd

ที่มา : Boskou (2006)

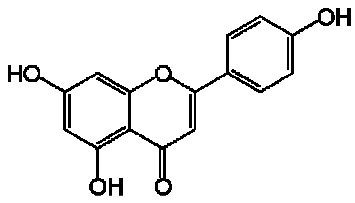
จากรายงานพบว่าใบกะเพรา ใบโหระพา ใบมะกรูด กระเทียม หอมแดง ขมิ้น ข่า ตะไคร้ และใบเตยมีสารออกฤทธิ์ที่ทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันไป แสดงดัง Table 3 โดยสารออกฤทธิ์แต่ละชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน แสดงดัง Figure 6

Table 3. Antioxidative compound of nine herbs/spices used in this experiment

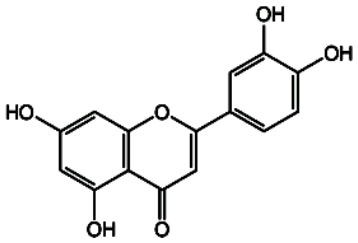
Herbs/spices	Antioxidative compounds	References
Holy basil	Usolic acid, Apigenin, Luteolin, Eugenol	Bhargava and Sing (1981)
Sweet basil	Rosemarinic acid, Caffeic acid, Linalool, Eugenol	Li *et al.* (2007)
Kaffir lime leave	Citronella, β-carotene	Murakami *et al.* (1995)
Garlic	Organosulfer compounds, Gallic acid	Kamel and Saleh (2000)
Red onion	Organosulfer compounds (cysteine derivatives, e.g. S-allyl cysteine sulfoxide.), Quercetin	Shahidul *et al.* (2008); Lombard *et al.* (2005)
Turmeric	Curcumin, Demethoxycurcumin, Bisdemethoxycurcumin	Tiwari (2006)
Galangal	Galangin, Kaempferide	Samart (2007)
Lemon grass	Luteolin, Eugenol, Linalool, Menthol, Citronellal, Camphor, Geraniol, Nerolidol, Methylheptenol, Furfural, Methylheptonone	Mutsuda *et al.* (2003)
Pandanus	Caffeic acid, p-Coumaric acid, Quercetin	Nor *et al.* (2008)



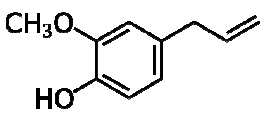
Usolic acid



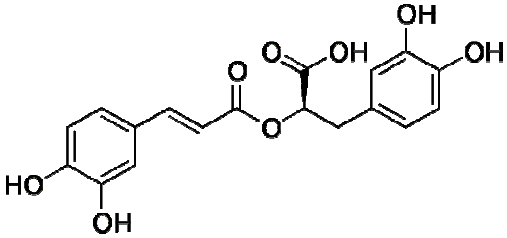
Apigenin



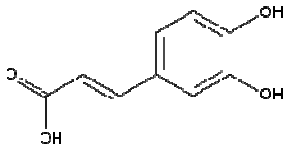
Luteolin



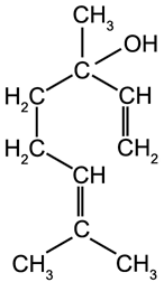
Eugenol



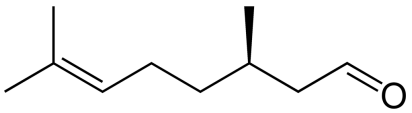
Rosemarinic acid



Caffeic acid

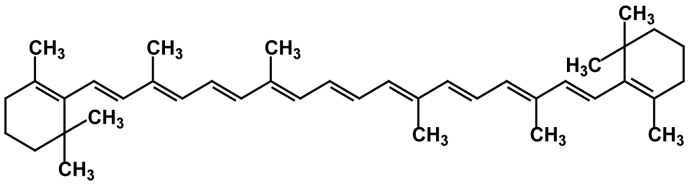


Linalool

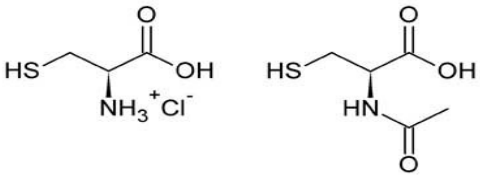


Citronella

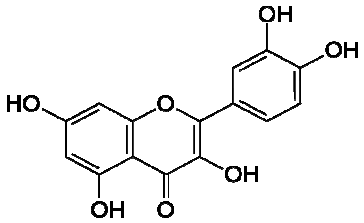
Diallyl disulfide



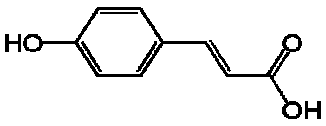
β-Carotene



n-Acetyl cysteine



Quercetin



p-Coumaric acid

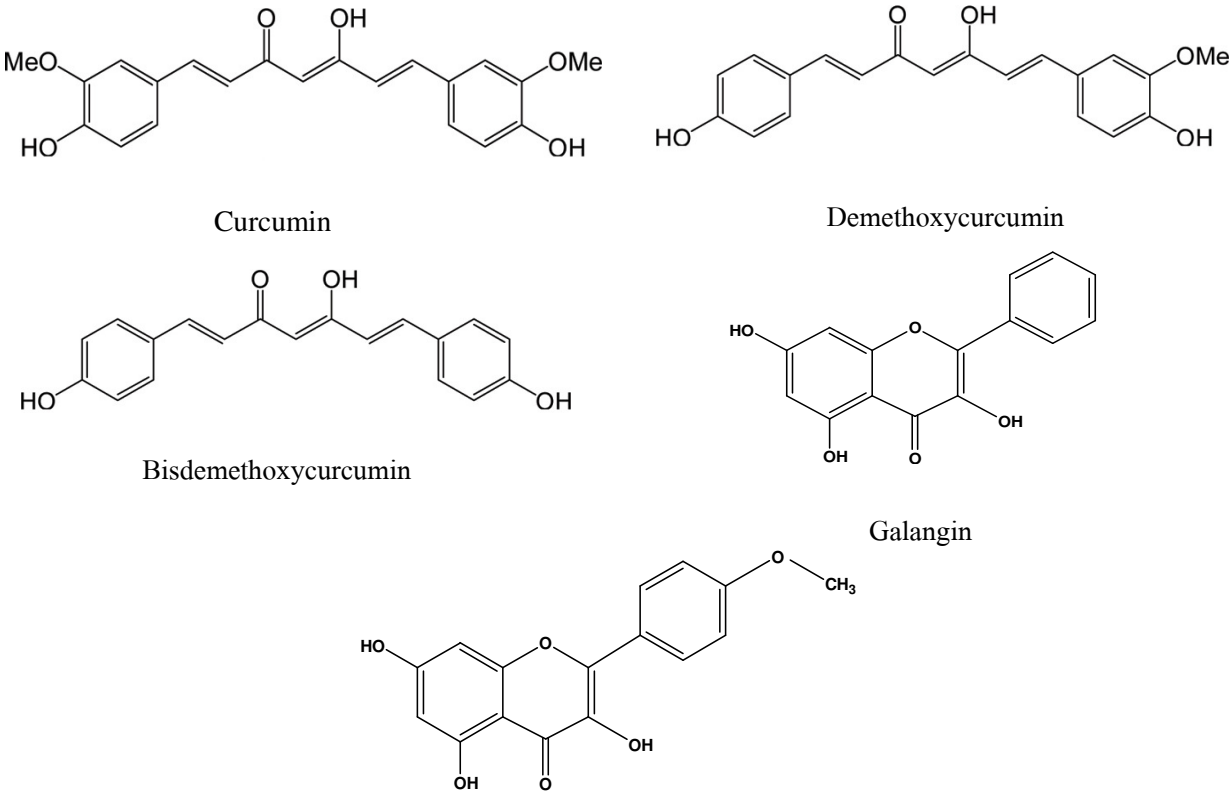


Figure 6. Structure of antioxidative compound of nine herbs/spices used in this experiment

5. การทอดอาหาร

การทอดเป็นวิธีการแปรรูปอาหารประเภทหนึ่ง ที่มีผลทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน อาหารทอดไม่ว่าจะเป็น ไก่ทอด กุ้งชุบแป้งทอด ทอดมัน มันฝรั่งทอด และกล้วยแขก โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักผ่านการทอดโดยใช้น้ำมันปริมาณมาก (deep frying) และเมื่ออาหารเหล่านี้ผ่านการทอดมีผลทำให้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น เช่น มันฝรั่งทอดจะมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 17 และไก่ทอดจะมีไขมันประมาณร้อยละ 13.2-18.7 (USDA-ARS, 2005) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะของการทอด ในขณะเดียวกันในระหว่างการทอดอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด เนื่องมาจากความร้อนที่ให้กับน้ำมันทอด การสัมผัสระหว่างน้ำมันกับอากาศ การสูญเสียน้ำและองค์ประกอบในอาหารสู่น้ำมันทอด ซึ่งระยะเวลาการทอดและจำนวนรอบของการทอดเพิ่มขึ้น การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดก็เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ผู้ผลิตอาหารทอด

ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทอดตามการใช้งาน โดย Naz และคณะ (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง โดยวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) ค่าอะนิซิดีน (*p*-anisidine value) ค่าไอโอดีน (iodine value) ของน้ำมันที่ผ่านการทอด น้ำมันที่มีการสัมผัสกับอากาศ และน้ำมันที่สัมผัสแสงและอากาศ เป็นเวลา 30 วัน นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาแตกต่างกันคือ 30, 60 และ 90 นาที พบว่า ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่าอะนิซิดีน เพิ่มขึ้นตามลำดับคือ น้ำมันที่ผ่านการทอด >น้ำมันที่สัมผัสกับอากาศและแสง > น้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ โดยค่าดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของน้ำมันคือ น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันข้าวโพด > น้ำมันมะกอก การลดลงของค่าไอโอดีน เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน คือ น้ำมันที่ผ่านการทอด>น้ำมันที่สัมผัสกับอากาศและแสง > น้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ โดยมีการลดลงของค่าไอโอดีนตามชนิดของน้ำมันคือ น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันข้าวโพด > น้ำมันมะกอก สำหรับปริมาณไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทอด

5.1 การเปลี่ยนแปลงของไขมันระหว่างทอด

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของน้ำมันหรือไขมันระหว่างทอดแสดงดัง Figure 7 ซึ่งเห็นได้ชัด คือ น้ำมันเป็นสีดำ ความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเกิดควันลดลง เกิดฟองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อไขมันได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีใน 3 รูปแบบ คือ

5.1.1 Hydrolysis เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน โดยน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งปฏิกิริยา ซึ่งน้ำทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอร์ไรด์และได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid), โมโนกลีเซอร์ไรด์, ไดกลีเซอร์ไรด์ และกลีเซอรอล

5.1.2 Oxidation เป็นการออกซิไดซ์ไขมัน ทำให้เกิดสารประกอบหลายชนิดที่ระเหยได้ เช่น hydroperoxide, conjugated dieonoic acid, epoxide, hydroxyl และ ketone สารประกอบเหล่านี้อาจเกิดการแตกตัวต่อไปอีก หรือจะยังคงเป็นโมเลกุลไตรกลีเซอร์ไรด์ที่สูงขึ้น

5.1.3 Polymerization เป็นการเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนโดยไม่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลไขมัน ถ้าพันธะเหล่านี้เกิดขึ้นในกรดไขมัน 1 โมเลกุล จะทำให้เกิดกรดไขมันแบบต่อกันเป็นวง (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดระหว่างกรดไขมัน 2 โมเลกุล อาจเกิดภายในโมเลกุลเดียวกันหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอร์ไรด์ ทำให้เกิดกรดไดเมอริก และถ้าเกิดพันธะข้ามระหว่างโมเลกุลเหล่านี้ต่อไปทำให้เกิดโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นอีก

5.2 ประเภทของสารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไขมัน

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอดที่กล่าวแล้วข้างต้น สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

5.2.1 สารประกอบจากการเสื่อมสลายที่ระเหยได้ (Volatile decomposed product) สารประกอบที่ระเหยได้มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารที่ผ่านการทอด อย่างไรก็ตามธรรมชาติของสารประกอบเหล่านี้จะระเหยออกมาจากน้ำมันระหว่างการทอด ในรูปควันและสารประกอบต่างๆ อาทิ เช่น Hydrocarbons, Aldehydes, Ketones, Furans และ Carboxylic acids เป็นต้น ดังนั้นหากหายใจเอาสารเหล่านี้เข้าไปอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว

5.2.2 สารประกอบจากการเสื่อมสลายที่ไม่ระเหย (non volatile decomposed product) สารประกอบจากการเสื่อมสลายที่ไม่ระเหย อาทิเช่น Polar and non polar, Cyclic monomer, Noncyclic monomer, Dimers, Trimers และ Higher molecular weight compounds เป็นต้น สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันนี้ทอดอาหาร และอาหารดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ เชื่อกันว่าถ้าใช้น้ำมันทอดหลายๆ ครั้งทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น สะสมอยู่ในน้ำมัน ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป คือ ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบชนิดต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส, ออกซิเดชัน และพอลิเมอไรเซชันของน้ำมันระหว่างกระบวนการทอดแสดงดัง Figure 8

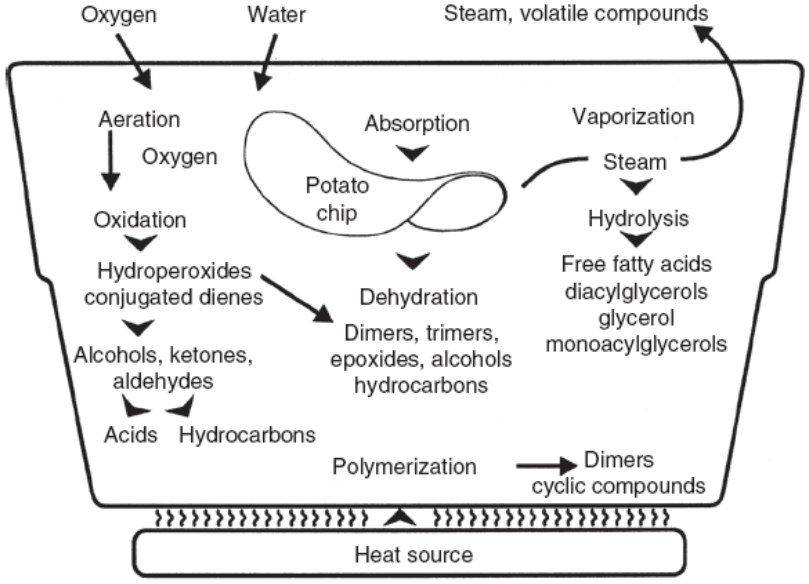


Figure 7. Changes occurring during deep fat frying

ที่มา: Stevenson และคณะ (1984)

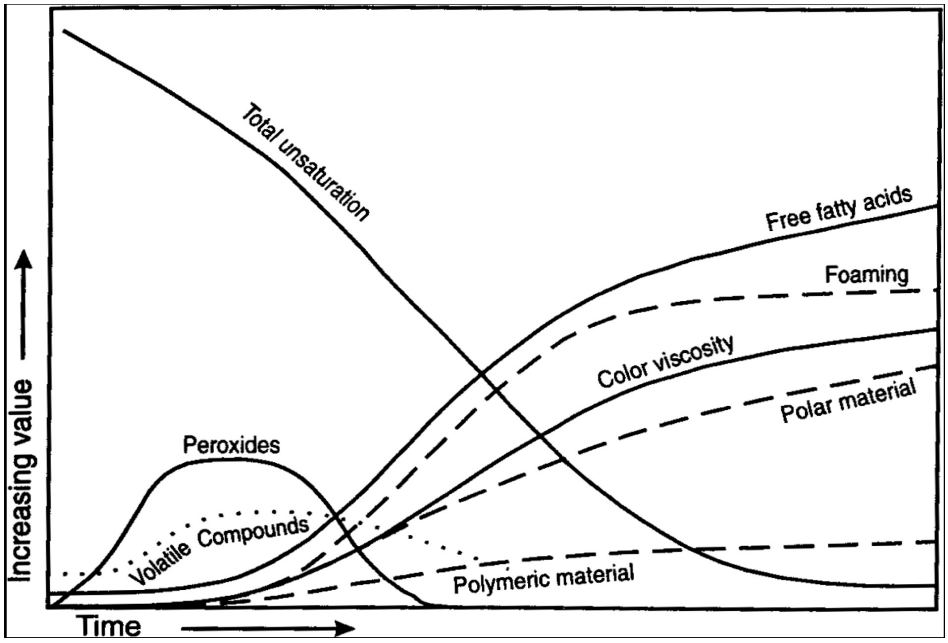


Figure 8. Physical and chemical changes of oil during deep-fat frying

ที่มา: Choe และ Min (2007)

5.3 การใช้สารสกัดจากธรรมชาติ (Natural antioxidant) เป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันทอด

ในการผลิตน้ำมันหลังจากที่มีการสกัดแยกและทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ จะมีการใช้สารป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน (antioxidant) โดยทั่วไปมักจะใช้ butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisol (BHA) และ propyl gallate (PG) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ มีประสิทธิภาพดี ราคาไม่แพง ไม่มีสี กลิ่นและรส อย่างไรก็ดี สารกันหืนเหล่านี้มักจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อมีการใช้น้ำมันที่อุณหภูมิสูง เช่น อุณหภูมิการทอด (150-200 องศาเซลเซียส) สารเหล่านี้มักเสื่อมประสิทธิภาพ โดยที่อุณหภูมิสูง BHA และ BHT จะระเหยไปกับไอน้ำ ในขณะที่ PG จะเสื่อมสภาพเมื่อมีน้ำออกมาจากอาหารในขณะทอด ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันทอดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตัวเอง เกิดการเสื่อมสภาพ มีความหนืดและสีเข้มขึ้น (Zhang *et al.,* 2004) ดังนั้นจึงมีการใช้สารป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันจากธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งมีผู้ที่ทำการศึกษาไว้ดังนี้

Shyamala และคณะ (2005) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน โดยการใช้สารสกัดจากพืชใบ ได้แก่ กะหล่ำปลี, ผักชี และ ผักโขม ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ผ่านการให้ความร้อนระหว่างการเก็บรักษา โดยการเติมสารสกัดจากเอทานอล

ของพืชดังกล่าวในน้ำมันทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ให้ความร้อนจนกระทั่ง ถึงอุณหภูมิการทอด และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า ปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลในกะหล่ำปลี มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัม ส่วนในผักโขมมีค่าเท่ากับ 69.5 มิลลิกรัม คุณสมบัติในการให้อิเลคตรอน (reducing power) เพื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระมีค่าแตกต่างกันเรียงตามลำดับคือ ผักโขม < กะหล่ำปลี < ผักชี ตามลำดับ โดยสารสกัดจากพืชใบทั้งหมดแสดงคุณสมบัติที่ดีในการจับอนุมูลอิสระ ทั้งในระบบ Hydroxyl radical และ DPPH ทั้งนี้สารสกัดจากพืชดังกล่าวแสดงฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสามารถใช้แทนสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันสังเคราะห์ได้เนื่องจากสามารถคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิสูง

Zandi และ Gordon (1999) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดเมทานอลจากใบชาแก่ (methanolic extracts of old tea leaves) ต่อความคงตัวของน้ำมัน rapeseed oil ระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระหว่างการทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่าสารสกัดเมทานอลจากใบชาแก่สามารถต้านการเสื่อมสภาพของน้ำมันระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์จากค่าเพอร์ออกไซด์, ค่า p-Anisidine, และค่า conjugate diene โดยประสิทธิภาพต้านการเสื่อมสภาพของน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.02-0.25) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเมทานอลจากใบชาแก่ร้อยละ 0.01 มีประสิทธิภาพต้านการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดซ้ำไม่ต่างกับการใช้สารสกัดจากโรสแมรี่ร้อยละ 0.1

Nor และคณะ (2008) ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบเตย (*Pandanus amyryllifolius*) ในน้ำมันทอดที่มีการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าสารสกัดจากใบเตยซึ่งมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 102 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม (ร้อยละ 0.02) มีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-40 ชั่วโมง ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่เติม BHT (ร้อยละ 0.02) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งค่าที่ทดสอบได้แก่ peroxide value, anisidine value, iodine value. free fatty acid, oxidative stability index (OSI), polar และ non polymer compound contents ดังนั้นจึงอาจใช้สารสกัดจากใบเตยแทนสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ นอกจากนั้น Che Man และ Jaswir (2000) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจาก rosemary และ sage ที่เติมลงไปในน้ำมันปาล์มระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) พบว่าสารสกัดทั้งสองชนิดสามารถยับยั้งการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดได้เป็นระยะเวลา 6 วัน ($p<0.05$) อีกทั้งสารสกัดทั้งสอง

ชนิดยังสามารถปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส(ยกเว้นคุณลักษณะทางด้านความกรอบ) ของมันฝรั่งทอด (Fried potato crisps) ได้อีกด้วย

6. วิธีการตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

Frankel (1984) กล่าวว่าการเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อนและมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีของไขมัน การตรวจสอบเพื่อวัดค่าการเกิดออกซิเดชันที่นิยมมี 4 วิธี คือ

6.1 การหาค่า Peroxide value (POV)

ค่าเพอร์ออกไซด์ หมายถึง มิลลิกรัมสมมูล (milliequivalent) ของเพอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำมัน 1 กก. ค่าเพอร์ออกไซด์จะบอกให้ทราบถึงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นสารประกอบเพอร์ออกไซด์ ถ้ามีสารประกอบเพอร์ออกไซด์เกิน 20 meq of peroxide/kg of oil ในน้ำมันจะทำให้เกิดกลิ่นหืน ซึ่งการวัดค่าเพอร์ออกไซด์ มีหลายวิธี ได้แก่

6.1.1 การหาค่าเพอร์ออกไซด์โดยวิธีวัดค่าไอโอดีน คือ เมื่อไอโอไดด์ (iodide) ถูกออกซิไดซ์เป็นไอโอดีน (iodine) โดยสารประกอบเพอร์ออกไซด์หรือออกซิเจนในไขมัน แล้วไทเตรทไอโอดีนที่เกิดขึ้นกับสารละลายมาตรฐาน sodium thiosulphate หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่า peroxide value

6.1.2 การหาค่าเพอร์ออกไซด์ในตัวอย่างน้ำมัน โดยให้ทำปฏิกิริยากับ ammonium thiocyanate และ ferrous chloride ได้สารประกอบที่มีสีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาค่าเพอร์ออกไซด์จากกราฟมาตรฐาน

6.2 การหาค่า free fatty acid (FFA)

ค่ากรดของไขมันและน้ำมันหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระในตัวอย่างไขมันและน้ำมันหนึ่งกรัมมีสภาพเป็นกลาง โดยทั่วไปอาจจะแสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ ค่ากรดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาลิโพไลซิสโดยมีเอนไซม์และ/หรือความร้อนและ/หรือแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งผลของปฏิกิริยานี้จะทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และสอดคล้องในทิศทางส่งเสริมให้เกิดกลิ่นหืนในไขมันและน้ำมันได้ นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันด้วย การวิเคราะห์หาค่ากรดและปริมาณกรดไขมันอิสระใช้เทคนิคการไตเตรทด้วยสารละลายด่างที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยมีฟีนอฟทาลีน

เป็นอินดิเคเตอร์ได้จุดยุติสีชมพูคงที่ ค่าที่เหมาะสมของกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดมีค่าประมาณร้อยละ 0.5-0.8 (Thompson and Aust, 1983)

6.3 Thiobarbituric acid test (TBA)

วัดความเข้มข้นของสีที่เกิดจาก malonaldehyde [$CH_2(CHO)_2$] ซึ่งเป็นอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจากน้ำมันหรือไขมันที่ถูกออกซิไดส์ ทำปฏิกิริยากับ 2-thiobarbituric acid เกิดเป็นสารประกอบ TBA chromagen ให้สีแดง ที่สามารถตรวจวัดได้ที่ความยาวคลื่นแสง 532 นาโนเมตร ดัง Figure 9

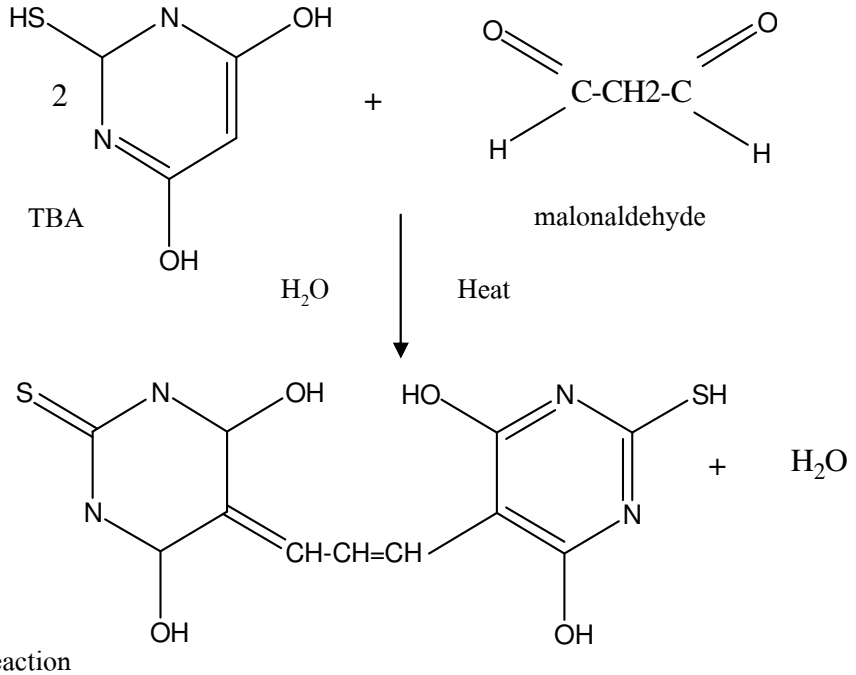


Figure 9. TBA reaction

ที่มา: Frankel (1984)

อย่างไรก็ตามอัลดีไฮด์อื่นๆ ที่อาจจะเกิดจากโปรตีนที่ถูกออกซิไดส์ ก็สามารถทำปฏิกิริยากับสาร 2-thiobarbituric acid ได้เช่นกัน ดังนั้นการวัดสถานะของน้ำมันโดยวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่จำกัดใช้ตรวจสอบเฉพาะไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่มีสารอาหารอื่นปนอยู่เท่านั้น

วัตถุประสงค์ (Objective)

1. คัดเลือกชนิดของสมุนไพร/เครื่องเทศที่มีศักยภาพเป็นสารต้านออกซิเดชันที่อุณหภูมิในการการทอด (175 องศาเซลเซียส)

2. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในน้ำมันทอด

3. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศผสมในน้ำมันทอด

4. การประยุกต์ใช้สารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันสำหรับผลิตภัณฑ์ไก่ทอด

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 สมุนไพร/เครื่องเทศ 9 ชนิดได้แก่

1.1.1 ประเภทใบ ได้แก่

- ใบมะกรูด (อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน ใช้ใบกึ่งแก่กึ่งอ่อนโดยมีค่าสีในระบบ Munsell ของใบอยู่ในช่วง 7.5GY8/8-10GY5/8
- ใบเตย (อายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน)
- ใบโหระพา (อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน)
- กะเพรา (อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน)

1.1.2 ประเภทหัว/เหง้า ได้แก่

- หอมแดง (อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน)
- กระเทียม (อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน)
- ขมิ้น (อายุการเก็บเกี่ยว 8-9 เดือน)
- ข่า (อายุการเก็บเกี่ยว 12-18 เดือน)

1.1.3 ประเภทลำต้น ได้แก่ ตะไคร้ (อายุการเก็บเกี่ยว 8-10 เดือน)

1.2 น้ำมันปาล์ม (commercial refined palm oil)

1.3 ปีกไก่บนแช่แข็ง จากบริษัท สหฟาร์ม จำกัด (1 กก. มีจำนวน 30-32 ชิ้น)

1.4 น้ำหมักปรุงรสไก่จากร้านค้าที่จำหน่ายไก่ทอด

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับการสกัดสมุนไพร/เครื่องเทศ

- Ethanol 95%

2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

- Butylated hydroxytoluene (BHT)
- Gallic acid
- Folin-Ciocalteu reagent

- Sodium carbonate
- 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH)
- Absolute methanol
- Distilled water

2.3 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน

- Butylated hydroxytoluene (BHT)
- Acetic acid
- Chloroform
- Potassiumiodide solution
- Sodiumthiosulphate solution 0.01 N
- Starch solution 1%
- Sodiumhydroxide solution 0.01 N
- Ethanol 95%
- Phenolphthalein indicator
- Thiobarbituric acid solution (TBA)
- Trichloroacetic acid (TCA)
- 0.24 N Hydrochloric acid
- Distilled water

3. วัสดุและอุปกรณ์

- Spectrophotometer (UV-16001, SHIMADZU, Kyoto, Japan)
- Homogenizer (PT-MR 2100, Polytron Kinematica AG, Littau-Lucerne, Switzerland)
- Oil bath (Daihan LabTech CO., LTD, Korea)
- Water bath (W350, Memmert, Schwabach, Germany)
- Blender (Imarflex IF-300, India)
- Hot air oven (Memmert, Schwabach, Germany)
- Air dryer (MR CORDON, Bangkok, Thailand)
- Magnetic stirrer (D-79219, IKA-WERKE, Germany)
- Centrifuge (RC-5B plus, Sorvall, Norwalk CT, USA)
- Evaporator (Aspirator A-3S, EYELA, Tokyo, Japan)

- Hotplate (HW-116A2, House worth, Chaina)

วิธีการดำเนินการ

1. คัดเลือกชนิดของสมุนไพร/เครื่องเทศที่มีศักยภาพเป็นสารต้านออกซิเดชันที่อุณหภูมิในการการทอด (175 องศาเซลเซียส)

1.1 ชนิดของสมุนไพร/เครื่องเทศประเภทใบ, หัว/เหง้า และลำต้นจำนวน 9 ชนิดดังแสดงใน Table 4

Table 4. Nine herbs/spices used in this experiment

Family	Scientific name	Local name	Common name	Parts used
Labiatae	*Ocimum sanctum* Linn.	Ka-prao	Holy basil	Leaf
Labiatae	*Ocimum basilicum* Linn.	Ho-ra-pa	Sweet basil	Leaf
Rutacea	*Citrus hystrix* DC.	Ma-krut	Kaffir lime	Leaf
Alliaceae	*Allium sativum* L.	Kra-teiam	Garlic	Bulb
Alliaceae	*Allium ascalonicum* L.	Hom-daeng	Shallot	Bulb
Zingberaceae	*Curcuma longa* L.	Ka-min	Turmeric	Rhizome
Zingberaceae	*Alpinia galanga* Linn.	Kha	Galangal	Rhizome
Graminae	*Cymbopogon citrates* D.C.	Ta-khrai	Lemon grass	Stem
Pandanaceae	*Pandanusa amarylifolius* Roxb.	Toey	Pandanus	Leaf

1.2 การเตรียมสมุนไพร/เครื่องเทศ โดยนำสมุนไพร/เครื่องเทศมาคัดแยกตำหนิ ปอกเปลือก ตัดแต่งล้างทำความสะอาดและสะเด็ดน้ำ โดยที่สมุนไพร/เครื่องเทศประเภทใบใช้เฉพาะส่วนใบ ถ้าเป็นประเภทหัว/เหง้า หรือประเภทลำต้นจะนำมาหั่นตามขวางโดยมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำสมุนไพร/เครื่องเทศมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส นาน 24-28 ชั่วโมง เพื่อให้สมุนไพร/เครื่องเทศมีความชื้น ร้อยละ 8-10 (ความชื้นของสมุนไพร/เครื่องเทศหลังจากการอบแสดงดัง Appendix Table 1) แล้วนำไปปั่นให้ละเอียด (ขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร) จากนั้นนำสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดที่ปั่นแล้ว 5 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) มาสกัดโดยใช้เอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำมากรองและบีบเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลว แล้วนำกากที่เหลือไปสกัดซ้ำอีก 2 ครั้งด้วยเอทานอลร้อยละ 95 นำส่วนใสหรือของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอล

ทั้งหมด และศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในระบบ DPPHของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิด

1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดในระบบ DPPH

1.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารสกัด ตามวิธีของ Ragazzi และ Veronese (1973) อ้างโดย Toda (2005)

นำสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศ จำนวน 1 มิลลิลิตร (ที่ทราบความเข้มข้นโดยคำนวณจากมิลลิกรัมของตัวอย่างต่อมิลลิลิตรของสารสกัด) แล้วผสมกับ Folin Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร หลังจากทิ้งไว้อุณหภูมิห้องนาน 3 นาที เติม Na_2CO_3 ความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้นาน 45 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ซึ่งใช้เอทานอลร้อยละ 95 แทนสารสกัดเป็นชุดควบคุม หาปริมาณ polyphenols ในสารสกัดโดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย gallic acid ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน (0.02, 0.04, 0.08, 0.1 และ 0.3 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

1.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ดัดแปลงจากวิธีของ Yen และ Hsieh (1997)

นำสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศ จำนวน 1 มิลลิลิตร (ที่ทราบความเข้มข้นโดยคำนวณจากมิลลิกรัมของตัวอย่างต่อมิลลิลิตรของสารสกัด) แล้วเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงไปผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลร้อยละ 95 แทนสารสกัดเป็นชุดควบคุม นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดักจับอนุมูลอิสระ DPPH จากสูตร

$$\% \text{ scavenging} = [(A_{control} - A_{sample})/A_{control}] \times 100$$

โดยที่ A_{sample} = ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ทดสอบ

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

จากนั้นคำนวณหาค่า IC_{50} (ความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้ ร้อยละ 50) จากกราฟระหว่าง % scavenging กับความเข้มข้นของสารสกัด

1.4 ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส โดยนำสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดมาให้ความร้อนในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิที่ 175±2 องศาเซลเซียส นาน 20

นาที แล้วนำสารสกัดที่ผ่านการให้ความร้อนมาศึกษาสมบัติในการต้านออกซิเดชันดังที่ระบุในข้อ 1.3 (วิธีการให้ความร้อนแก่สารสกัดแสดงดัง Appendix figure 2)

1.5 ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 11) ในการวางแผนแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT เพื่อคัดเลือกชนิดสมุนไพร/เครื่องเทศจากประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันเมื่อให้ความร้อน โดยชนิดสมุนไพร/เครื่องเทศอย่างน้อย 4 ชนิด เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในน้ำมันทอด

2.1 นำสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 ที่ผ่านการระเหยเอทานอลด้วยเครื่องระเหย (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ตามวิธีการดังแสดงใน Appendix figure 3) มาเติมในน้ำมันปาล์มยี่ห้อ A® โดยใช้สารสกัดความเข้มข้น 150, 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน (โดยคำนวณจากปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในสารสกัดซึ่งแสดงดัง Appendix Table 2) และคนด้วยเครื่อง Magnetic stirrer เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้สารสกัดละลายและกระจายตัวในน้ำมันได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นให้ความร้อนน้ำมันในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 175±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที เปรียบเทียบกับการใช้ BHT ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมสารสกัดเป็นชุดควบคุม เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังจากผ่านการให้ความร้อนไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมงเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

2.2 สุ่มตัวอย่างน้ำมันเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน โดยวิเคราะห์ค่ากรด (Free fatty acid), ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value), TBARS, ค่าสี และความหนืด

2.2.1 การหาค่ากรด (Free fatty acid) (AOAC, 1999)

ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายเอทานอลที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที คำนวณร้อยละของกรดไขมันอิสระในรูปของ oleic acid จากสูตร

$$\%FFA\ (oleic\ acid) = \frac{V \times N \times 28.2}{W}$$

V = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

2.2.2 การวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) (Paquot, 1979)

ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายอะซิติก-คลอโรฟอร์ม (3:2) 25 มิลลิลิตร เขย่าให้ตัวอย่างละลาย เติมสารละลายอิ่มตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่านาน 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล พร้อมเขย่าอย่างแรงจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 0.5 มิลลิลิตร ไตเตรทต่อไปจนสีน้ำเงินหมดไป (เตรียมและไตเตรท blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง) คำนวณค่าเพอร์ออกไซด์จากสูตร

$$\text{ค่าเพอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัม)} = \frac{(a-b) \times N \times 1000}{W}$$

a = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

b = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

2.2.3 ค่า TBARS ตามวิธีของ Buege และ Aust (1978) อ้างโดย Tee และคณะ (2002)

ใช้ตัวอย่างน้ำมันประมาณ 0.5 กรัม ในสารละลาย TBA ปริมาณ 4 มิลลิลิตร ต้มสารละลายผสมในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นแล้วเหวี่ยงแยกสารละลายที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร คำนวณปริมาณ TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances) ในรูปของ malonaldehyde โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (0, 0.1, 0.5, 1.0, 2, 4 และ 6 μg/ml) โดยรายงานค่า TBARS เป็น mg malonaldehyde/kg oil

2.2.4 ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab และคำนวณความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE) จากสูตร

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$$

โดยที่ $\Delta L = L1 - L2$

$\Delta a = a1 - a2$

$\Delta b = b1 - b2$

L1, a1, b1 คือ ค่า L*, a*, b* ของ sample1

L2, a2, b2 คือ ค่า L*, a*, b* ของ sample 2

ΔE คือ ค่าความต่างของสีโดยรวมระหว่าง 2 ตัวอย่าง

2.2.5 ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer (Spindle NO.1)

2.3 ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม SPSS (version 11) ในการวางแผนแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT เพื่อคัดเลือกชนิดสมุนไพร/เครื่องเทศอย่างน้อย 2 ชนิดจากสมบัติการต้านออกซิเดชันในน้ำมันทอดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศผสมในน้ำมันทอด

3.1 นำสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 มาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 มาเติมลงในน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการเติมสารต้านออกซิเดชัน แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175±2 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันที่เติม BHT ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้น้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการเติมสารต้านออกซิเดชันเป็นตัวควบคุม

3.2 สุ่มตัวอย่างน้ำมันเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน ตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 2.2.1-2.2.5

3.3 ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 11) ในการวางแผนแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT เพื่อคัดเลือกระดับความเข้มข้นของสารสกัด และเวลาที่ใช้ต่อความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศ

4. การประยุกต์ใช้สารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันสำหรับผลิตภัณฑ์ไก่ทอด

4.1 นำปีกไก่บนแช่แข็งไปทำละลายด้วยการแช่ในน้ำประปานาน 3 ชั่วโมง จนจุดกึ่งกลางของตัวอย่างมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0-4 องศาเซลเซียส และหมักด้วยเครื่องปรุงจากร้านค้าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และทอดในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการเติมสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 และ 3 (ทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมในอัตราส่วน 1:1) ที่อุณหภูมิ 175±2 องศาเซลเซียส ในเวลาและความเข้มข้นที่คัดเลือกได้จากข้อ 2

4.2 สุ่มตัวอย่างน้ำมันเมื่อใช้ทอดไก่แล้ว 1, 2, 3 และ 4 รอบ โดยหลังจากการทอดในแต่ละรอบเก็บตัวอย่างน้ำมันไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน ตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 2.2.1-2.2.5

4.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมันทอด และไก่ทอดทางด้าน สี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบรวมหลังจากการทอดแต่ละครั้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

4.4 ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 11) ในการวางแผนแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย DMRT

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คัดเลือกชนิดของสมุนไพร/เครื่องเทศที่มีศักยภาพเป็นสารต้านออกซิเดชันที่อุณหภูมิในการการทอด (175 องศาเซลเซียส)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระบบ DPPH (Table 5) พบว่าสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการทนความร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ใบกะเพรา (Basil) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดลดลง ($p<0.05$) หลังจากผ่านการให้ความร้อน

2. ใบโหระพา (Sweet basil) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) แต่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อน

3. ใบมะกรูด (Kaffir lime leave) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดลดลง ($p<0.05$) หลังจากให้ความร้อน

4. กระเทียม (Garlic) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดลดลง ($p<0.05$) หลังจากให้ความร้อน

5. หอมแดง (Shallot) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) หลังจากให้ความร้อน

6. ขมิ้น (Turmeric) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) แต่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อน

7. ข่า (Galangal) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลงหลังจากให้ความร้อนแก่สารสกัด ($p<0.05$)

8. ตะไคร้ (Lemon grass) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดลดลง ($p<0.05$) หลังจากให้ความร้อน

9. ใบเตย (Pandanus) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดลดลง ($p<0.05$) หลังจากให้ความร้อน

การลดลงของสารประกอบฟีนอลิกเกิดในสารสกัดจากใบกะเพรา, ใบโหระพา, ใบมะกรูด ขมิ้น ข่า ตะไคร้ และใบเตย เมื่อนำไปผ่านการให้ความร้อนอาจเป็นผลเนื่องมาจากความร้อนเป็นตัวทำลายสารประกอบชีวภาพที่มีอยู่ในสมุนไพร/เครื่องเทศ อย่างเช่น Caffeic acid Kaempferol และ p-coumaric acid ซึ่งมีรายงานว่าพบในใบโหระพา ใบกะเพรา ข่า และใบเตย (Li *et al.,* 2007; Nor *et al.*, 2008; Samart, 2007) โดยที่ Liazid และคณะ (2007) พบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่ Caffeic acid, Kaempferol และ p-coumaric acid ที่อุณหภูมิ 50-175 องศาเซลเซียสด้วยไมโครเวฟ พบว่าสารประกอบดังกล่าวมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ Chen และคณะ (2004) ซึ่งศึกษาสารสกัดเข้มข้นจากรากของหญ้าเจ้าชู้ (Burdock) ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิแล้ววิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และปริมาณของ caffeic acid และ chlorogenic acid ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงหลังจากผ่านการให้ความร้อน ส่วนปริมาณของ caffeic acid ไม่มีความแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อน ($p>0.05$) แต่ chlorogenic acid มีปริมาณลดลง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิดังกล่าวสามารถสลายพันธะ (esterifies bond) ระหว่าง caffeic acid และ quinic acid ของ chlorogenic acid ส่งผลให้ chlorogenic acid มีปริมาณลดลง

ส่วนการที่หอมแดงมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นหลังการให้ความร้อนเป็นไปในลักษณะเดียวกับสารสกัดจากเม็ดมะม่วง จากการศึกษาของ Soong และ Barlow (2004) ที่พบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่สารสกัดจากเม็ดมะม่วงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทำให้สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นจาก 50.3 เป็น 160 mg/g GAE และเมื่อให้ความร้อนที่ระดับเพิ่มขึ้นคือ 180 และ 200 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าเล็กน้อยคือ 149 และ 103 mg/g GAE ตามลำดับ ส่วน Choi และคณะ (2006) ได้อธิบายว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกอิสระ (Free phenolic compound) และสารประกอบฟลาโวนอยด์ของสารสกัดหยาบจากเห็ดหอม (Shiitake mushroom) ที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณสูงกว่าสารสกัดหยาบจากเห็ดหอมที่ยังไม่ผ่านการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากสารประกอบฟีนอลิกที่เชื่อมต่ออยู่กับ สารประกอบอื่น (Bound phenolic compound) เกิดการแตกออกเนื่องจากความร้อนเกิดเป็นสารประกอบฟีนอลิกอิสระ สอดคล้องกับการทดลองของ Guihau และคณะ (2007) พบว่าหลังจากให้ความร้อนแก่สารสกัดจากเปลือกมะนาว (Huyou peel extract) ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกอิสระ เช่น benzoic acid และ cinnamic acid แต่ส่งผลให้ chlorogenic acid ซึ่งเป็น ester ของ caffeic และ quinic acid มีค่าลดลง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเกิดจากการสลายพันธะ (esterified bond) เนื่องจากความ

ร้อนมีผลให้สารประกอบฟีนอลิกที่เชื่อมต่ออยู่กับสารประกอบอื่น (อย่างเช่น โมโน-, ได- หรือโพลีแซคคาไรด์) อาจเกิดจากการถูกทำลายด้วยความร้อนกลายเป็นสารประกอบฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศทั้ง 9 ชนิด (Table 5) พบว่าการให้ความร้อนแก่สมุนไพร/เครื่องเทศทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลง ไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจจะเพิ่มขึ้นซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสมุนไพร/เครื่องเทศ ทั้งนี้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นปริมาณของสารประกอบที่ให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน, อุณหภูมิ และค่า pH ของกระบวนการผลิต และสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาของสมุนไพร/เครื่องเทศชนิดนั้นๆ (Gazzani *et al.,* 1998) จากผลการทดลองเมื่อให้ความร้อนแก่สารสกัดจากใบกะเพรา, กระเทียม, ข่า, ตะไคร้ และใบเตย พบว่ามีความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลงทั้งนี้อาจมีผลมาจากสารออกฤทธิ์ที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันถูกทำลายหรือโปรออกซิแดนซ์ถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Arabshahi และคณะ (2007) ที่พบว่าการให้ความร้อนแก่สารสกัดจาก Drumstick leaves (*Moringa oleifera*) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ส่งผลให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลง อาจเนื่องมาจากความร้อนทำลายสารที่ทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันในสารสกัดจาก Drumstick leaves หรือความร้อนอาจทำให้เกิดสารใหม่ที่ทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์ ซึ่ง Siddhuraju และ Becker (2003) สรุปว่าสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญใน drumstick leaves คือสารประกอบฟลาโวนอยด์ชนิด quercetin และ kaempferol ซึ่งสารประกอบดังกล่าวอาจทำหน้าที่ได้ทั้งการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (radicals scavenging หรือ metal chelating) หรือเป็นโปรออกซิแดนซ์เมื่อมี Cu^{2+} อยู่ในระบบ และขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของสารประกอบดังกล่าว

Table 5. Effect of heat treatment on total phenolic contents and DPPH radical scavenging activity (IC_{50}) of 9 herb/spice extracts

Herbs/spices extract	Total phenolic content, [X] (g gallic acid/100g dry weight sample)		DPPH radical scavenging activity (IC_{50}), [Y] (mg dry weight sample/ml)	
	non-heated	Heated	non-heated	heated
Basil	1.43±0.17DE,b	0.55±0.05B,a	1.62±0.16B,a	3.07±0.12B,b
Sweet basil	1.49±0.13E,b	0.44±0.06B,a	3.70±0.30D,a	3.40±0.17B,a
Kaffir lime leave	1.30±0.10D,b	0.54±0.04B,a	6.92±0.88E,b	5.17±0.29C,a
Garlic	0.10±0.05A,a	0.09±0.00A,a	13.33±0.58G,a	25.00±1.73F,b
Shallot	0.46±0.02B,a	1.43±0.03D,b	9.23±0.40F,b	2.43±0.06B,a
Turmeric	5.03±0.13G,b	4.53±0.15E,a	0.16±0.04A,a	0.15±0.01A,a
Galangal	1.78±0.04F,b	0.44±0.03B,a	3.67±0.42D,a	9.77±0.25E,b
Lemon grass	0.99±0.05C,b	0.53±0.03B,a	3.97±0.06D,a	7.23±0.25D,b
Pandanus	1.79±0.01F,b	0.80±0.05C,a	2.30±0.26C,a	3.20±0.26B,b

[X], Phenolic content is expressed as gallic acid equivalents (g GAE/100g dried weight)

[Y], IC_{50} is the concentration of the extracts to quench 50% DPPH under the chosen experimental conditions

A-G, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-b , Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

อย่างไรก็ตามเมื่อให้ความร้อนแก่สารสกัดจากใบมะกรูด และหอมแดงพบว่ามีความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Choi และคณะ (2006) ซึ่งพบว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) ของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ของสารสกัดหยาบจากเห็ดหอม (Shiitake mushroom) ทั้งในรูป free และ bound form ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดหยาบจากเห็ดหอมก่อนการให้ความร้อน ซึ่งอธิบายได้ว่าความร้อนเป็นสาเหตุที่ทำให้สารที่ทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันในเห็ดมีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกอิสระ ที่สามารถทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันระหว่างการให้ความร้อน นอกจากนั้น Arabshahi และคณะ (2007) ซึ่งพบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาทีแก่สารสกัดจาก Mint leaves (*Mentha spicata*) และ Carrot tuber (*Daucus carota*) ทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองอธิบายได้ว่าความร้อนเป็นตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารประกอบที่ให้ความสามารถในการต้าน (Nicoli *et al.,* 1999) นอกจากนี้ Talcott และ Howard (1999) กล่าวว่าการที่ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากแครอทมีค่าเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ phenolic acid นอกจากนี้ Ahajji และคณะ (2009) พบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่สารสกัดจาก beech wood และ spruce wood ที่อุณหภูมิ 210, 225 และ 250 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระบบ DPPH เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากสารประกอบลิกนินที่มีอยู่ในไม้ทั้ง 2 ชนิด (beech wood ประกอบด้วยลิกนินร้อยละ 22.2 และ spruce wood ร้อยละ 28.2) เกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบฟีนอลิกเชิงเดี่ยว เช่น p-Coumaric และ ferulic acids หลังจากได้รับความร้อน (Jung and Fahey, 1983) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระบบ DPPH ของไม้ทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ผลการทดลองในครั้งนี้สังเกตได้ว่าสารสกัดจากใบโหระพาและขมิ้นที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกลดลง แต่กลับมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังให้ความร้อน ทั้งนี้อาจอธิบายด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น หลังจากที่ให้ความร้อนแก่สารสกัดอาจจะมีสารประกอบชนิดใหม่เกิดขึ้นซึ่งสามารถทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชัน (Dewanto *et al.,* 2002; Kim *et al.,* 2000) หรือการให้ความร้อนแม้เกิดการทำลายสารประกอบฟีนอลิกไปบางส่วนแต่ความร้อนก็มีผลให้มีการทำลายเอนไซม์ที่มีผลต่อการเหนี่ยวนำการเกิดสารโปรออกซิแดนซ์ (Gazzani *et al.,* 1998) และการให้ความร้อนอาจส่งผลต่อ

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการกำหนดสมบัติการต้านออกซิเดชัน (Juntachote *et al.,* 2007)

เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศทั้ง 9 ชนิด พบว่าขมิ้นมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงสุด เนื่องจากในสารสกัดจากขมิ้นประกอบด้วยสารประกอบเคอร์คิวมินอยด์ (curcuminoid) ซึ่งเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีมากที่สุดในขมิ้น สารประกอบชนิดนี้มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ (Pulla Reddy and Lokesh, 1992) และมีความสามารถในการทนต่อความร้อน (Maria Lúcia *et al.,* 2002) ด้วยเหตุนี้อาจกล่าวได้ว่าอาหารที่มีขมิ้นเป็นองค์ประกอบสามารถส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคเนื่องจากมีทั้งปริมาณและความสามารถในการต้านออกซิเดชันหลังจากผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง

นอกจากนั้นพบว่ากระเทียมมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมุนไพร/เครื่องเทศทั้ง 9 ชนิด อาจเนื่องมาจากสารประกอบหลักที่มีอยู่ในกระเทียมคือสารประกอบประเภท organosulfer (Shahidul *et al.*, 2008) ซึ่งเป็นสารที่ระเหยง่ายและไม่ทนความร้อน

อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ของการทดลองในครั้งนี้คือการคัดเลือกชนิดของสมุนไพร/เครื่องที่มีความสามารถในการทนความร้อนที่อุณหภูมิการทอด (175 องศาเซลเซียส) โดยพิจารณาจากปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระบบ DPPH ซึ่งสามารถเรียงลำดับความสามารถในการทนความร้อน ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาจากปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ขมิ้น>หอมแดง>ใบเตย>ใบกะเพรา=ใบโหระพา=ใบมะกรูด=ข่า=ตะไคร้>กระเทียม
2. เมื่อพิจารณาจากความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระบบ DPPH พบว่า ขมิ้น>ใบกะเพรา=ใบโหระพา=หอมแดง=ใบเตย>ใบมะกรูด>ตะไคร้>ข่า>กระเทียม

ดังนั้นจึงคัดเลือกสารสกัดจากขมิ้น, หอมแดง, ใบกะเพรา, ใบโหระพา และใบเตย อย่างไรก็ตามพบว่าสารสกัดจากใบโหระพาหลังจากการให้ความร้อนมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันกับสารสกัดจากใบกะเพรา ($p \geq 0.05$) ในขณะที่สารสกัดจากใบโหระพาก่อนการให้ความร้อนมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันน้อยกว่าสารสกัดจากใบกะเพรา, ขมิ้น และใบเตย ($p < 0.05$) และมีค่าไม่แตกต่างกันกับสารสกัดจากข่าและตะไคร้ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศ 4 ชนิด คือ ขมิ้น, หอมแดง, ใบกะเพรา และใบเตยเพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในน้ำมันทอด

2. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในน้ำมันทอด

เมื่อทำการคัดเลือกสมุนไพร/เครื่องเทศจาก 9 ชนิด โดยพิจารณาจากความสามารถในการต้านออกซิเดชันและปริมาณโพลีฟีนอลิกทั้งหมดเพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มพบว่าสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศที่มีคุณสมบัติที่ผ่านการคัดเลือก คือ ขมิ้น .ใบกะเพรา ใบเตย และ หอมแดง โดยเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศที่คัดเลือกได้กับน้ำมันปาล์มที่เติมสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ (ในการทดลองนี้ใช้ BHT 150 ส่วนในล้านส่วน) โดยใช้น้ำมันปาล์มทางการค้าที่โดยทั่วไปอาจมีการเติมสารต้านออกซิเดชันบางชนิดในกระบวนการผลิต (ข้อมูลจากการสอบถามส่วนตัว) เป็นตัวควบคุม ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้สารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศ 3 ความเข้มข้นคือ 150, 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน และให้ความร้อนน้ำมันที่อุณหภูมิ 175$\pm$2 องศาเซลเซียส นาน 10, 20 และ 30 นาที วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน โดยการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์, ร้อยละของกรดไขมันอิสระ, TBARS, ค่าความหนืด และสีของน้ำมัน (L*, a*, b*) สำหรับคุณภาพเริ่มต้นของน้ำมันปาล์มดังแสดงใน Table 6

Table 6. Characteristics of initial palm oil before heating

Parameter	mean$\pm$sd.
POV (meq of peroxide/kg of oil)	0.83±0.05
FFA (% as oleic acid)	0.09±0.01
TBARS (mg malonaldehyde/kg of oil)	1.37±0.24
Viscosity (cp)	80.60±0.00
L* (lightness value)	99.67±0.04
a* (redness value)	-7.21±0.01
b* (yellowness value)	43.94±0.04

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระ

น้ำมันเริ่มต้นก่อนการให้ความร้อนมีร้อยละของกรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอลิอิกเท่ากับ 0.09±0.01 (Table 6) และเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่า ร้อยละของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น (10-30 นาที) แสดงดัง Table 7 นอกจากนั้นยังพบว่าร้อยละของกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มลดลงเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น สำหรับ

น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบเตยเพิ่มขึ้นเป็น 1000 ส่วนในล้านส่วนกลับพบว่าร้อยละของกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lee และคณะ (2002) พบว่าการเติม Spinach (*Spinacia oleracea*) powder ลงในน้ำมันถั่วเหลืองในปริมาณที่สูงขึ้น (ร้อยละ 0, 5, 15 และ 25) ทำให้น้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่ากรดไขมันอิสระสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ triacylglycerols โดยมีสาเหตุจาก thermostable phospholipase หรือ galactolipase ที่มีอยู่ใน spinach powder นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมลงไปพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยส่งผลให้ร้อยละของกรดไขมันอิสระมีค่าสูงกว่าน้ำมันที่เติม BHT ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากน้ำที่หลงเหลืออยู่ในสารสกัดส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระมีค่าสูงเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนาน 10-20 นาที แต่เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้น (30 นาที) จะเห็นได้ว่าร้อยละของกรดไขมันอิสระมีค่าลดลงซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ในน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบกะเพรา พบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้น (10-30 นาที) มีผลให้ร้อยละของกรดไขมันอิสระมีค่าลดลง (Table 7) ซึ่งให้ผลเป็นไปในทางเดียวกันกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการหลงเหลืออยู่ของเอทานอลที่ใช้ในการสกัด ส่งผลให้ร้อยละของกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ให้ความร้อนนาน 10 นาที มีค่าสูงกว่าน้ำมันที่ให้ความร้อนนาน 20 และ 30 นาที

จากผลการทดลองใน Table 7 พบว่าในการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 30 นาทีมีผลให้ค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน, เติม BHT และสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วนไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากขมิ้นเป็น 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วนพบว่าร้อยละของค่ากรดไขมันอิสระลดลงเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้น จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นในทุกความเข้มข้น (150, 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน) มีค่ากรดไขมันอิสระน้อยกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน แสดงว่าสารสกัดจากขมิ้นสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระได้ดีกว่า BHT ซึ่ง Iqbal และ Bhanger (2007) พบว่าสารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน สามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 80 นาที และเก็บรักษานาน 24 วันได้ดีกว่าการเติมสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ (BHA และ BHT)

การเติมสารสกัดจากหอมแดงที่ความเข้มข้น 150 และ 1000 ส่วนในล้านส่วนในน้ำมัน ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระเช่นเดียวกันกับการไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและการเติม BHT (Table 7) ส่วนการเติมสารสกัดจากหอมแดงที่ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของกรดไขมันอิสระลดลงเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารต้านออกซิเดชันพบว่าการให้ความร้อนนาน 10 และ 30 นาที น้ำมันที่เติม BHT และสารสกัดจากหอมแดงในทุกความเข้มข้นมีร้อยละของกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

Table 7. Effect of heat treatment on free fatty acid value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts

Treatment		Free fatty acid value (%)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	0.13±0.00A,a	0.13±0.01A,a	0.13±0.01AB,a
BHT	150	0.14±0.01AB,a	0.14±0.01A,a	0.14±0.01BC,a
	150	0.21±0.02C,b	0.18±0.01B,b	0.11±0.00A,a
Pandanus	500	0.21±0.02C,b	0.20±0.01BC,b	0.15±0.02C,a
	1000	0.16±0.01B,a	0.20±0.01C,b	0.21±0.01D,b
Control	-	0.13±0.00A,a	0.13±0.01BC,a	0.13±0.01A,a
BHT	150	0.14±0.01A,a	0.14±0.01C,a	0.14±0.01AB,a
	150	0.19±0.01B,c	0.11±0.01A,a	0.14±0.01AB,b
Basil	500	0.19±0.01BC,b	0.12±0.01AB,a	0.13±0.01A,a
	1000	0.21±0.01C,b	0.15±0.01D,a	0.15±0.01B,a
Control	-	0.13±0.00C,a	0.13±0.01C,a	0.13±0.01B,a
BHT	150	0.14±0.01C,a	0.14±0.01C,a	0.14±0.01B,a
	150	0.08±0.02A,a	0.08±0.01B,a	0.07±0.01A,a
Turmeric	500	0.10±0.02B,b	0.07±0.01AB,a	0.07±0.01A,a
	1000	0.10±0.00B,b	0.07±0.01A,a	0.06±0.01A,a
Control	-	0.13±0.00A,a	0.13±0.01A,a	0.13±0.01A,a
BHT	150	0.14±0.01AB,a	0.14±0.01A,a	0.14±0.01AB,a
	150	0.13±0.02A,a	0.13±0.01A,a	0.13±0.02AB,a
Shallot	500	0.13±0.01A,a	0.15±0.01B,b	0.15±0.00B,b
	1000	0.16±0.01B,a	0.15±0.01B,a	0.15±0.01AB,a

A-C, Means within a column of each extract with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์

น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย และใบกะเพราเมื่อผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลาต่างๆ มีค่าเพอร์ออกไซด์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ แสดงดัง Table 8 โดยเฉพาะน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบกะเพราและให้ความร้อนเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ทั้งนี้

อาจเนื่องมาจากสารประกอบคลอโรฟิลด์ที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพรา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Endo และคณะ (1985) ที่สรุปว่าสารประกอบคลอโรฟิลด์เมื่อทำปฏิกิริยากับแสงจะสามารถเปลี่ยนเป็น singlet-excited chlorophyll และเมื่อรวมตัวกับออกซิเจนสามารถทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ Hydroperoxide เช่นเดียวกับ Wanasundara และ Shahidi (1998) ซึ่งรายงานว่าสารประกอบคลอโรฟิลด์ที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบชาสามารถทำหน้าที่เป็นตัวโปรออกซิแดนซ์ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของ marine oils นอกจากนี้ Gupta และ Srivastava (2002) ระบุว่าธาตุสังกะสี (zinc), แมงกานีส (Manganese) และโซเดียม (sodium) ที่พบในสารสกัดจากใบกะเพราสามารถทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดจากใบกะเพราที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน สามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้น 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารสกัดจากใบกะเพราที่มากเกินไปอาจทำหน้าที่เป็น โปรออกซิแดนซ์มากกว่าการเป็นแอนติออกซิแดนซ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง Nor และคณะ (2009) พบว่าการเติมสารสกัดจากใบขมิ้นปริมาณร้อยละ 0.1 สามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าการเติมสารสกัดจากใบขมิ้นร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 เมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้น (0-32 ชั่วโมง)

จาก Table 8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ให้ความร้อนนาน 30 นาที พบว่าการเติมสารสกัดจากขมิ้นในน้ำมันส่งผลให้มีค่าเพอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ให้ความร้อนที่ 10 และ 20 นาที ในทุกชุดการทดลอง ยกเว้นน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วนและให้ความร้อนนาน 20 นาที มีการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างกันกับการให้ความร้อนนาน 30 นาที ($p\geq0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Du และ Li (2008) ที่พบว่าเมื่อใช้เวลาในการทอดเนื้อวัวในน้ำมัน rapeseed เพิ่มขึ้นจาก 1 นาที เป็น 3 นาที ทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจาก Hydroperoxide ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวเปลี่ยนเป็นสารประกอบชนิดอื่นส่งผลให้มีค่าเพอร์ออกไซด์ลดลง

การเติมสารสกัดจากหอมแดงลงในน้ำมันแล้วให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้น (10-30 นาที) ส่งผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและการเติม BHT (Table 8) ซึ่งมีสาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนั้นยังพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น (150-1000 ส่วนในล้านส่วน) ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ อาจเนื่องมาจากการเกิดขึ้นของสารออกฤทธิ์ตัวใหม่และการ

ทำลายสารออกฤทธิ์อาจเกิดขึ้นในอัตราส่วนที่สมดุลกันส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลง

Table 8. Effect of heat treatment on peroxide value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts

Treatment		Peroxide value (meq of peroxide/kg of oil)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	5.18±0.06A,b	4.88±0.26A,b	3.65±0.33B,a
BHT	150	4.44±0.38A,b	4.81±0.16A,b	3.09±0.19B,a
	150	6.50±0.29B,c	5.08±0.08A,b	1.65±0.35A,a
Pandanus	500	6.96±0.05B,c	6.04±0.07B,b	1.57±0.52A,a
	1000	5.13±0.82A,b	5.76±0.39B,c	1.98±0.38A,a
Control	-	5.18±0.06B,b	4.88±0.26A,b	3.65±0.33B,a
BHT	150	4.44±0.38A,b	4.81±0.16A,b	3.09±0.19A,a
Basil	150	5.68±0.49BC,b	6.07±0.29B,b	4.36±0.08C,a
	500	5.83±0.18CD,b	6.13±0.0B,b	4.13±0.19C,a
	1000	6.32±0.36D,b	5.88±0.39B,b	4.15±0.37C,a
Control	-	5.18±0.06C,b	4.88±0.26B,b	3.65±0.33C,a
BHT	150	4.44±0.38B,b	4.81±0.16B,b	3.09±0.19C,a
	150	2.71±0.23A,b	2.71±0.37A,b	1.01±0.27A,a
Turmeric	500	5.63±0.2C,b	2.50±0.34A,a	2.02±0.19B,a
	1000	6.35±0.42D,c	2.63±0.01A,b	1.70±0.53B,a
Control	-	5.18±0.06C,b	4.88±0.26B,b	3.65±0.33C,a
BHT	150	4.44±0.38AB,b	4.81±0.16B,b	3.09±0.19B,a
	150	4.72±0.25B,c	3.86±0.36A,b	3.09±0.22B,a
Shallot	500	4.16±0.14A,c	3.48±0.09A,b	3.13±0.13B,a
	1000	4.52±0.16AB,bc	3.62±0.04A,b	2.61±0.05A,a

A-C, Means within a column of each extract with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS

จากการวิเคราะห์ค่า TBARS ของน้ำมันพบว่าน้ำมันทุกชุดการทดลองหลังจากผ่านการให้ความร้อนมีค่า TBARS มากกว่าน้ำมันเริ่มต้น (Table 9) โดยน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีค่า TBARS ที่ไม่แตกต่างกันเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที ส่วนน้ำมันที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน มีค่า TBARS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 20 นาที และมีแนวโน้มลดลงเมื่อให้ความร้อนนาน 30 นาที

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสกัดจากใบเตยที่ใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS (Table 9) พบว่าสารสกัดมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำ แต่เมื่อใช้สารสกัดที่ความเข้มข้นสูงขึ้นสารประกอบเหล่านั้นอาจทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์ทำให้ TBARS มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Zuta และคณะ (2007) ซึ่งพบว่าการเติม α-tocopherol ที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ส่วนในล้านส่วน สามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ของน้ำมันปลาแมคเคอเรล (mackerel oil) ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 250 และ 500 ส่วนในล้านส่วน ($p<0.05$) โดยการเก็บรักษาน้ำมันเป็นระยะเวลา 0-66 วัน นอกจากนี้ Zuta และคณะ(2007) ยังพบว่าการใช้ α-tocopherol ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (250 และ 500 ส่วนในล้านส่วน) เป็นเหตุให้มีปริมาณของ Tocopheroxy radical อยู่มากกว่า ซึ่งสารชนิดนี้สามารถทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์ในปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันได้ โดย Carlson และคณะ (1976) กล่าวว่าสาร α-tocopherol hydroperoxides ที่ประกอบอยู่ใน α-tocopherol สามารถทำปฏิกิริยากับ $^1O_2$ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์ได้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (PUFA)

น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบกะเพราที่ความเข้มข้น 150 และ 500 ส่วนในล้านส่วน ส่งผลให้ค่า TBARS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น (Table 9) การให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นอาจส่งผลให้เกิดการสลาย/ทำลายสารออกฤทธิ์ส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลง ค่า TBARS จึงเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดจากใบกะเพราที่ความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้ค่า TBARS เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากสารสกัดที่ความเข้มข้นสูงขึ้นสารประกอบจำพวก α-tocopherol (Carlson *et al.,* 1976), β-carotene (Palozza *et al.,* 1995) และ chlorophyll (Wanasundara and Shahidi, 1998) อาจทำหน้าที่เป็นสารโปรออกซิแดนซ์ทำให้ TBARS มีค่าเพิ่มขึ้น

การให้ความร้อนพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นมีค่า TBARS ลดลงเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ซึ่งให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทางเดียวกันกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย (Table 9) แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า

TBARS พบว่าสารสกัดขมิ้นสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำ แต่เมื่อใช้สารสกัดที่ความเข้มข้นสูงขึ้นสารประกอบดังที่กล่าวมาแล้วอาจทำหน้าที่เป็นสารโปรออกซิแดนซ์ทำให้TBARS มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย และใบกะเพรา

การเติมสารสกัดจากหอมแดงที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน เมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ค่า TBARS เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Table 9) แต่การเติมที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นคือ 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการเกิดขึ้นของสารออกฤทธิ์ตัวใหม่และการทำลายสารออกฤทธิ์อาจเกิดขึ้นในอัตราส่วนที่สมดุลกันส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสกัดพบว่าให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย ใบกะเพรา และขมิ้น คือมีความสามารถในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำๆ แต่เมื่อเติมที่ความเข้มข้นสูงขึ้นสารประกอบดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้นอาจทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์

Table 9. Effect of heat treatment on TBARS value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts

Treatment		TBARS (mg of malonaldehyde/kg of oil)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	5.18±0.63A,a	6.04±0.42A,a	6.29±0.61C,a
BHT	150	6.62±0.3A,a	7.85±0.69BC,b	6.23±0.62C,a
	150	14.14±0.13B,c	9.37±1.26C,b	1.42±0.23A,a
Pandanus	500	12.18±1.89B,c	6.72±0.71AB,b	2.55±0.39B,a
	1000	21.51±0.42C,c	17.69±1.25D,b	2.73±0.73B,a
Control	-	5.18±0.63A,a	6.04±0.42A,a	6.29±0.61A,a
BHT	150	6.62±0.3AB,a	7.85±0.69B,b	6.23±0.62A,a
Basil	150	7.59±0.34B,b	6.84±0.56AB,a	10.71±0.25B,c
	500	12.66±0.98C,b	10.54±0.45C,a	13.50±0.58C,b
	1000	16.01±1.63D,b	13.63±0.77D,a	12.20±0.95D,a
Control	-	5.18±0.63A,a	6.04±0.42A,a	6.29±0.61B,a
BHT	150	6.62±0.3AB,a	7.85±0.69BC,b	6.23±0.62B,a
	150	8.13±1.70BC,b	6.46±0.47A,b	2.34±0.20A,a
Turmeric	500	9.09±0.07C,c	7.42±0.18C,b	2.80±0.12A,a
	1000	9.58±0.90C,c	8.46±0.3B,b	2.81±0.59A,a
Control	-	5.18±0.63AB,a	6.04±0.42A,a	6.29±0.61A,a
BHT	150	6.62±0.3BC,a	7.85±0.69A,b	6.23±0.62A,a
	150	4.42±1.20A,a	7.16±2.09A,ab	8.64±0.9B,b
Shallot	500	5.32±0.67C,a	5.41±1.60A,a	5.41±1.00A,a
	1000	7.79±0.777AB,a	6.19±0.29A,a	7.37±2.14AB,a

A-D, Means within a column of each extract with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด

ผลการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อค่าความหนืด (cp) ของน้ำมันปาล์มซึ่งให้ความร้อนที่ระยะเวลาต่างๆ กัน พบว่าโดยทั่วไปเมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น (Table 10) ซึ่ง Tan และคณะ (1985) กล่าวว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน

พอลิเมอร์ไรเซชัน และการเปลี่ยนแปลงสารประกอบต่างๆ หลังจากให้ความร้อนแก่น้ำมันสามารถทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดน้อยกว่าระยะเวลาการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมลงไปในน้ำมันพบว่าการเติมสารสกัดจากใบเตยส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดมากกว่าการเติม BHT ในทุกระยะเวลาการให้ความร้อนและทุกความเข้มข้นของสารสกัด (Table 10) ซึ่งค่าความหนืดดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับร้อยละของกรดไขมันอิสระ, ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า TBARS ดังที่ได้แสดงไว้ใน Table 7, 8 และ 9 ตามลำดับ โดยพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยมีค่าดังกล่าวมากกว่าน้ำมันที่เติม BHT แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนาน 30 นาที ส่งผลให้สารสกัดจากใบเตยมีความสามารถในการต้านการเพิ่มขึ้นของร้อยละของกรดไขมันอิสระ, ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า TBARS ได้ดีกว่า BHT อาจเนื่องมาจากสารสกัดจากใบเตยมีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้ดีกว่า

เมื่อพิจารณาจาก Table 10 พบว่าโดยส่วนใหญ่น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบกะเพราสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดได้ดีกว่าการเติม BHT ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bensmira และคณะ (2007) ที่พบว่าการเติมสารสกัดจาก Lavender และ Thyme ร้อยละ 3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ก่อนการให้ความร้อนแก่น้ำมันสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดของน้ำมันหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น (25-200 องศาเซลเซียส) ได้ดีกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสมุนไพร/เครื่องเทศดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ระหว่างน้ำมันที่เติม Lavender และ Thyme ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบใน Lavender และ Thyme สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ/หรือปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน แต่เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสกัดจากใบกะเพราพบว่าไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน

น้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดได้ดีกว่าการเติม BHT (Table 9) ซึ่งการเกิดขึ้นของค่าความหนืดดังกล่าวได้มีความสอดคล้องกับร้อยละของกรดไขมันอิสระ และค่าเพอร์ออกไซด์ ดัง Table 7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวได้ดีกว่า BHT โดย Berger (1984) รายงานว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในน้ำมัน นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของ polymeric material ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น (Jaswir

et al., 2005) สอดคล้องกับ Lawson (1995) กล่าวว่าความหนืดของน้ำมันทอดที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่เกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนแก่น้ำมัน

น้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงมีความหนืดต่ำที่สุดในทุกๆ ระยะเวลาการให้ความร้อน (10, 20 และ 30 นาที) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและที่เติม BHT (Table 10) แสดงให้เห็นว่าสารประกอบที่มีอยู่ในสารสกัดจากหอมแดงสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในน้ำมัน Gennaro และคณะ (2002) สรุปว่าสารประกอบ quercetin และ kaempferol ซึ่งเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีมากที่สุดในสารสกัดจากหัวหอมสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันได้ในอาหาร ดังนั้นสารประกอบดังกล่าวอาจทำหน้าที่ในการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของความหนืดในน้ำมัน

Table 10. Effect of heat treatment on viscosity value of palm oil added with BHT and herb/spice extracts

Treatment		Viscosity value (cp)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	87.67±0.06C,a	88.30±0.00B,b	89.17±0.06A,c
BHT	150	86.87±0.06B,b	86.50±0.00A,a	89.27±0.06B,c
	150	87.83±0.15D,a	88.70±0.10D,b	90.50±0.00D,c
Pandanus	500	88.70±0.00E,b	88.43±0.06C,a	90.03±0.06C,c
	1000	85.90±0.00A,a	91.30±0.10E,b	91.93±0.06E,c
Control	-	87.67±0.06D,a	88.30±0.00D,b	89.17±0.06GD,c
BHT	150	86.87±0.06C,b	86.50±0.00A,a	89.27±0.06D,c
	150	85.77±0.12A,a	86.57±0.06A,b	87.97±0.06B,c
Basil	500	86.67±0.12B,a	87.20±0.00C,b	89.03±0.12C,c
	1000	86.80±0.00BC,a	86.93±0.15B,a	87.23±0.12A,b
Control	-	87.67±0.06E,a	88.30±0.00D,b	89.17±0.06B,c
BHT	150	86.87±0.06D,b	86.50±0.00B,a	89.27±0.06C,c
	150	86.60±0.00C,b	86.33±0.06A,a	89.80±0.00E,c
Turmeric	500	84.93±0.06B,a	87.47±0.06C,b	89.50±0.00D,c
	1000	83.73±0.12A,a	86.57±0.06B,b	89.00±0.00A,c
Control	-	87.67±0.06E,a	88.30±0.00D,b	89.17±0.06D,c
BHT	150	86.87±0.06D,b	86.50±0.00C,a	89.27±0.06D,c
	150	84.17±0.06B,a	85.63±0.06B,c	85.23±0.06A,b
Shallot	500	83.90±0.10A,a	85.57±0.06B,b	85.73±0.06C,c
	1000	84.50±0.10C,a	84.53±0.06A,b	85.43±0.06B,c

A-E, Means within a column of each extract with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

เนื่องจากสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดก่อนการเติมลงไปในน้ำมันมีสีเริ่มต้นที่แตกต่างกัน (Figure 10) และเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสีของน้ำมันที่เติมสารสกัดเหล่านี้ ดังนั้นการวัดค่าสีเริ่มต้นของสารสกัดจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยสารสกัดจากใบเตยและกะเพรามีสีเขียวอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเป็นสีของสารประกอบคลอโรฟิลล์ ส่วนสารสกัดจากขมิ้นจะมีสีเหลือง-

ส้ม จากสีของสารประกอบเคอร์คิวมิน (curcumin) ที่มีอยู่มากในขมิ้น และจะเห็นได้ชัดว่าสารสกัดจากหอมแดงมีสีอ่อนที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดชนิดอื่น เนื่องมาจากสารประกอบหลักที่มีอยู่ในหอมแดงคือสารประกอบเคอร์ซิติน (quercetin) ซึ่งมีสีเหลือง และสามารถละลายได้ดีในเอทานอล จึงส่งผลให้สารสกัดมีสีอ่อน

a b c d

Figure 10. Color of selected herb/spice extracts (a = Pandanus, b = Basil, c = Turmeric, d = Shallot)

จากการวัดสีเริ่มต้นของสารสกัดแต่ละชนิดในระบบ CIE แสดงค่าสีในรูปของค่า L*, a*, b* (Table 11) พบว่าค่าสีของสารสกัดมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ($p<0.05$) โดยค่า L* ของสารสกัดจากหัวหอมมีค่ามากที่สุด ซึ่งหมายถึงสารสกัดมีความสว่างมากที่สุด รองลงมาคือสารสกัดจากขมิ้น, ใบเตย และกะเพรา ตามลำดับ โดยค่า L* ของสารสกัดจากใบเตยและกะเพรามีค่าน้อยมาก อาจเนื่องมาจากสารประกอบคลอโรฟิลล์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาค่า a* และ b* พบว่าสารสกัดจากขมิ้นมีความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองมากที่สุด เนื่องมาจากสารประกอบเคอร์คิวมินที่มีอยู่ในสารสกัด จากความแตกต่างกันของค่าสีของสารสกัดดังที่ได้กล่าวมาแล้วส่งผลให้สีในรูปของค่า L*, a* และ b* ของน้ำมันปาล์มหลังจากการเติมสารสกัดมีความแตกต่างกันอีกด้วย ดังนี้คือ

Table 11. Color of herb/spice extracts

Herbs/spices extract	**L***	**a***	**b***
Turmeric	38.83±0.18C	37.81±0.10C	66.25±0.26D
Shallot	65.21±0.09D	-7.53±0.03A	36.42±0.11C
Pandanus	1.20±0.22B	2.80±0.14B	1.16±0.22A
Basil	0.92±0.10A	2.81±0.31B	1.52±0.26B

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L*

ค่า L* ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสว่าง หรือความคล้ำของน้ำมัน มีค่าตั้งแต่ 100 (สีขาว) ถึง 0 (สีดำ) โดยน้ำมันเริ่มต้นก่อนการให้ความร้อนมีค่า L* เท่ากับ 99.67±0.04 (Table 6) หลังจากผ่านการให้ความร้อนพบว่าทุกชุดการทดลองมีค่า L* ลดลงเมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้น (Table 12) นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบเตยจาก 150 ส่วนในล้านส่วน เป็น 1000 ส่วนในล้านส่วน ทำให้ค่า L* ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ($p<0.05$) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในทางเดียวกันกันน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบกะเพรา จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีความเสื่อมเสียมากขึ้น โดยสีของน้ำมันที่เข้มขึ้นอาจเกิดจากการสารประกอบพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดการรวมตัวกันส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น (Tan *et al*.,1985) นอกจากนี้อาจเกิดเนื่องมาจากความร้อนเป็นสาเหตุของการหลุดออกของธาตุแมกนีเซียมที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างของสารประกอบคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพรา ส่งผลให้สารประกอบคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นสารประกอบฟีโอไฟตินซึ่งมีสีน้ำตาล (Chen and Chen, 1993) จึงส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นเช่นกัน

การเติมสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้น 150 และ 500 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า L* ที่แตกต่างกันกับน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและน้ำมันที่เติม BHT (Table 12) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นหรือน้ำมันมีความสว่างมากขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสารประกอบเคอร์คิวมินซึ่งในสารสกัดจากขมิ้นมีความสามารถในการละลายในน้ำมันมากขึ้นหลังจากผ่านการให้ความร้อนส่งผลให้น้ำมันมีค่าความสว่างมากขึ้น อย่างไรก็ตามน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน มีค่า L* ลดลงเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นอาจเนื่องมาจากปริมาณของสารสกัดที่มากเกินไปส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสกัดพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น เช่นเดียวกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย และใบกะเพรา

การให้ความร้อนที่ระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้น้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงในทุกความเข้มข้นมีค่า L* ลดลง (Table 12) และความเข้มข้นของสารสกัดที่สูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และยังเป็นที่น่าสังเกตอีกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงมีค่า L* ใกล้เคียงกับน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และน้ำมันที่เติม BHT ซึ่งเห็นได้ชัดจาก Appendix figure 1. ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสีของสารสกัดมีอิทธิพลต่อค่าความสว่างของน้ำมัน (Figure 10)

Table 12. Effect of heat treatment on lightness value (L*) of palm oil added with BHT and herb/spice extracts

Treatment		Lightness value (L*)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	98.32±0.01D,c	98.20±0.01D,b	98.12±0.01D,a
BHT	150	98.39±0.00E,c	98.37±0.01E,b	98.22±0.01E,a
	150	88.72±0.02C,c	86.56±0.03C,b	78.61±0.01C,a
Pandanus	500	73.22±0.01B,c	66.39±0.01B,b	63.04±0.02B,a
	1000	59.44±0.03A,c	41.47±0.01A,b	40.82±0.00A,a
Control	-	98.32±0.01D,c	98.20±0.01D,b	98.12±0.01D,a
BHT	150	98.39±0.00E,c	98.37±0.01E,b	98.22±0.01E,a
	150	82.63±0.01C,c	81.00±0.02C,b	77.05±0.0C,a
Basil	500	65.13±0.01B,c	65.05±0.00B,b	64.35±0.01B,a
	1000	49.06±0.00A,c	46.38±0.01A,b	26.06±0.04A,a
Control	-	98.32±0.01C,c	98.20±0.01D,b	98.12±0.01D,a
BHT	150	98.39±0.00C,c	98.37±0.01E,b	98.22±0.01E,a
	150	95.67±0.01B,a	95.74±0.01C,b	95.74±0.02C,b
Turmeric	500	93.54±0.3A,a	94.55±0.01B,c	93.95±0.00B,b
	1000	93.57±00.03A,c	93.52±0.00A,b	93.36±0.01A,a
Control	-	98.32±0.01D,c	98.20±0.01D,b	98.12±0.01D,a
BHT	150	98.39±0.00E,c	98.37±0.01E,b	98.22±0.01E,a
	150	97.38±0.00C,c	97.24±0.00C,b	96.54±0.00C,a
Shallot	500	97.30±0.00B,c	95.91±0.01B,b	94.73±0.01B,a
	1000	96.80±0.01A,c	95.03±0.01A,b	93.20±0.01A,a

A-E, Means within a column of each extract with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a*

ค่า a* เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นสีแดง (a>0) จนถึงความเป็นสีเขียว (a<0) ของน้ำมันปาล์ม ซึ่งค่า a* ของน้ำมันเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ -7.21±0.01 (Table 6) และหลังจากผ่านการให้

ความร้อนจะเห็นได้ว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและน้ำมันที่เติม BHT ค่า a* มีแนวโน้มลดลงเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น โดยมีพฤติกรรมที่ตรงกันข้ามกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยซึ่งพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยมีค่า a* เพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น (Table 13) จากผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบกะเพรา อาจเป็นไปได้ว่าสารประกอบคลอโรฟิลด์ถูกทำลายโดยความร้อนมากกว่าสารประกอบแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในใบเตยและกะเพรา (Lee *et al.,* 2004) จึงส่งผลให้น้ำมันมีค่าความเป็นสีเขียวลดลง นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสกัดจากใบเตย และใบกะเพรา (Table 13) ต่อค่า a* ของน้ำมันพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีค่า a* เปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีแดงมากขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดจากน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพราที่ความเข้มข้น 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน และให้ความร้อนนาน 30 นาที

การเติมสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้น 150 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน ส่งผลให้ค่า a* ของน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้น การเติมสารสกัดจากขมิ้นในทุกความเข้มข้นส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของค่า a* น้อยกว่าการเติมสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพรา โดยพบว่าสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพราที่ความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีค่า a* มากกว่าศูนย์ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวเป็นที่น่าสังเกตว่าค่า a* ของสารสกัดจากขมิ้นมีค่าสูงกว่าสารสกัดจากใบเตย และใบกะเพรา แต่เมื่อเติมสารสกัดลงในน้ำมันแล้วค่า a* ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นกลับมีค่าต่ำกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพรา จากผลการทดลองดังกล่าวอาจเป็นไปได้ว่าสารประกอบเคอร์คิวมินที่มีอยู่ในสารสกัดจากขมิ้นซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว และไม่มีขั้ว แต่น้ำมันเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้วอาจทำให้ curcumin ละลายได้ดีในน้ำมันจึงส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดงของน้ำมันลดลง ในขณะที่น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพราที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากสารประกอบคลอโรฟิลด์ที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบเตยและใบกะเพราถูกทำลายโดยความร้อน (Lee *et al.,* 2004) จึงส่งผลให้น้ำมันมีค่าความเป็นสีเขียวลดลง

สำหรับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงเมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ a* มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย, ใบกะเพรา และขมิ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศทั้ง 4 ชนิด ส่งผลให้ค่า a* ของน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงมีค่า a* ใกล้เคียงกับน้ำมันเริ่มต้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่เติมสารสกัดทั้ง 3 ชนิดข้างต้น เนื่องจากสารสกัด

จากหอมแดงก่อนเติมลงในน้ำมันมีสีอ่อนกว่าสารสกัดทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยที่สุด

Table 13. Effect of heat treatment on redness value (a*) of palm oil added with BHT and herb/spice extracts

Treatment		Redness value (a*)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	-7.84±0.01D,c	-8.05±0.01B,b	-8.10±0.01A,a
BHT	150	-8.02±0.01C,c	-8.10±0.00A,b	-8.11±0.01A,a
Pandanus	150	-10.60±0.02A,a	-7.48±0.00C,b	-5.55±0.02B,c
	500	-9.10±0.01B,a	-4.29±0.01D,b	0.95±0.00C,c
	1000	-6.91±0.02E,a	-0.25±0.01E,b	4.49±0.02D,c
Control	-	-7.84±0.01D,c	-8.05±0.01B,b	-8.10±0.01A,a
BHT	150	-8.02±0.01E,c	-8.10±0.00A,b	-8.11±0.01A,a
Basil	150	-14.29±0.02A,a	-4.20±0.01C,b	-2.45±0.01B,c
	500	-9.74±0.01B,a	0.31±0.00D,b	2.41±0.0C,c
	1000	-8.98±0.0C,a	0.37±0.02E,b	6.54±0.03D,c
Control	-	-7.84±0.01D,c	-8.05±0.01C,b	-8.10±0.01CD,a
BHT	150	-8.02±0.01C,c	-8.10±0.00D,b	-8.11±0.01C,a
Turmeric	150	-13.33±0.01A,a	-13.05±0.01A,b	-12.92±0.01A,c
	500	-11.00±0.13B,a	-10.57±0.01B,b	-9.93±0.01B,c
	1000	-8.02±0.01C,b	-7.67±0.01E,c	-8.09±0.01D,a
Control	-	-7.84±0.01B,c	-8.05±0.01B,b	-8.10±0.01A,a
BHT	150	-8.02±0.01A,c	-8.10±0.00A,b	-8.11±0.01A,a
Shallot	150	-7.57±0.01D,a	-7.54±0.04C,a	-7.16±0.01B,b
	500	-7.15±0.01E,a	-6.67±0.01D,b	-6.00±0.00C,c
	1000	-7.63±0.01C,a	-5.91±0.01E,b	-5.11±0.00D,c

A-E, Means within a column of each extract with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า b*

ค่า b* เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นสีเหลือง ($b \geq 0$) จนถึงความเป็นสีน้ำเงิน ($b < 0$) ของน้ำมัน โดยค่า b* เริ่มต้นของน้ำมันก่อนการให้ความร้อนมีค่าเท่ากับ 43.94±0.04 (Table 6) โดยหลังจากการให้ความร้อนแก่น้ำมันพบว่าค่า b* ของน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และน้ำมันที่เติม BHT มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (Table 14) ในขณะน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย และใบกะเพราเมื่อผ่านการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลืองของน้ำมันลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีของสารสกัดส่งผลให้น้ำมันมีความเป็นสีเหลืองลดลง

การเติมสารสกัดจากขมิ้นลงในน้ำมันโดยส่งผลให้น้ำมันมีค่าความเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและน้ำมันที่เติม BHT (Table 14) เนื่องมาจากอิทธิพลของสารสกัดจากขมิ้นก่อนเติมลงไปในน้ำมันซึ่งมีค่า b* สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดชนิดอื่นคือ 66.25±0.26 ส่วนค่า b* ของสารสกัดจากหอมแดง, ใบเตย และกะเพรา มีค่าเท่ากับ 36.42±0.11, 1.16±0.22 และ 1.52±0.26 ตามลำดับ เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นเป็นระยะเวลา 10 และ 20 นาที พบว่าค่า b* มีค่าสูงขึ้น และมีค่าลดลงอีกครั้งเมื่อให้ความร้อนนาน 30 นาที จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนนาน 20 นาทีอาจเป็นระยะเวลาที่ทำให้สารสกัดละลายในน้ำมันได้ดี แต่การให้ความร้อนที่ระยะเวลานานเกินไป (30 นาที) ส่งผลให้สารประกอบเคอร์คิวมินถูกทำลายส่งผลให้น้ำมันมีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง

ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน, เติม BHT การเติมสารสกัดจากหอมแดงมีค่า b* ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และน้ำมันที่เติม BHT (Table 14) เนื่องจากทั้ง BHT และสารสกัดจากหอมแดงมีสีอ่อนที่สุด (Figure 10) จึงส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย และหลังการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีค่าความเป็นสีเหลืองมากขึ้น

Table 14. Effect of heat treatment on yellowness value (b*) of palm oil added with BHT and herb/spice extracts

Treatment		Yellowness value (b*)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	44.15±0.01B,b	44.33±0.00A,c	43.68±0.02A,a
BHT	150	43.60±0.01A,a	44.61±0.01B,c	43.73±0.01A,b
	150	86.45±0.06C,b	88.20±0.05D,c	80.75±0.04C,a
Pandanus	500	94.44±0.02E,c	92.91±0.15E,b	90.33±0.02D,a
	1000	91.74±0.06D,c	69.12±0.02C,b	68.37±0.09B,a
Control	-	44.15±0.01B,b	44.33±0.00A,c	43.68±0.02A,a
BHT	150	43.60±0.01A,a	44.61±0.01B,c	43.73±0.01A,b
	150	93.88±0.02D,c	87.41±0.02D,b	84.10±0.05C,a
Basil	500	97.63±0.02E,c	96.51±0.03E,b	94.50±0.06D,a
	1000	75.07±0.04C,b	80.74±0.09C,c	44.47±0.11B,a
Control	-	44.15±0.01B,b	44.33±0.00A,c	43.68±0.02A,a
BHT	150	43.60±0.01A,a	44.61±0.01B,c	43.73±0.01B,b
	150	90.29±0.02C,a	91.73±0.00C,c	90.43±0.04C,b
Turmeric	500	100±0.27D,a	102.69±0.02D,c	101.33±0.04D,b
	1000	111.83±0.07E,c	111.37±0.02E,b	108.57±0.03E,a
Control	-	44.15±0.01B,b	44.33±0.00A,c	43.68±0.02A,a
BHT	150	43.60±0.01A,a	44.61±0.01B,c	43.73±0.01B,b
	150	45.27±0.02D,a	45.31±0.01C,b	45.62±0.01,c
Shallot	500	45.95±0.02E,a	46.36±0.01D,b	47.08±0.01D,c
	1000	45.23±0.01C,a	48.13±0.02E,b	49.09±0.01E,c

A-E, Means within a column of each extract with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE

ระยะเวลาในการให้ความร้อน (10-30 นาที) ส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น (น้ำมันเริ่มต้นมีค่า L* a* b* เท่ากับ 99.67, -7.21 และ 43.94 ตามลำดับ) ซึ่งพิจารณาจากค่า ΔE พบว่าการเติมสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศ

ต่างชนิดกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมของน้ำมันที่แตกต่างกันภายหลังจากการให้ความร้อนคือ การเติมสารสกัดจากใบเตยที่ความเข้มข้น 150 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน พบว่าน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสีมากขึ้น ($p<0.05$) และเมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นมีผลทำให้น้ำมันมีความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนการเติมสารสกัดจากใบกะเพราที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมมากขึ้นและเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นมีผลให้ความแตกต่างของสีโดยรวมของน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การเติมสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้นมากขึ้นมีผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสีของสีโดยรวมมากขึ้น ในขณะที่เพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมน้อย แต่การเติมสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน พบว่าค่าสีของน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมน้อยลงเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น และการเติมสารสกัดจากหอมแดงในทุกระดับความเข้มข้นส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมมากขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าสีของน้ำมันที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสมุนไพร/เครื่องเทศต่อการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของน้ำมันจาก Table 15 จะเห็นได้ชัดว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากหอมแดงมีผลให้ความแตกต่างของสีโดยรวมของน้ำมันน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมมากขึ้น

จากผลการศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในน้ำมันทอดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อที่จะคัดเลือกสมุนไพร/เครื่องเทศอย่างน้อย 2 ชนิด เพื่อที่จะใช้ในการศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศผสมในน้ำมันทอด เมื่อพิจารณาจากค่าเพอร์ออกไซด์, ค่ากรดไขมันอิสระ และค่า TBARS พบว่าสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยสามารถทำให้น้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนมีคุณภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศชนิดอื่นอีก 2 ชนิด โดยการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 150 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน ให้คุณลักษณะของน้ำมันที่ไม่แตกต่างกัน และการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วนส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย แม้ว่าสีจองสารสกัดจะมีผลทำให้สีของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ดังนั้นจึงเลือกที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วนไปใช้ทดลองในหัวข้อต่อไป และเลือกที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 30 นาที เนื่องจากการให้ความร้อนที่ระยะเวลานี้ยังทำให้สารสกัดสามารถคงประสิทธิภาพได้ดีในน้ำมัน

Table 15. Effect of heat treatment on ΔE value of palm oil added with BHT or herb/spice extracts

Treatment		Total color different (ΔE)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	1.69±0.01A,b	1.73±0.00A,c	1.64±0.01B,a
BHT	150	1.70±0.00A,b	1.72±0.01A,c	1.58±0.00A,a
Pandanus	150	44.03±0.06D,b	46.18±0.04E,c	42.44±0.03F,a
	500	57.04±0.02H,a	59.28±0.12I,b	59.67±0.02J,c
	1000	62.47±0.03J,a	63.79±0.00K,b	64.78±0.03L,c
Basil	150	53.24±0.02F,c	47.55±0.02F,b	46.19±0.04G,a
	500	59.45±0.02I,a	63.40±0.02J,c	62.42±0.05K,b
	1000	63.89±0.02K,a	65.20±0.05L,b	74.89±0.04N,c
Turmeric	150	46.92±0.02E,a	48.31±0.00G,c	47.00±0.03H,b
	500	56.52±0.24G,a	59.06±0.02H,c	57.74±0.04I,b
	1000	68.16±0.06L,c	67.71±0.02M,b	64.95±0.03M,a
Shallot	150	2.67±0.01B,a	2.84±0.00B,b	3.55±0.01C,c
	500	3.11±0.01C,a	4.50±0.01C,b	5.98±0.01D,c
	1000	3.18±0.01C,a	6.38±0.01D,b	8.54±0.01E,c

A-N, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

3. ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศผสมในน้ำมันทอด

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันอิสระในน้ำมันของชุดการทดลองที่เติมสารสกัดผสมทุกความเข้มข้นมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ($p<0.05$) และชุดการทดลองที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน ในทุกระยะเวลาการให้ความร้อน (Table 16) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Farag และคณะ (2007) โดยพบว่าการเติมสารสกัดจากใบมะกอก (800, 1600, 2400 ส่วนในล้านส่วน) สามารถลดอัตราการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระได้ดีกว่าการเติม BHT (200 ส่วนในล้านส่วน) และการไม่เติมสารต้านออกซิเดชันในระหว่างการให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 180$\pm$5 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น โดยอาจมีสาเหตุมาจากสารประกอบโพลีฟีนอลในสารสกัดจากใบมะกอกสามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา Hydrolytic rancidity ในน้ำมันระหว่างการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้สารสกัดผสมที่ความเข้มข้นสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมสารสกัดแบบเดี่ยวกับสารสกัดผสมต่อค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันพบว่าการเติมสารสกัดผสมให้ค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วง 0.07-0.09 ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกันกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นเพียงอย่างเดียว (Table 7) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสารสกัดผสมระหว่างขมิ้นและใบเตยสามารถควบคุมกรดไขมันอิสระในน้ำมันได้ดีกว่าการใช้สารสกัดจากใบเตยเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากขมิ้นมีอิทธิพลต่อการควบคุมการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันระหว่างการให้ความร้อนได้ดีกว่าสารสกัดจากใบเตย

Table 16. Effect of heat treatment on free fatty acid value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1)

Treatment		Free fatty acid value (%)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	0.13±0.00C,a	0.13±0.01B,a	0.13±0.11B,a
BHT	150	0.14±0.01D,a	0.14±0.01B,a	0.14±0.01B,a
*Mixture	150	0.07±0.00A,a	0.08±0.0A,b	0.08±0.01A,b
	500	0.07±0.01AB,a	0.08±0.01A,ab	0.09±0.01A,b
	1000	0.08±0.01B,a	0.08±0.01A,a	0.08±0.00A,a

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์

ผลการเติมสารสกัดผสมระหว่างใบเตยและขมิ้นในน้ำมัน เปรียบเทียบกับน้ำมันที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน และชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่าโดยภาพรวมการให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาทีส่งผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์มีการเพิ่มขึ้นก่อนมีค่าลดลงหลังจากให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที (Table 17) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jamilah และคณะ (1998) โดยพบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากเปลือกมะกรูดที่ความเข้มข้น 2000 ส่วนในล้านส่วน หรือ BHT 200 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำมันปาล์มและนำไปทอดข้าวเกรียบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 วัน โดยทอดอย่างต่อเนื่องวันละ 5 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลงซึ่งอาจเป็นผลมาจาก Hydroperoxide ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเปลี่ยนเป็นสารประกอบชนิดอื่นเช่น alcohols, carboxylic acids, aldehydes และ ketones เป็นต้น ส่งผลให้มีค่าเพอร์ออกไซด์ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมลงไปพบว่าการเติมสารสกัดผสมให้ค่าเพอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน และชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดผสมจาก 150 เป็น 1000 ส่วนในล้านส่วน และให้ความร้อนแก่น้ำมันเป็นเวลา 10 นาที ส่งผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (Table 17) อย่างไรก็ตามพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดไม่มีผลต่อการควบคุมค่าเพอร์ออกไซด์ได้เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนนานขึ้น (20 และ 30 นาที) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารที่ทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันถูกทำลายมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nor และคณะ (2009) ซึ่งพบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากใบขมิ้นร้อยละ 0.4 ลงในน้ำมันปาล์มและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมงส่งผลให้สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากใบขมิ้นที่ปริมาณร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 แต่เมื่อให้ความร้อนที่เวลา 16-32 ชั่วโมงพบว่าการเติมสารสกัดที่ปริมาณร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าการเติมสารสกัดที่ปริมาณ ร้อยละ 0.4

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมสารสกัดแบบเดี่ยว (ข้อที่ 2, Table 8) และสารสกัดผสมต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมัน พบว่าการเติมสารสกัดจากขมิ้นแบบเดี่ยวและให้ความร้อนนาน 30 นาที มีผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันต่ำกว่าการเติมสารสกัดผสมในทุกชุดการทดลอง แสดงว่าสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยไม่มีความสามารถในการเสริมฤทธิ์กันเพื่อทำหน้าที่ต้านการเกิดขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ สอดคล้องกับการทดลองของ Satyanarayana และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการต้านออกซิเดชันระหว่างการเติม Ascorbyl palmitate แบบเดี่ยวและผสมกับสารต้านออกซิเดชันตัวอื่น (BHA, BHT และ PG) ในน้ำมันมะพร้าวหลังจากผ่านการทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 180$\pm$1 องศาเซลเซียส จำนวน 4 ครั้งพบว่าการเติม ascorbyl palmitate แบบเดี่ยวสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าแบบผสมกับสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่น

Table 17. Effect of heat treatment on peroxide value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1)

Treatment		Peroxide value (meq of peroxide/kg of oil)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	5.18±0.06D,b	4.88±0.26Cb	3.65±0.33C,a
BHT	150	4.44±0.38C,b	4.81±0.16C,b	3.09±0.19B,a
*Mixture	150	4.72±0.04C,b	3.06±0.29A,a	2.64±0.22AB,a
	500	3.26±0.13B,a	3.89±0.22B,b	2.86±0.40AB,a
	1000	2.90±0.15A,a	3.35±0.39A,b	2.48±0.14A,a

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS

การเติมสารสกัดผสมที่ความเข้มข้นสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่า TBARS เพิ่มสูงขึ้น (Table 18) ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องมาจากสารประกอบคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบเตย นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้นทำให้ค่า TBARS ในทุกชุดการทดลองที่เติมสารสกัดผสมมีค่า Bozkurt (2007) รายงานว่าการเติมน้ำมันงา (Sesame oil), น้ำมันหอมระเหยจากไทม์ (*Thymbra spicata* oil) และ BHT ใน Turkish dry-fermented sausage ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 18-25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน มีค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาการบ่ม 4-6 วัน แต่หลังจากวันที่ 6 ค่า TBARS ลดลงอย่างรวดเร็วในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของ TBARS เป็นสารประกอบที่สามารถระเหยได้ นอกจากนี้ Bozkurt (2007) ยังรายงานว่าการเติมน้ำมันงาและน้ำมันหอมระเหยจากไทม์สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ได้ดีกว่า BHT ($p<0.05$) และชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของสารสกัดแบบเดี่ยว (Table 9) และสารสกัดผสม (Table 18) พบว่าสารสกัดทั้งสองรูปแบบสามารถทำให้ค่า TBARS ลดลงเมื่อให้ความร้อนเป็น

ระยะเวลานานขึ้น โดยการเติมสารสกัดผสมสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ได้ดีกว่าสารสกัดแบบเดี่ยว ในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารประกอบ curcumin ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในสารสกัดจากขมิ้นสามารถทำหน้าที่เป็น radicals scavenging อย่างเช่น superoxide anions และ hydroxyl radicals (Pulla Reddy and Lokesh, 1992) นอกจากนี้สารประกอบ curcumin ยังสามารถทำหน้าที่เป็น singlet oxygen quencher ได้อีกด้วย (Das and Das, 2002) ในขณะที่ Radhakrishnnaiah และคณะ (1984) รายงานว่าสารสกัดจากใบเตยสามารถทำหน้าที่เป็น radicals scavenging ในส่วนของ caffeic acid, p-coumaric และ quercetin สามารถทำหน้าที่เป็น metal chelating agent ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารประกอบที่มีอยู่ในสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งสารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิ (primary antioxidant) และสารต้านออกซิเดชันทุติยภูมิ (secondary antioxidant) จึงมีความสามารถในการเสริมฤทธิ์กันเพื่อต้านการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS จากเหตุผลดังกล่าวทำให้สารประกอบเหล่านี้เข้าไปทำหน้าที่ในการยับยั้งการสลายตัวของเพอร์ออกไซด์โดยเข้าไปจับกับโลหะโดยตรง หรือทำหน้าที่เป็น singlet oxygen quencher ซึ่งทำให้โมเลกุลของออกซิเจนอยู่ในรูปแบบที่เสถียร (Triplet oxygen) โดยสามารถลดการสลายตัวของเพอร์ออกไซด์ที่กลายเป็น peroxy radical ได้ จึงสามารถยับยั้งการเกิดผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ (secondary product) ส่งผลให้ยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS นอกจากนี้จากผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Hras และคณะ (2000) ซึ่งรายงานว่าสารผสมระหว่างสารสกัดจากโรสเมรี่ร้อยละ 0.02 กับ Ascorbly palmitate ร้อยละ 0.01 และสารผสมระหว่างสารสกัดจากโรสเมรี่ร้อยละ 0.02 กับกรดซิตริกร้อยละ 0.01 สามารถยับยั้งการเกิด secondary product ของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 11 วัน ได้ดีกว่าในน้ำมันที่เป็นชุดควบคุม

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสารสกัดแบบเดี่ยวสามารถยับยั้งการเกิดขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าสารสกัดผสม เพราะสามารถทำหน้าที่เป็น primary antioxidant ได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามสารสกัดผสมมีฤทธิ์เสริมกันในการทำหน้าที่เป็น secondary antioxidant ซึ่งสามารถยับยั้งการสลายตัวของเพอร์ออกไซด์ไปเป็น secondary product ส่งผลให้สามารถยับยั้งการเกิดขึ้นของค่า TBARS ได้ดีกว่าสารสกัดแบบเดี่ยว

Table 18. Effect of heat treatment on TBARS value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1)

Treatment		TBARS (mg of malonaldehyde/kg of oil)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	5.18±0.63AB,a	6.04±0.42C,a	6.29±0.6C,a
BHT	150	6.62±0.39B,a	7.85±0.69D,b	6.23±0.62C,a
*Mixture	150	5.03±0.43A,b	1.69±0.47A,a	1.34±0.25A,a
	500	5.59±0.82AB,c	2.51±0.35A,b	1.43±0.23A,a
	1000	6.67±0.50B,b	4.46±0.6B,a	3.91±0.11B,a

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด

ค่าความหนืดของน้ำมันเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้นทำให้ความหนืดของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น(Table 19) ($p<0.05$) ยกเว้นชุดการทดลองที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน อย่างไรก็ตามพบว่าชุดการทดลองที่เติมสารสกัดผสมในทุกความเข้มข้นมีความหนืดน้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และชุดการทดลองที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน แสดงให้เห็นว่าสารประกอบที่มีอยู่ในสารสกัดสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในน้ำมันดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 (ข้อที่ 2) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดระหว่างสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแบบเดี่ยว (Table 10) และแบบผสมต่อความสามารถในการต้านการเพิ่มขึ้นของความหนืดของน้ำมันพบว่าการเติมสารสกัดผสมทำให้น้ำมันมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 83.90±0.00 ถึง 86.87±0.06 cp แต่การเติมสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยแบบเดี่ยวทำให้น้ำมันมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 83.73±0.12 ถึง 89.80±0.00 cp และ 85.90±0.00 ถึง 91.93±0.06 cp ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าสารสกัดผสมสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดได้ดีกว่าสารสกัดแบบเดี่ยว ในขณะที่ Satyanarayana และคณะ (2000) รายงานว่าการเติม ascorbyl palmitate แบบเดี่ยวหรือ

ผสมกับสารต้านออกซิเดชันตัวอื่น (BHT, BHA และ PG) มีความสามารถในการต้านการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในน้ำมันมะพร้าวหลังจากการทอดมันฝรั่งที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

Table 19. Effect of heat treatment on viscosity value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1).

Treatment		Viscosity value (cp)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	87.67±0.06E,a	88.30±0.00E,b	89.17±0.06D,c
BHT	150	86.87±0.06D,b	86.50±0.00D,a	89.27±0.06E,c
*Mixture	150	84.70±0.00C,a	84.80±0.00A,b	84.93±0.00A,c
	500	83.90±0.00A,a	85.83±0.06C,b	86.87±0.06C,c
	1000	84.40±0.00B,a	85.50±0.00B,b	85.87±0.06B,c

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ค่า L*, a*, b* ของสารสกัดแบบเดี่ยวและผสมแสดงดัง Table 20 ซึ่งพบว่าสารสกัดจากขมิ้นมีค่า L*, a*, b* สูงที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดจากใบเตย และสารสกัดผสม ทั้งนี้เป็นผลมาจากสารให้สีในสมุนไพร/เครื่องเทศแต่ละชนิดแตกต่างกันโดยสารสกัดจากใบเตยมีสีเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลด์เป็นสารประกอบ แต่สารสกัดจากขมิ้นมีสีเหลืองส้มเนื่องจากสารประกอบ curcumin ดังนั้นการเติมสารสกัดต่างชนิดกันส่งผลให้น้ำมันมีค่า L*, a*, b* ต่างกัน

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L*

เมื่อนำน้ำมันที่เติมสารสกัดไปให้ความร้อนพบว่าค่า L* ลดลงเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง (Table 21) สอดคล้องกับการทดลองของ Nor และคณะ (2008) ซึ่งพบว่าการเติมสารสกัดจากใบเตยลงในน้ำมันปาล์มแล้วให้ความร้อน 180 องศา

เซลเซียส ส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น (0-40 ชั่วโมง) โดยมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอลในสารสกัด

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น หรือมีค่าความสว่างลดลง ดังนั้นหากเปรียบเทียบสีของน้ำมันที่มีการเติมสารสกัดแบบเดี่ยวของขมิ้นและใบเตย (Table 12) กับสารสกัดผสม (Table 21) พบว่าการใช้สารสกัดผสมช่วยปรับปรุงความสว่างของน้ำมันได้ดีกว่าการใช้สารสกัดจากใบเตย อาจเป็นผลมาจากสารประกอบ curcumin ในสารสกัดขมิ้นละลายในน้ำมันส่งผลให้สามารถบดบังสีเขียวจากใบเตยที่ทำให้น้ำมันเกิดสีคล้ำได้

Table 20. Color of selected herb/spice extracts

Herbs/spices extract	**L***	**a***	**b***
Turmeric	38.83±0.18C	37.81±0.10C	66.25±0.26C
Pandanus	1.20±0.22B	2.80±0.14B	1.16±0.22B
*Mixture	0.27±0.04A	0.96±0.09A	0.23±0.09A

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-C, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Table 21. Effect of heat treatment on lightness value (L*) of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1)

Treatment		Lightness value (L*)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	98.32±0.01D,c	98.20±0.01D,b	98.12±0.01D,a
BHT	150	98.39±0.00E,c	98.37±0.01E,b	98.22±0.01E,a
*Mixture	150	93.02±0.01C,c	92.70±0.00C,b	87.32±0.14C,a
	500	84.48±0.00B,c	84.31±0.02B,b	70.98±0.07A,a
	1000	73.96±0.01A,b	74.04±0.00A,c	73.27±0.05B,a

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a*

ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำมัน (Table 22) พบว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และเติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน มีค่า a* ลดลงเล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ในขณะที่ชุดการทดลองที่เติมสารสกัดผสมไม่สามารถกำหนดทิศทางการเปลี่ยนแปลงของค่า a* กับระยะเวลาการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดผสมที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้มีค่า a* เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน น้ำมันมีค่า a* มากกว่า 0 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของสารประกอบคลอโรฟิลด์ และ curcumin ที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบเตยและขมิ้น ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมสารสกัดแบบเดี่ยว (Table13) และแบบผสมพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยมีค่า a* อยู่ในช่วง -13.33±0.01 ถึง -7.67±0.01 และ -10.60±0.02 ถึง 4.49±0.02 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมมีค่า a* อยู่ในช่วง -11.75±0.00 ถึง 3.28±0.01 จากข้อมูลผลการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยมีค่า a* สูงที่สุด รองมาคือน้ำมันที่เติมสารสกัดผสม และน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้น ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาค่า a* ของสารสกัดก่อนเติมลงในน้ำมันพบว่าสารสกัดจากขมิ้นมีค่า a* สูงสุด รองลงมาคือสารสกัดจากใบเตย และสารสกัดผสม โดยมีค่าตามลำดับดังนี้คือ 37.81±0.10, 2.80±0.14 และ 0.96±0.09 ตามลำดับ (Table 20) สาเหตุที่น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยมีค่า a* สูงกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นทั้งที่ค่า a* ของสารสกัดจากใบเตยก่อนเติมลงในน้ำมันมีค่าต่ำกว่าอาจเนื่องมาจากอิทธิพลสารประกอบที่มีอยู่ในสารสกัดแต่ละชนิด อย่างเช่น curcumin ในสารสกัดจากขมิ้น และ carotenoids ในสารสกัดจากใบเตย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ข้อที่ 2

Table 22. Effect of heat treatment on redness value (a*) of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1)

Treatment		Redness value (a*)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	-7.84±0.01C,c	-8.05±0.01C,b	-8.10±0.01A,a
BHT	150	-8.02±0.01B,c	-8.10±0.00B,b	-8.11±0.01A,a
*Mixture	150	-11.71±0.01A,a	-11.75±0.00A,a	-7.72±0.07B,b
	500	-4.31±0.01D,b	-4.55±0.01D,a	-4.56±0.00C,a
	1000	3.28±0.01E,c	2.95±0.01E,a	3.23±0.01D,b

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า b*

จากผลการทดลองเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้นชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และที่เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า b* ขึ้นลงตลอดเวลา ส่วนชุดการทดลองที่เติมสารสกัดผสมที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน มีค่า b* เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ชุดการทดลองที่เติมสารสกัดผสมที่ความเข้มข้น 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน ให้พฤติกรรมที่ตรงกันข้ามกันคือ มีค่า b* ลดลงเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (Table 23) แสดงให้เห็นว่าการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นน้อยกว่าเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นจะทำให้น้ำมันมีความเป็นสีเหลืองหรือน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย แต่เมื่อเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นสูงขึ้นและให้ความร้อนนานขึ้นจะทำให้สีของน้ำมันเข้มขึ้นเพราะมีสีค่อนไปทางสีน้ำเงินมากขึ้น (ค่า b* ลดลง) อีกนัยหนึ่งเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสกัดที่เติมลงไปในน้ำมัน (150, 500 และ 1000 ส่วนในล้านส่วน) พบว่าการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจะทำให้น้ำมันมีค่า b* เพิ่มขึ้น

ผลของการเติมสารสกัดผสมลงในน้ำมันพบว่ามีค่า b* อยู่ในช่วง 107.64±0.09 ถึง 90.72±0.06 (Table 23) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่เติมสารสกัดแบบเดี่ยว (Table 14) พบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยมีค่าอยู่ในช่วง 111.83±0.07 ถึง 90.29±0.02 และ 94.44±0.02 ถึง 68.37±0.09 ตามลำดับ ดังนั้นการที่น้ำมันที่เติมสารสกัดผสมมีค่า b* สูงกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย แต่ต่ำกว่าการเติมสารสกัดจากขมิ้น เนื่องจากอิทธิพลของสารประกอบ curcumin ที่มีอยู่ในขมิ้นซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีเหลืองส้ม เมื่อผ่านการให้ความร้อนสามารถละลายในน้ำมันได้ดีขึ้น ส่งผลให้น้ำมันที่เติมสารสกัดผสมมีค่า b* สูงกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย

Table 23. Effect of heat treatment on yellowness value (b*) of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1)

Treatment		Yellowness value (b*)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	44.15±0.01B,b	44.33±0.00A,c	43.68±0.02A,a
BHT	150	43.60±0.01A,a	44.61±0.01B,c	43.73±0.01A,b
*Mixture	150	90.72±0.06C,a	91.18±0.03C,b	94.23±0.08B,c
	500	104.20±0.02D,c	101.26±0.02D,b	100.52±0.04C,a
	1000	107.64±0.09E,c	103.19±0.08E,b	101.65±0.03D,a

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a–c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมโดยพิจารณาจากค่า ΔE (Table 24) พบว่าการเติมสารสกัดผสมส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าการเติม BHT และน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน โดยการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมมากขึ้น แต่การให้ความร้อนเป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที มีผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของน้ำมันน้อยกว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดผสม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสกัดผสมมีสีเฉพาะตัว เมื่อเติมลงในน้ำมันทำให้สีของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปมาก

Table 24. Effect of heat treatment on ΔE value of palm oil added with BHT or mixture of turmeric and pandanus extract (1:1)

Treatment		Total color different (ΔE)		
		Heating time		
Herbs/spices	Concentration of extract (ppm)	10 min	20 min	30 min
Control	-	1.69±0.01A,b	1.73±0.00A,c	1.64±0.01A,a
BHT	150	1.70±0.00A,b	1.72±0.01A,c	1.58±0.00A,a
*Mixture	150	47.46±0.05B,a	47.97±0.03B,b	51.49±0.05B,c
	500	62.21±0.02C,b	59.40±0.02C,a	64.65±0.06D,c
	1000	69.49±0.08D,c	65.35±0.07D,b	64.32±0.01C,a

* Mixture of pandanus and turmeric extracts (1:1)

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปว่าการเติมสารสกัดผสมสามารถยับยั้งการเสื่อมเสียของน้ำมันหลังจากการให้ความร้อนได้ดีกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และเติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน (โดยพิจารณาจากค่าเพอร์ออกไซด์ ร้อยละของกรดไขมันอิสระ และค่า TBARS) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jaswir และคณะ (2000) ซึ่งพบว่าการเติมส่วนผสมของสารสกัดจากโรสเมรี่ร้อยละ 0.059 (oleoresin rosemary extract) สารสกัดจากเสจร้อยละ 0.063 (sage extract) และ กรดซิตริกร้อยละ 0.028 (citric acid) ลงในน้ำมันปาล์มสามารถต้านการเสื่อมเสียของน้ำมันปาล์มหลังจากการทอดมันฝรั่งเป็นระยะเวลา 5 วันได้ดีกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันโดยพิจารณาจากค่าเพอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าไอโอดีน ค่าสี ปริมาณสารพอลิเมอร์ และค่าอะนิซิดีน

จากผลการทดลองที่กล่าวแล้วข้างต้น (ข้อที่ 2-3) ดังนั้นจึงคัดเลือกสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยทั้งแบบเดี่ยวๆ และแบบผสมที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน และระยะเวลา

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่เวลา 30 นาที เพื่อใช้ในการศึกษาผลของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ไก่ทอดต่อไป

4. การประยุกต์ใช้สารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ไก่ทอด

เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ไก่ทอดจึงใช้ปีกไก่บนที่ผ่านการหมักด้วยน้ำหมักจากร้านค้าเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำไปทอดในน้ำมันที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชัน และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175±2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที อัตราส่วนไก่ : น้ำมันเป็น 1:3 โดยน้ำหนักเป็นระยะเวลา 12 นาที โดยกำหนดให้มีการเติมสารสกัดลงไปในน้ำมัน 5 ชุดการทดลองดังนี้

4.1 ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน

4.2 เติม BHT 150 ส่วนในล้านส่วน

4.3 เติมสารสกัดจากใบเตยความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน

4.4 เติมสารสกัดจากขมิ้นความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน

4.5 เติมสารสกัดผสมระหว่างใบเตยและขมิ้นอัตราส่วน 1:1 ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน

โดยทอดซ้ำ 4 ครั้ง (วันละ 1 ครั้ง) ในแต่ละครั้งของการทอดจะทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ค่าทางประสาทสัมผัส (สี ลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นหืน และความชอบรวม) และค่าทางเคมี (เพอร์ออกไซด์, กรดไขมันอิสระ, TBARS, ความหนืด และค่าสี) และนำตัวอย่างไก่ทอดมาวิเคราะห์ค่าทางประสาทสัมผัส (สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส กลิ่นหืน และความชอบรวม)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันอิสระของน้ำมันในทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น (Figure 11) จากผลการทดลองกล่าวได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมัน หรือไขมันจากไก่ (Triacylglycerol) โดยมีน้ำจากไก่ หรือน้ำหมักไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างการทอด แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้น และสารสกัดผสมระหว่างขมิ้นและใบเตยมีการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Che man และคณะ (2000) โดยพบว่าการเติมสารสกัดจากโรสเมรี่ และเสจ (ร้อยละ 0.4) ลงในน้ำมันปาล์มและทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระระหว่างการทอดได้ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่ง Che man และคณะ (2000) อธิบายว่า

การเกิดขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีน้ำจากมันฝรั่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการที่สารสกัดจากโรสเมรี่ และเสจสามารถยับยั้งค่ากรดไขมันอิสระได้ดีกว่าชุดควบคุม อาจมีสาเหตุจากความสามารถในการทำหน้าที่ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีอยู่สูงในสารสกัด โดย Kun (1990) สรุปว่านอกจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เป็นสาเหตุของการเกิดกรดไขมันอิสระแล้วปฏิกิริยาออกซิเดชันก็ยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งในการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระระหว่างการทอดได้อีกด้วย

จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อที่ 2 และ 3 ซึ่งพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นในทุกๆ ระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่น้ำมัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารสกัดจากขมิ้นที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน เป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับยับยั้งการเพิ่มขึ้นของร้อยละของกรดไขมันอิสระได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น

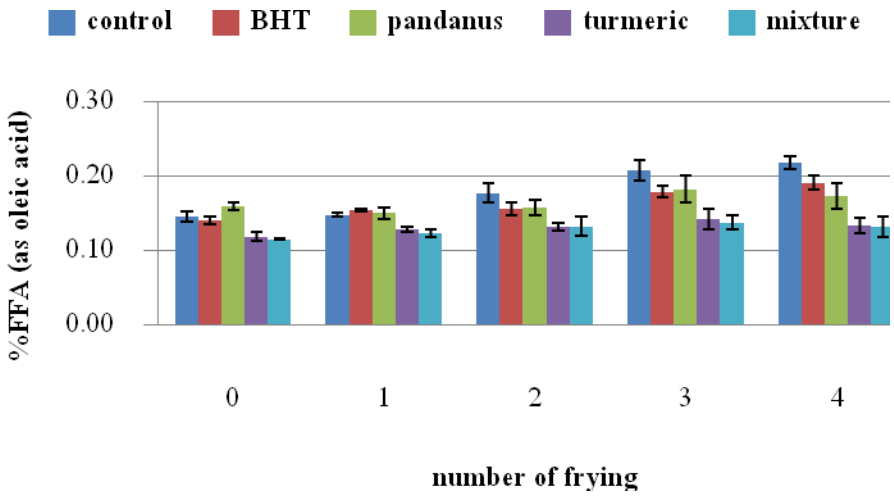


Figure 11. Effect of heating cycle on free fatty acid value of repeated frying oil

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์

ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอดไก่ดังแสดงใน Figure 12 พบว่าการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ก่อนการทอดไก่ (ครั้งที่ 0) ส่งผลให้น้ำมันในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเพอร์ออกไซด์แตกต่างกันมากกว่าการทอดไก่ในซ้ำที่ 1-4 เนื่องมาจากอิทธิพลของสารประกอบที่มีอยู่ในสารต้านออกซิเดชันแต่ละชนิดดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น (Table 8) นอกจากนั้นยังพบว่าในทุกชุดการทดลองค่าเพอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองที่

ผ่านมา (ข้อที่ 2-3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jamilah และคณะ (1998) โดยศึกษาเปรียบเทียบน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และเติมสารต้านออกซิเดชัน (BHT 200 ส่วนในล้านส่วน และสารสกัดจากเปลือกมะกรูดความเข้มข้น 2000 ส่วนในล้านส่วน) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันหลังจากการทอดซ้ำข้าวเกรียบเป็นระยะเวลา 4 วัน พบว่าค่าเพอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลงแต่วันที่ 2 ถึงวันที่ 4 ทั้งนี้การลดลงของค่าเพอร์ออกไซด์อาจเกิดการสลายตัวในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chatzilazarou และคณะ (2006) ที่รายงานว่าค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันมะกอกหลังจากการทอดมันฝรั่งแผ่นมาแล้วเป็นเวลา 6 ชั่วโมงมีค่าลดลง ซึ่ง Perkin (1967) อธิบายไว้ว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในช่วงแรกค่าเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันนานขึ้น เพราะว่าเพอร์ออกไซด์มีความไม่คงตัวภายใต้สภาวะอุณหภูมิในการทอดที่ 180 องศาเซลเซียส เพราะสามารถสลายตัวไปเป็น secondary oxidation products

จาก Figure 12 สามารถแบ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์ได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีค่าลดลงเมื่อทอดครั้งที่ 1 และมีแนวโน้มคงที่ในการทอดครั้งที่ 2 และ 3 หลังจากนั้นลดลงอีกครั้งในการทอดครั้งที่ 4 ได้แก่ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน, ชุดการทดลองที่เติม BHT และสารสกัดผสม

กลุ่มที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นในการทอดครั้งที่ 1 และ 2 และลดลงในการทอดครั้งที่ 3 และ 4 ได้แก่ชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากขมิ้นแบบเดี่ยว และสารสกัดจากใบเตยแบบเดี่ยว

อย่างไรก็ตามจาก Figure 12 เห็นได้ชัดว่าชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยมีค่าเพอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกันและมีค่าลดลงมากที่สุดในการรอบการทอดซ้ำครั้งที่ 4 มีค่าเพอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.44±0.03 และ 0.64±0.02 meq of peroxide /kg of oil ($p \geq 0.05$) ตามลำดับ รองลงมาคือน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมและเติม BHT ซึ่งมีค่าเพอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ดังนี้คือ 1.99±0.23 และ 2.19±0.08 meq of peroxide /kg of oil ตามลำดับ ส่วนน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีค่าเพอร์ออกไซด์สูงสุดคือ 2.44±0.12 meq of peroxide /kg of oil ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเติมสารสกัดแบบเดี่ยวทำให้น้ำมันมีค่าเพอร์ออกไซด์น้อยกว่าการเติมสารสกัดผสม หรือ BHT เมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าสารประกอบที่ทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยเป็นชนิดสารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิโดยมีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ (Hydrogen donor) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hras และคณะ (2000) โดยรายงานว่าสารผสมระหว่างสารสกัดจากโรสเมรี่ร้อยละ 0.02 และ α-tocopherol ร้อยละ 0.01 มีความสามารถใน

การยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 11 วันได้น้อยกว่าการเติมสารสกัดจากโรสเมรี่ร้อยละ 0.02 เพียงอย่างเดียว จากพฤติกรรมดังกล่าว Hras และคณะ (2000) อธิบายว่า α-tocopherol ลดการทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากโรสเมรี่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hopia และคณะ (1996) โดยพบว่า α-tocopherol ลดความสามารถการทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันของสารประกอบที่มีอยู่ในโรสเมรี่ 2 ชนิด คือ carnosol และ carnosic acid นอกจากนี้ Banias และคณะ (1992) ยังรายงานอีกว่า α-tocopherol ไม่มีความสามารถในการเสริมฤทธิ์กันกับสารสกัดจากพืชชนิดอื่น

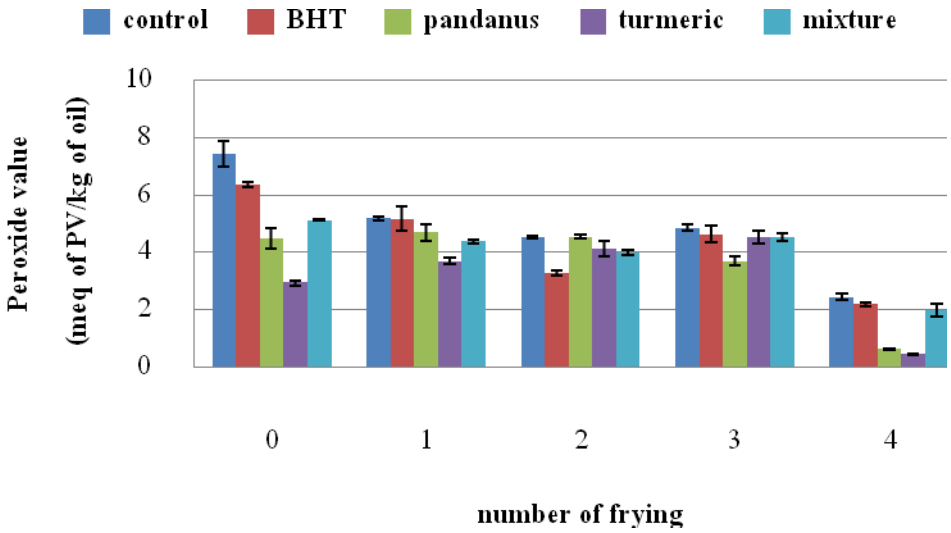


Figure 12. Effect of heating cycle on peroxide value of repeated frying oil

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS

การเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS แสดงดัง Figure 13 จากภาพจะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ก่อนการทอดไก่ (ครั้งที่ 0) ส่งผลให้น้ำมันในแต่ละชุดการทดลองมีค่า TBARS แตกต่างกันมากกว่าการทอดไก่ในซ้ำที่ 1-4 เนื่องมาจากอิทธิพลของสารประกอบที่มีอยู่ในสารต้านออกซิเดชันแต่ละชนิดดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น (Table 9) นอกจากนั้นพบว่าค่า TBARS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น โดยสามารถแบ่งพฤติกรรมของสารต้านออกซิเดชันต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS ได้ดังนี้คือ (1) มีค่าลดลงในรอบการทอดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และเพิ่มขึ้นหลังจากการทอดครั้งที่ 3 และ 4 ได้แก่ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และเติม BHT (2) มีค่าขึ้นลงในทุกซ้ำของการทอดได้แก่ชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากใบเตย (3) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น ได้แก่ชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากขมิ้น และสารสกัดผสม

หลังจากการเติมสารสกัดลงในน้ำมันแล้วให้ความร้อนเป็นระยะเวลา 30 นาที (ครั้งที่ 0) พบว่าชุดการทดลองที่เติมสารสกัดผสมมีค่า TBARS ต่ำที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากใบเตย ขมิ้น BHT ส่วนชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีค่า TBARS สูงสุด โดยมีค่าเรียงลำดับดังนี้คือ 2.23±0.03, 2.84±0.21, 3.24±0.06, 6.90±0.24 และ 7.62±0.09 mg malonaldehyde/kg of oil ($p<0.05$) เมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า TBARS เพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง อย่างไรก็ตามพบว่าในการทอดซ้ำครั้งที่ 4 ชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากขมิ้น, สารสกัดจากใบเตย และสารสกัดผสมค่า TBARS ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น โดยมีค่าดังนี้คือ 7.87±0.27, 8.01±0.03, 7.53±0.41 mg malonaldehyde/kg of oil ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมมีความสามารถในการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ได้ดีกว่าการเติม BHT และการไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสารประกอบที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบเตยและขมิ้นสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันทุติยภูมิดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อที่ 2

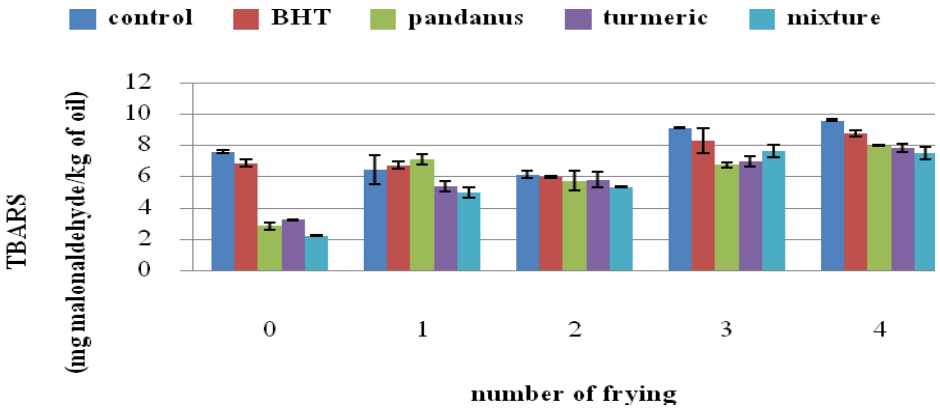


Figure 13. Effect of heating cycle on TBARS value of repeated frying oil

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด

การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (cp) แสดงดัง Figure 14 พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น โดยก่อนการทอดไก่น้ำมันที่เติม BHT และสารสกัดจากขมิ้นมีค่าความหนืดต่ำที่สุด ($p\geq0.05$) รองลงมาคือน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย ($p\geq0.05$) ส่วนน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมมีค่าความหนืดมากที่สุด โดยมีค่าตามลำดับดังนี้ 81.07±0.06, 81.10±0.00, 82.87±0.06, 82.83±0.06 และ 83.20±0.00 cp แต่อย่างไรก็ตามเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้นพบว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีค่าความ

หนืดเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมสารต้านออกซิเดชัน โดยเฉพาะสารสกัดจากขมิ้นสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันได้ดีกว่าการไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน

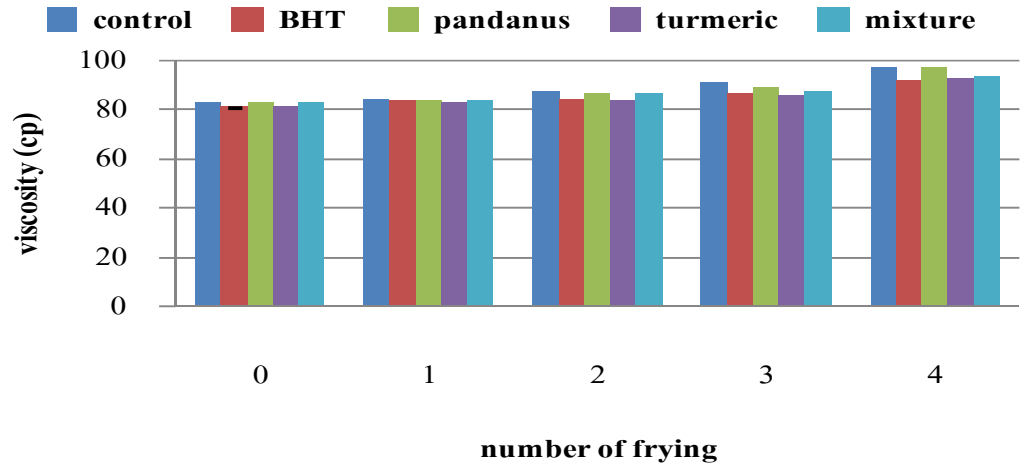


Figure 14. Effect of heating cycle on viscosity of repeated frying oil

ค่า L*, a*, b* ของสารสกัดก่อนเติมลงในน้ำมันซึ่งจะเห็นได้ว่าสารสกัดจากขมิ้นมีค่า L*, a*, b* สูงสุด ดังแสดงใน Table 25 รองลงมาคือสารสกัดจากใบเตย และสารสกัดผสม ($p<0.05$)

Table 25. Color of single and mixture of herb/spice extracts

Herbs/spices extract	L*	a*	b*
Pandanus	0.92±0.10B	2.80±0.14B	1.16±0.22B
Turmeric	38.83±0.18C	37.81±0.10C	66.25±0.26C
Mixture	0.27±0.05A	1.00±0.08A	0.22±0.09A

A-C, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L*

ความแตกต่างของค่าสีในสารสกัดแต่ละชนิดจะมีผลต่อสีของน้ำมันที่ผ่านการเติมสารสกัดแต่ละชนิด โดยรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้นทำให้น้ำมันในทุกชุดการทดลองมีค่า L* ลดลง หรือน้ำมันมีสีคล้ำขึ้น (Table 26) น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยและสารสกัดผสมมีค่า L* ต่ำกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้น BHT และน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันในทุกรอบของการทอดซ้ำ อาจเป็นผลเนื่องมาจากสีของสารสกัดก่อนการเติมลงในน้ำมัน อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดจากขมิ้นลงไปในน้ำมันส่งผลให้ป้องกันการเกิดสีคล้ำได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และให้ค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่เติม BHT

Table 26. Effect of heating cycle on L* value of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	96.36±0.01D,e	93.70±0.01D,d	91.42±0.01C,c	84.66±0.01C,b	79.13±0.00C,a
BHT	96.58±0.00E,e	94.75±0.01E,d	91.94±0.00E,c	90.10±0.01E,b	87.93±0.00E,a
Pandanus	80.03±0.02A,e	79.78±0.01A,d	78.80±0.01A,c	77.43±0.01A,b	70.87±0.00A,a
Turmeric	95.34±0.04C,e	93.52±0.01C,d	91.54±0.00D,c	89.66±0.01D,b	85.33±0.01D,a
Mixture	83.12±0.01B,e	81.99±0.00B,d	80.41±0.00B,c	79.77±0.01B,b	76.17±0.00C,a

A-E, Means within a column with different small letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-e, Means within a row with different capital letters are significantly different ($P < 0.05$)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a*

การเปลี่ยนแปลงของค่า a* (Figure 15) เห็นได้ชัดว่าเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น น้ำมันมีค่า a* เพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีการเพิ่มขึ้นของค่า a* มากที่สุด การเพิ่มขึ้นของค่า a* หมายถึงน้ำมันมีสีแดงเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอด (Arkanit *et al.,* 2007) เป็นที่น่าสังเกตว่าชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากขมิ้น, ใบเตย และสารสกัดผสมให้ค่า a* เริ่มต้นและตลอดการทอดซ้ำต่ำกว่าชุดการทดลองที่เติม BHT และชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ยกเว้นการทอดซ้ำครั้งที่ 4 ที่พบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นให้ค่า a* ไม่แตกต่างกันกับน้ำมันที่เติม BHT แสดงให้เห็นว่าการเติมสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงได้

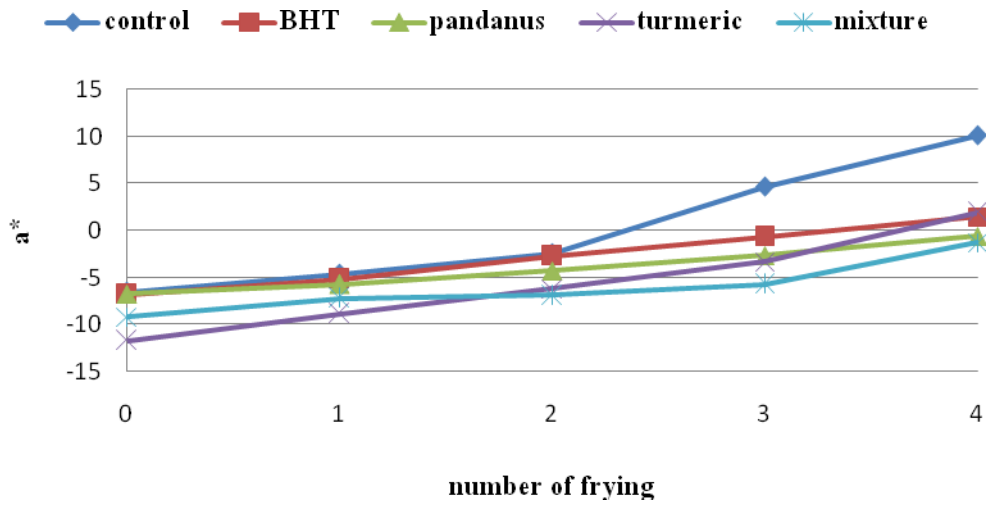


Figure 15. Effect of heating cycle on a* value of repeated frying oil

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า b*

จาก Figure 16 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่เติมและไม่เติมสารสกัดให้ค่า b* ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ($p<0.05$) ตั้งแต่ครั้งแรกของการทอด คือน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้น และสารสกัดผสมมีค่า b* สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นมีความสอดคล้องกับค่า b* ของสารสกัดเริ่มต้น โดยสารสกัดจากขมิ้น ใบเตย และสารสกัดผสมมีค่า b* ดังนี้คือ 66.25±0.26, 1.16±0.22 และ 0.22±0.09 ตามลำดับ (Table 20) แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมกลับมีค่า b* สูงกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารประกอบสารประกอบ curcumin ละลายได้ดีขึ้นเมื่อน้ำมันผ่านการให้ความร้อน ส่งผลให้น้ำมันมีความเป็นสี

เหลืองเพิ่มขึ้น Arkanit และคณะ (2007) ระบุว่าน้ำมันที่มีค่า b* หรือค่าความเป็นสีเหลืองสูงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากกว่าน้ำมันที่มีค่า a* หรือค่าความเป็นสีแดงสูง

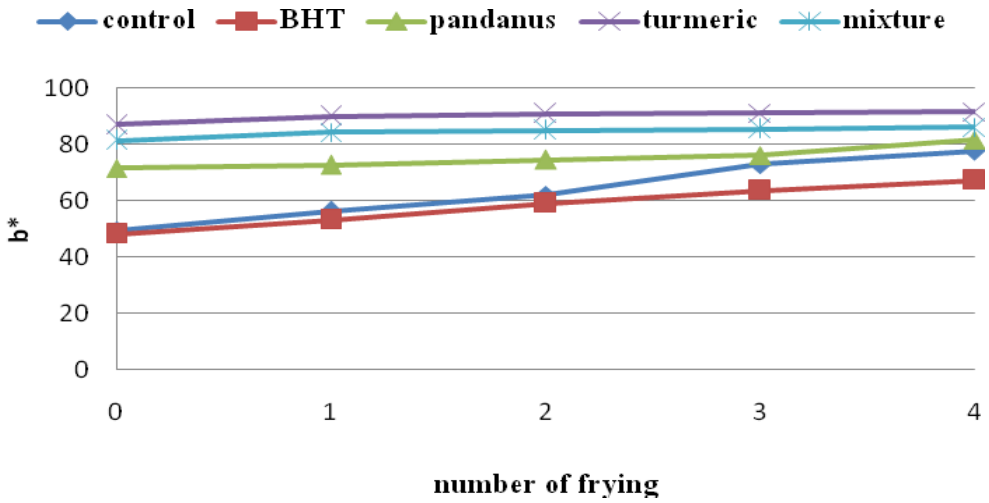


Figure 16. Effect of heating cycle on b* value of repeated frying oil

การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของน้ำมันหลังจากการทอดในแต่ละซ้ำแสดงดัง Table 27 ซึ่งแสดงโดยค่า ΔE พบว่าน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสีมากขึ้นเมื่อมีการทอดซ้ำมากขึ้นในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้นเมื่อทอดหลายซ้ำขึ้น โดยสามารถสังเกตจากการเปลี่ยนสีของน้ำมัน ซึ่ง Gutierrea และคณะ (1988) กล่าวไว้ว่าการเกิดสีคล้ำในน้ำมันทอดมีสาเหตุจากสารประกอบ α, β-unsaturated carbonyl ซึ่งเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้ (nonvolatile decomposition products) โดยมีกลุ่มของ carbonyl เป็นองค์ประกอบ

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมลงไปพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศแบบเดี่ยวและผสมมีการเปลี่ยนแปลงสีในทุกรอบการทอดซ้ำน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เติม BHT ($p<0.05$) แม้ว่าการเติมสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศจะส่งผลให้น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงของสีเริ่มต้นของน้ำมันก่อนการให้ความร้อน ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากสีเริ่มต้นของสารสกัด

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้สารสกัดจากขมิ้นและใบเตยแบบเดี่ยวมีประสิทธิภาพในการควบคุมค่าเพอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่ดีกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมที่เติม BHT และชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามพบว่าสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมสามารถควบคุมค่ากรดไขมันอิสระและค่า TBARS ได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และดีกว่าชุดการทดลองที่เติม BHT และไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังพบว่าสีของสารสกัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดสีของน้ำมันเริ่มต้น

Table 27. Effect of heating cycle on ΔE value of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	6.33±0.02B,a	14.00±0.01B,b	20.62±0.03B,c	34.88±0.02C,d	43.27±0.05C,e
BHT	5.39±0.01A,a	10.64±0.01A,b	17.68±0.03A,c	23.00±0.01A,d	27.64±0.01A,e
Pandanus	20.18±0.03C,a	21.32±0.01C,b	23.56±0.01C,c	25.77±0.04B,d	34.08±0.02B,e
Turmeric	43.52±0.01E,a	46.64±0.00E,b	47.68±0.02E,c	48.46±0.02E,d	50.63±0.02E,a
Mixture	38.18±0.02D,a	41.29±0.02D,b	42.08±0.02D,c	42.67±0.02D,d	44.85±0.03D,e

A-E, Means within a column with different small letters are significantly different ($P < 0.05$).

a-e, Means within a row with different capital letters are significantly different ($P < 0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9 point hedonic scale ของน้ำมันทอดที่ผ่านการใช้ทอดไก่ครั้งที่ 1-4 กับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน คุณลักษณะที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ สี (color) กลิ่น (odor) และความชอบรวม (overall liking) จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันและสารสกัดในทุกชุดการทดลองได้คะแนนการยอมรับด้านสีของน้ำมันไม่แตกต่างกันในทุกซ้ำของการทอด ($p \geq 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีการยอมรับทางด้านสีของน้ำมันลดลงเมื่อจำนวนรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารต้านออกซิเดชันพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมให้คะแนนการยอมรับค่าสีมากที่สุด นอกจากนี้พบว่าคะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นของน้ำมันในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ในทุกรอบของการทอดซ้ำ ดังแสดงใน Table 28 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกลิ่นของไก่และน้ำหมักเกิดการบดบังกลิ่นหืนหรือกลิ่นอื่นๆ ส่งผลให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่เติมสารสกัดจากขมิ้นและสารสกัดผสมที่พบว่าได้รับคะแนนความชอบรวมสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน

Table 28. Sensory scores of repeated frying oil

Attribute	Number of frying			
	1	2	3	4
Color				
Control	6.73±1.94A,b	6.83±1.42A,b	6.63±1.87A,b	5.53±1.57A,a
BHT	7.07±1.44A,a	7.37±1.30AB,a	7.10±1.75A,a	6.77±1.41BC,a
Pandanus	7.17±1.34A,a	6.83±1.44A,a	6.53±1.78A,a	6.40±1.71B,a
Turmeric	7.13±1.22A,a	7.13±1.31AB,a	6.93±1.28A,a	6.97±1.30BC,a
Mixture	7.30±1.42A,a	7.57±0.86B,a	7.10±1.27A,a	7.37±1.00C,a
Odor				
Control	5.67±1.97A,a	6.07±1.96A,a	5.83±1.86A,a	5.30±2.05A,a
BHT	6.03±1.97A,a	6.17±1.58A,a	5.80±1.52A,a	5.97±1.75A,a
Pandanus	6.57±1.70A,a	6.53±1.68A,a	5.93±1.86A,a	5.73±1.74A,a
Turmeric	5.77±2.14A,a	6.17±1.78A,a	6.03±1.90A,a	5.87±1.48A,a
Mixture	6.30±1.24A,a	6.23±1.52A,a	6.37±1.96A,a	5.97±1.69A,a
Overall liking				
Control	6.27±1.39A,a	6.17±2.07A,a	5.93±1.96A,a	5.60±1.63A,a
BHT	6.87±1.36A,a	6.13±1.48A,a	6.47±1.76A,a	6.00±1.95AB,a
Pandanus	6.43±1.52A,a	6.30±1.68A,a	6.47±1.68A,a	6.43±1.72AB,a
Turmeric	6.17±1.95A,a	6.60±1.52A,a	6.40±1.79A,a	6.63±1.33B,a
Mixture	6.43±1.48A,a	6.67±1.49A,a	6.53±1.63A,a	6.53±1.4B,a

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

คะแนนทดสอบทางด้านกลิ่นหืนของน้ำมัน (Figure 17) ซึ่งกำหนดให้คะแนนเท่ากับ 3 หมายถึงได้กลิ่นหืนมาก คะแนนเท่ากับ 2 หมายถึงได้กลิ่นหืนระดับปานกลาง คะแนนเท่ากับ 1 หมายถึงได้กลิ่นหืนน้อย และคะแนนเท่ากับ 0 หมายถึงไม่พบกลิ่นหืน จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดแบบเดี่ยวและแบบผสมให้ค่าการหืนต่ำกว่าน้ำมันที่เติม BHT และน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันในรอบแรกของการทอด อย่างไรก็ตามคะแนนระดับความหืนของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น

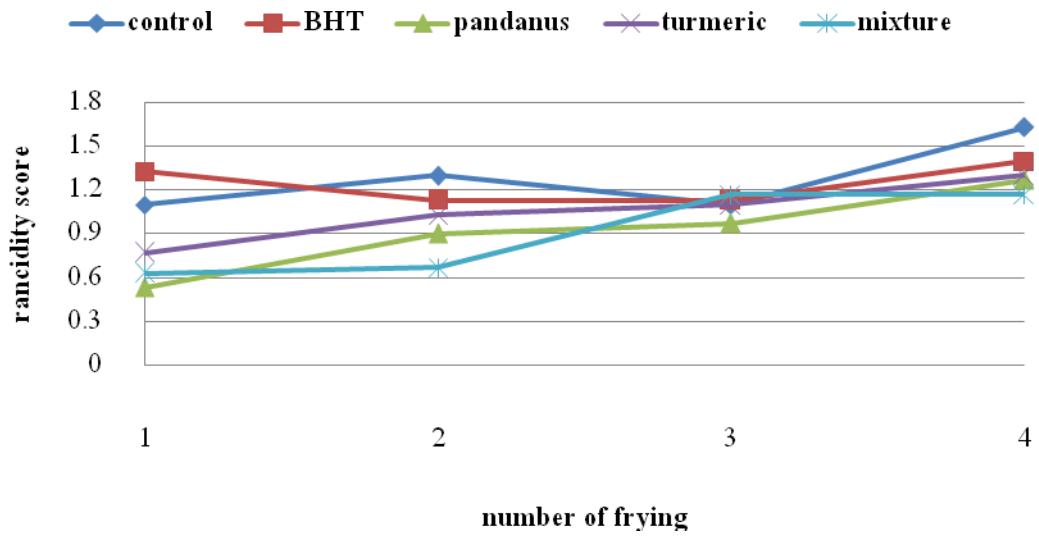


Figure 17. Effect of heating cycles on rancidity scores of repeated frying oil

* Score of rancidity level (3 = high, 2 = medium, 1 = low, 0 = non detect)

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไก่ทอดที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่ผ่านการใช้งานครั้งที่ 1-4 โดยใช้ 9-point hedonic scale กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ในคุณลักษณะด้านสี (color) กลิ่นรส (flavor) และความชอบรวม (overall liking) ผลการทดลองพบว่าคะแนนการยอมรับด้านสีของไก่ทอดมีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลองเมื่อน้ำมันผ่านการทอดซ้ำมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าไก่ที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้น และสารสกัดผสมมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าไก่ที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารสกัดหรือสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่นดังแสดงใน Table 29 ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าสีเหลืองส้มของขมิ้นส่งผลให้ไก่ทอดมีสีเหลืองน่ารับประทาน

เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นรสของไก่ทอดพบว่าคะแนนการยอมรับลดลงเมื่อทอดในน้ำมันที่ผ่านการทอดเป็นครั้งที่ 4 ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าไก่ที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมที่ใช้ในการทอดเป็นครั้งที่ 4 ได้คะแนนการยอมรับสูงกว่า ($p<0.05$) ตัวอย่างไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันที่ไม่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันและน้ำมันที่เติม BHT ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า TBARS (Figure 13) ที่พบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดผสมมีค่า TBARS ต่ำว่าน้ำมันที่เติม BHT และที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ($p<0.05$)

คะแนนความชอบรวมของไก่ทอดที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติม BHT และไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มลดลงเมื่อรอบการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น แต่พบว่าไก่ที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารสกัดได้รับคะแนนความชอบรวมสูงกว่าไก่ที่ทอดในน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและที่เติม

BHT เมื่อผ่านการทอดซ้ำมากขึ้นโดยเฉพาะในการทอดครั้งที่ 4 พบว่าไก่ที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตย, ขมิ้นและสารสกัดผสม มีคะแนนความชอบรวมสูงกว่าไก่ที่ทอดด้วยน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ($p<0.05$)

Table 29. Sensory scores of fried chicken

Attribute	Number of frying			
	1	2	3	4
Color				
Control	7.37±0.81A,bc	7.47±0.33B,c	6.73±1.05A,b	5.23±1.92A,a
BHT	7.43±1.14A,c	6.37±1.56A,b	6.97±1.13A,bc	4.93±1.87A,a
Pandanus	7.80±0.96A,c	7.57±1.07B,bc	7.10±1.12A,b	5.63±1.79A,a
Turmeric	7.57±0.68A,b	7.63±1.13B,b	7.63±0.72B,b	6.93±1.23B,a
Mixture	7.80±0.76A,b	7.13±1.14B,a	7.73±0.91B,b	6.93±1.14B,a
Flavor				
Control	7.40±0.77A,b	7.60±1.19A,b	7.10±1.09A,b	5.97±1.47A,a
BHT	7.07±1.51A,bc	7.40±0.81A,c	6.57±1.72A,ab	5.93±1.78A,a
Pandanus	7.50±1.01A,b	7.30±0.92A,b	7.30±0.70A,b	6.33±1.37AB,a
Turmeric	7.17±1.02A,ab	7.53±1.01A,b	6.73±1.96A,a	6.53±1.48AB,a
Mixture	7.63±0.76A,b	7.27±1.14A,ab	7.00±1.44A,ab	6.83±1.58B,a
Overall liking				
Control	7.13±0.90A,b	7.07±1.11A,b	6.30±0.92A,a	6.10±1.65A,a
BHT	7.07±1.46A,b	7.03±1.00A,b	6.83±1.26AB,ab	6.40±0.81AB,a
Pandanus	7.03±1.03A,a	7.00±1.17A,a	7.13±1.12B,a	6.93±0.91B,a
Turmeric	7.37±0.93A,a	7.20±0.93A,a	6.93±1.76AB,a	6.90±1.21B,a
Mixture	7.27±0.79A,a	7.07±0.91A,a	7.00±1.26AB,a	6.97±1.03B,a

A-D, Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

a-c, Means within a row with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

คะแนนทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของกลิ่นหืนในไก่ทอด (Figure 18) ซึ่งกำหนดให้คะแนนเท่ากับ 3 หมายถึงได้กลิ่นหืนมาก คะแนนเท่ากับ 2 หมายถึงได้กลิ่นหืนระดับปานกลาง คะแนนเท่ากับ 1 หมายถึงได้กลิ่นหืนน้อย และคะแนนเท่ากับ 0 หมายถึงไม่มีกลิ่นหืน จากการทดสอบพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนกลิ่นหืนในตัวอย่างไก่ทอดที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมัน

ทอดซ้ำในระดับที่ไม่มีกลิ่นหืนถึงมีกลิ่นหืนน้อย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองพบว่าในการทอดทุกซ้ำค่าความหืนของไก่มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

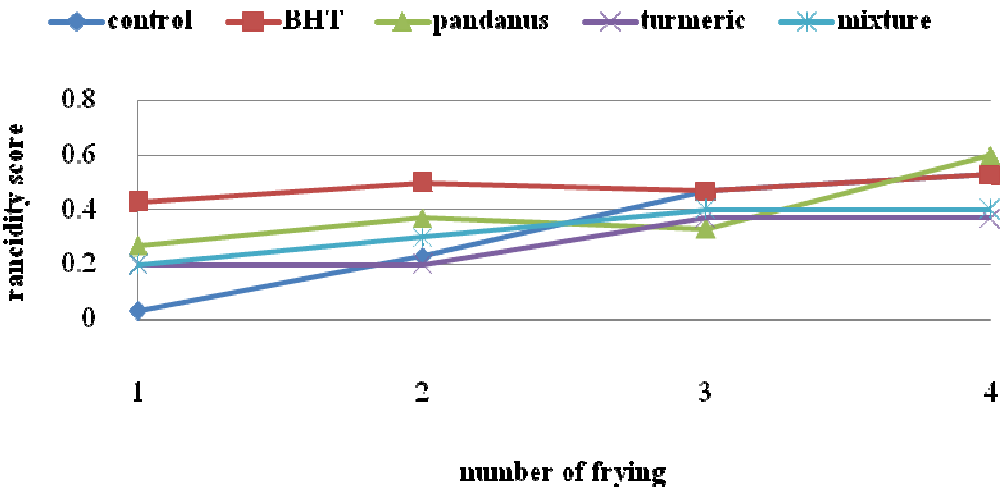


Figure 18. Effect of heating cycles on rancidity scores of fried chicken

* Score of rancidity level (3 = high, 2 = medium, 1 = low, 0 = non detect)

จากผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าการเติมสารสกัดผสม และสารสกัดจากขมิ้นในน้ำมันส่งผลให้น้ำมันทอด และไก่ทอดได้รับคะแนนการยอมรับในเรื่องสีสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ อาจเนื่องมาจากสีของสารสกัดจากขมิ้นที่มีสีเหลืองส้ม ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของอาหารทอดโดยทั่วไป แต่เมื่อทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่น กลิ่นรส และกลิ่นหืนพบว่าชุดการทดลองส่วนใหญ่ให้คะแนนการยอมรับที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก (1) กลิ่นของไก่ทอดหรือน้ำหมักส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกแยะกลิ่นต่างๆ ออกมาได้ชัดเจน หรือ (2) อาจเป็นผลมาจากความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำหมักไก่ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระบบ DPPH ของน้ำหมักไก่พบว่ามีค่าเท่ากับ 160±8.66 mg/ml ขณะที่สารสกัดจากขมิ้นและใบเตยมีค่าเท่ากับ 0.16±0.04 และ 2.30±0.26 mg/ml ตามลำดับ ดังนั้นอิทธิพลของความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำหมักจึงไม่ใช่สาเหตุที่สำคัญ จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสจากการทดลองในครั้งนี้ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Nor และคณะ (2008) ซึ่งทำการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (สี กลิ่น กลิ่นหืน ความกรอบ กลิ่นรส และ ความชอบรวม) ของมันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม, น้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยปริมาณร้อยละ 0.2 และ BHT ปริมาณร้อยละ 0.02 พบว่ามันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมันที่ผ่านการทอดมาแล้วเป็นเวลา 8 24 และ 40 ชั่วโมง พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

ของคุณลักษณะทางด้านกลิ่นหืน ความกรอบ และรสชาติของมันฝรั่งทอดในทุกชุดการทดลองและทุกระยะเวลาของการทอด แต่การทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากใบเตยสามารถรักษาคุณลักษณะทางด้านสีของมันฝรั่งแม้จะทอดด้วยน้ำมันที่ผ่านการทอดไปแล้วเป็นเวลา 40 ชั่วโมง

บทที่ 4

บทสรุป

การคัดเลือกสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศจาก 9 ชนิด (ขมิ้น, หอมแดง, ใบเตย ใบกะเพรา ใบมะกรูด ตะไคร้ ใบโหระพา ข่า และกระเทียม) โดยพิจารณาจากความสามารถในการต้านออกซิเดชันและปริมาณโพลีฟีนอลิกทั้งหมดหลังการให้ความร้อน (175 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที) สรุปได้ดังนี้คือ

1. ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ขมิ้น>หอมแดง>ใบเตย>ใบกะเพรา=ใบโหระพา=ใบมะกรูด=ข่า=ตะไคร้>กระเทียม

2. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระบบ DPPH มีค่าเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ขมิ้น>ใบกะเพรา=ใบโหระพา=หอมแดง=ใบเตย>ใบมะกรูด>ตะไคร้>ข่า>กระเทียม

ดังนั้นสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศที่ได้รับการคัดเลือก 4 ชนิด คือ ขมิ้น, หอมแดง, ใบกะเพรา และใบเตย โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นาน 10 20 และ 30 นาที มีคุณภาพดีที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า TBARS ได้ดี

การศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดผสมระหว่างสารสกัดจากขมิ้นกับใบเตยและสารสกัดแบบเดี่ยว (ที่อัตราส่วน 1:1) พบว่าสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยแบบเดี่ยวมีความสามารถในการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ดีกว่าสารสกัดผสม อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมสารสกัดผสมสามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ได้ดีกว่าสารสกัดแบบเดี่ยว แต่ให้ผลในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของร้อยละของค่ากรดไขมันอิสระที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ดังนั้นสารสกัดจากขมิ้นและใบเตยทั้งแบบเดี่ยว และแบบผสมที่ความเข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน และการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่เวลา 30 นาที จึงถูกนำไปใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศในการต้านออกซิเดชันในน้ำมันที่ใช้ทอดไก่และผลิตภัณฑ์ไก่ทอด

การนำปีกไก่บนที่ผ่านการหมักด้วยน้ำหมักจากร้านค้าเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง มาทอดในน้ำมันที่เติมสารสกัดจากขมิ้นและใบเตย โดยทอดซ้ำ 4 ครั้ง (วันละ 1 ครั้ง) พบว่าน้ำมัน

ที่เติมสารสกัดทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมสามารถต้านการเกิดขึ้นของค่าร้อยละของกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า TBARS และค่าความหนืดได้ดีกว่าการใช้ BHT และการไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน

เนื่องจากสีของสารสกัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดสีของน้ำมันทอด ส่งผลให้การเติมสารสกัดผสม และสารสกัดจากขมิ้นในน้ำมันทำให้น้ำมันทอด และไก่ทอดได้รับคะแนนการยอมรับทางด้านสีสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างไรก็ตามพบว่าโดยทั่วไปผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่น, กลิ่นรส และความชอบรวม โดยการทดสอบกลิ่นหืนของไก่ทอดและน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

สารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศมีกลิ่นและลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นการเติมลงในน้ำมันก่อนการทอดอาหารจึงอาจมีข้อจำกัดหรือมีความเหมาะสมกับอาหารบางประเภท โดยอาหารที่เหมาะสมในการทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศควรเป็นอาหารที่มีกลิ่นคาว อย่างเช่น ไก่, เนื้อ หรือปลา เป็นต้น

นอกจากสมุนไพร/เครื่องเทศทั้ง 9 ชนิด คือ ขมิ้น, หอมแดง, ใบเตย ใบกะเพรา ใบมะกรูด ตะไคร้ ใบโหระพา ข่า และกระเทียมที่นำมาศึกษา อาจมีสมุนไพร/เครื่องเทศชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากการศึกษาในครั้งนี้ที่มีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมในสมุนไพร/เครื่องเทศชนิดอื่นด้วย นอกจากนี้ชนิดของอาหารและชนิดของน้ำมันที่ใช้สามารถที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการให้ความร้อน หรือระหว่างการเก็บรักษาได้ ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมในอาหารและชนิดอื่นด้วย

เอกสารอ้างอิง

ชลดา กุลสถาพร และอมรทิพย์ สมสุข. 2544. การศึกษาฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตะไคร้. รายงานการวิจัยเภสัชศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาเภสัชเวทและเภสัชพฤกษศาสตร์, คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สันติ ทิพยางค์. 2535. สารกันหืนสำหรับอาหาร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

Ahajji, A., Diouf, P. N., Aloui, F., Elbakali, I. Perrin, D., Merlin, A. and George, B. 2009. Influence of heat treatment on antioxidant propertie and colour tability of beech and pruce wood and their extracti e. J. Wood Sci Technol. 43: 69–83.

AOAC. 1999. Official method of analy i (16th ed.). Wa hington, DC: A ociation of Official Analytical Chemi t.

Arab hahi, D.S., De i, V. and Urooj, A. 2007. E aluation of antioxidant acti ity of ome plant extract and their heat, pH and torage tability. J. Food Chem. 100: 1100-1105.

Arkanit, K., Tanawuttipong, W. and Nuntarith, S. 2007. Effect of frying and antioxidant on French Frie and oil quality. The 9th Agro-Indu trial Conference – Food Inno ation A ia 2007: “Q” Food for Good Life. 14-15 June 2007, Bangkok, Thailand.

Barik, B.A., Kunda, A.B. and Dey, A.K. 1987. Two phenolic con tituent from *Alpinia galanga* rhizome . J. Phytochem. 26: 2126.

Bania , C., Oreopoulou, V. and Thomopoulo , C. D. 1992. The effect of primary antioxidant and ynergi t on the acti ity of plant extract in lard. J. Am. Oil Chem. Soc. 69: 520-524.

Ben mira, M., Jiang, B., N abimana, C. and Jian, T. 2007. Effect of La ender and Thyme incorporation in unflower eed oil on it re i tance to frying temperature . J. Food Re Int. 40: 341–346.

Berger, K.G. 1984. The practice of frying. PORIM Tech No 9. Bangi, Selangor: Palm Oil Re earch In titue of Malay ia.

Bharga a, K.P. and Sing, N. 1981. Anti- tre acti ity of *Ocimumcanum*.Ind. J. Med. Re . 73:443-451.

Bo kou, D. 2006. Soure of natural phenolic antioxidant . J. Food Sci. Tech. 17: 505-512.

Bozkurt, H. 2007. Compari on of the effect of e ame and *Thymbra spicata* oil during the manufacturing of Turki h dry-fermented au age. J. Food Cont. 18: 149–156.

Caragay, A. B. 1992. Cancer-pre enti e food and ingredient . J. Food Tech. 46: 65–69.

Carl on, D. J., Suprunchuk, T. and Wille , D. M. 1976. Photoxidation of un aturated oil : effect of inglet oxygen quencher . J. Am. Chem. Soc. 53: 656–660.

Cheah, P.B. and Abu-Ha im, N.H. 2000. Natural antioxidant extract from galangal (*Alpinia galanga*) for minced beef. J. Sci. Food Agric. 80: 1565–1571.

Chatzilazarou, A., Gortzi, O. Lala , S., Zoiidi , E. and T akni , J. 2006. Phy icochemical change of oli e oil and elected egetable oil during frying. J. Food Lipid . 13: 27-35.

Che Man, Y. B. and Ja wir, I. 2000. Effect of ro emary and age extract on frying performance of refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying. J. Food Chem. 69: 301-307.

Chen, B.H. and Chen, Y.Y. 1993. Stability of chlorophyll and carotenoid in weet potato lea e during microwa e cooking, J. Agri. Food Chem. 41: 1315–1320.

Chen, F.A., Wu, A.B. and Chen, C.Y. 2004. The influence of different treatment on the free radical ca enging acti ity of burdock and ariation of it acti e component . J. Food Chem. 86: 479–484.

Choe, E. and Min, D.B. 2007. Chemi try of deep-fat frying oil . J. Food Sci. 72: 77-86.

Choi, Y., Lee, S. M., Chun, J., Lee, H. B. and Lee, J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant acti itie and polyphenolic compound of Shiitake (*Lentinus edodes*) mu hroom. J. Food Chem. 99: 381-387.

Cu erlier, M.E., Ber et, C. and Richard, H. 1994. Antioxidant con tituent in age (*Salvia officinalis)*. J. Agri. Food Chem. 42: 665–669.

Da , K.C. and Da , C.K. 2002. Curcumin (diferuloymethane), a inglet oxygen ($^1O_2$) quencher. J. Biochem. Biophy. Com. 295: 62-66.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K. and Liu, R. H. 2002. Thermal proce ing enhance the nutritional alue of tomatoe by increa ing total antioxidant acti ity. J. Agric. Food Chem. 50: 3010-3014.

Du, H. and Li, H. 2008. Antioxidant effect of Ca ia e ential oil on deep-fried beef during the frying proce . J. Meat Sci. 78: 461–468.

Endo, Y., U uki, R. and Kaneda, T. 1985. Antioxidant effect of chlorophyll and pheophytin on the autoxidation of oil in the dark. I. Compari on of the inhibitory effect. J. Am. Oil Chem. Soc. 62: 1375–1378.

Farag, R.S., Mahmoud, E.A. and Ba uny, A.M. 2007. U e crude oli e leaf a a natural antioxidant for the tability of unflower oil during heating. J. Food Sci. Tech. 42: 107-115.

Frankel, E. N., 1984. Lipidoxidation: mechani m, product and biological ignificance. J. Am. Oil Chem. Soc. 61: 1908–1917.

Gazzani, G., Papetti, A., Ma olini, G. and Daglia, M. 1998. Anti- and prooxidant acti ity of water oluble component of ome common diet egetable and the effect of thermal treatment. J. Agric. Food Chem. 46: 4118–4122.

Gennaro, C., Leonardi, F., E po ito, M., Salucci, G., and Quaglia, G. 2002. Fla onoid and carbohydrate content in Tropea red onion : Effect of homelike peeling and torage. J. Agric. Food Chem. 50: 1904–1910.

Gordon, M.H. 2001. The de elopment of oxidati e rancidity in food. *In* Antioxidant in Food. (Porkorny, J., Yani hlie a, N. and Gordon, M.H., ed .). p. 7-20. CRC Pre . New York.

Graziani, G., Pernice, R., Lanzui em S., Vitaglion, P., Ane e, M. and Fogliano, V. 2003. Effect of peeling and heating on carotenoid content and antioxidant acti ity of tomato and tomato- irgin oli e oil y tem . J. European Food Re . Tech. 216: 116-121.

Guihua, X., Xingqian, Y., Jianchu, C. and Donghong, L. 2007. Effect of heat treatment on the phenolic compound and antioxidant capacity of citru peel extract. J. Agric. Food Chem. 55: 330-335.

Gupta, S.K., Praka h, J. and Sri a ta a, S. 2002. Validation of traditional claim of Tul i, *Ocimum sanctum* Linn. a a medicinal plant. Indian J. Exp. Biol. 40: 765–773.

Gutierrez, R., Gonzalez, O. and Dobargane , M.C. 1988. Analytical procedure for the e aluation of u ed frying fat . *In* Frying Food: Principle , Change , New Approache (Verela, G., Bender, A.E. and Morton, I.D. ed .) p. 141-154. VCH Publi her Ltd, London, England.

Hira a, K. and Takema a, M. 1998. Spice Science and Technology. Dekker. New York.

Hopia, A. I., Huang, S. W., Schwarz, K., German, J. B., and Frankel, E. N. 1996. Effect of different lipid y tem on antioxidant acti ity of ro emary con tituent carno ol and carno ic acid with and without α-tocopherol. J.Agric. Food Chem. 44: 2030-2036.

Hra , A.R., Hadolin, M., Knez, Z. and Bauman, D. 2000. Compari on of antioxidati e and ynergi tic effect of ro emary extract with α-tocopherol, a corbyl palmitate and citric acid in unflower oil. J. Food Chem. 71: 229-233.

Iqbal, S. and Bhanger, M.I. 2007. Stabilization of unflower oil by garlic extract during accelerated torage. J. Food Chem. 100: 246-254.

Ito, N., Hiro e, M., Fuku hima, S., T uda, H., Shirai, T. and Tatemat u, M. 1986. Studie on antioxidant : their carcinogenic and modifying effect on chemical carcinogene i1. J. Food Chem. Toxi. 24: 1071–1082.

Jadha , S.J., Nimbalkar, S.S., Kulkarni, A.D. and Madha i, D.L. 1995. Antioxidant acti ity of elected commercial eaweed . *In.* Food Antioxidant :technological, toxicology and health per pecti e . (Madha i, D.L. ed.) p. 5-53. Marcel Dekker. New York.

Jamilah, B., Che Man, B.Y. and Ling Ching, T. 1998. Antioxidant acti ity of *Citrus hystrix* peel extract in RBD olein during frying of fi h cracker . J. Food Lipid . 5: 149-157.

Ja wir, I., Che Man, Y.B. and Ha an, T.H. 2005. Performance of phytochemical antioxidant y tem in refined-bleached-deodorized palm olein during frying. J. Clin. Nutr. 14: 402-413.

Ja wir, I., B., Che Man, Y.B. and Kitt , D. 2000. U e of natural antioxidant in refined palm olein during repeated deep-fat frying. J. Food Re . Inter. 33: 501-508.

Ja anamardi, J., Stu hnoff, C., Locke, E. and Vi anco, J.M. 2003. Antioxidant acti ity and total phenolic content of Iranian (*Ocimum sp.)* acce ion . J. Food Chem. 83: 547–550.

Jung, H.G. and Fahey, G.C. 1983. Nutritional implication of phenolic monomer and lignin: a re iew. J. Anim Sci. 57: 206-219.

Juntachote, T., Berghofer, E., Siebenhandl, S. and Bauer, F. 2007. Antioxidati e effect of added dried Holy ba il and it ethanolic extract on u ceptibility of cooked ground pork to lipid oxidation. J. Food Chem. 100: 129-135.

Kamel, A. and Saleh, M. 2000. Recent tudie on the chemi try and biological acti itie of the organo ulfer compound of garlic (*Allium sativum* L.). J. Nat. Pro. Chem. 23: 455-486.

Kim, W. Y., Kim, J. M., Han, S. B., Lee, S. K., Kim, N. D. and Park, M. K. 2000. Steaming of gin eng at high temperature enhance biological acti ity. J. Nat. Prod. 63: 1702-1704.

Kun, T.Y. 1990. Impro ement in the frying quality of egetable oil by blending with palm olein. Palm Oil Re earch In titute of Malay ia (PORIM). Bangi, Selangor, Mala ia : Palm oil de elopment No.15.

Law on, H. 1995. Food oil and fat : technology, utilization and nutrition. p. 18–115. New York.

Lee, J., Lee, S., Lee, H., Park, K. and Choe, E. 2002. Spinach (*Spinacia oleracea*) powder a a natural food-grade antioxidant in deep-fat-fried product . J. Agric. Food Chem. 50: 5664-5669.

Lee, B. L., Su, J. and Ong, C. N. 2004. Monomeric C18 chromatographic method for the liquid chromatographic determination of lipophilic antioxidant in plant . J. Chromatogr. 1048: 263–267.

Li, Z., Wang, X., Chen, F. and Kim, H.J. 2007. Chemical change and o erexpre ed gene in Sweet Ba il (*Ocimum basilicum* L.) upon methyl ja monate treatment. J. Agric. Food Chem. 55: 706-713.

Liazid, A., Palma, M., Brigui, J. and Barro o, C.G. 2007. In e tigation on phenolic compound tability during microwa e-a i ted extraction. J. Chromatogr. 1140: 29–34.

Lombard, K., Peffley, E., Geoffriau, E., Thomp on,L. and Herring, A. 2005. Quercetin in onion (*Allium cepa* L.) after heat-treatment imulating home preparation. J. Food Comp. Anal. 18: 571–581.

Lu, Y. and Foo, L.Y. 2001. Antioxidant acti itie of polyphenol from age (*Salvia officinalis)*. J. Food Chem. 75: 197–202.

Mai uthi akul, P., Suttajit, S. and Pong awatmanit, R. 2007. A e ment of phenolic content and free radical- ca enging capacity of ome Thai indigenou plant . J. Food Chem. 100: 1409-1418.

Maria Lúcia, A. B., Roberto, G. J. and Maria Beatriz, A. 2002. Influence of po t har e t proce ing condition on yield and quality of ground turmeric (*Curcuma longa* L.). J. Bio Tech. 45: 423-429.

Mat uda, H., Pongpiriyadacha, Y., Morikawa, T., Ochi, M. and Yo hikawa, M. 2003. Ga troprotecti e effect of phenylpropanoid from the rhizome of *Alpinia galangal* in rat : tructural requirement and mode of action. Eur. J. Pharmacol. 471: 59.67.

Meyer , K. J., Watkin , C. B., Pritt , M. P. and Liu, R. H. 2003. Antioxidant and antiproliferati e acti itie of trawberrie . J. Agric. Food Chem. 51: 6887–6892.

Murakami, A., Nakamura, Y., Ko himizu, K. and Ohiga hi, H. 1995. Glyceroglycolipid from *Citrus hystrix*, a traditional herb in Thailand, potently inhibit the tumor-promoting acti ity of 12-O-tetradecanoylphorbol 13-acetate in mou e kin. J. Agric. Food Chem. 43: 2779–2783.

Nakatami, N. and Ikeda, K. 1984. I olation of antioxidati e lignan from papua mace. J. Food Sci. Nutr. 32: 67-103.

Nawar, W.W.1996. Lipid. *In* Food Chemi try. (Fennema, O.R. ed.). p. 210-243. New York.

Naz, S., Siddiqi, R., Sheikn, H. and Sayeed S.A. 2005. Deterioration of oli e, corn and oybean oil due to air, light heat and deep-frying. J. Food Re . Inter. 38:127-137.

Nicoli, M. C., Ane e, M. and Parpinel, M. 1999. Influence of proce ing on the antioxidant propertie of fruit and egetable . J. Food Sci. Tech. 10: 94–100.

Nor, F.M., Mohamed, S., Idri , N.A. and I mail, R. 2008. Antioxidati e propertie of *Pandanus amaryllifolius* leaf extract in accelerated oxidation and deep frying tudie . J. Food Chem.110: 319-327.

Nor, F. M., Mohamed, S., Idri and N. A. I mail, R. 2009. Antioxidati e propertie of *Curcuma longa* leaf extract in accelerated oxidation and deep frying tudie . J. Am. Oil Chem. Soc. 86: 141–147.

Palozza, P., Cal iello, G. and Bartoli, G.M. 1995. Prooxidant acti ity of β-carotene under 100% oxygen pre ure in rat li er micro ome . J. Free Rad Biol. Med. 19: 887-892.

Paquot, C. 1979. IUPAC. Standard method for the analy i of oil , fat and deri ati e , 6th ed. Part I. Pergamon Pre , Pari .

Perkin , E.G. 1967. Non- olatile decompo ition product in heated fat and oil . J. Food Tech. 21: 611-616.

Pratt, D. E. 1992. Natural antioxidant from plant material. *In* Phenolic compound in food and their effect on health (Huang, I. M. T., Ho, C. T. and. Lee, C. Y. ed.) p. 54–72. New York.

Pulla Reddy, A. C. H. and Loke h, B. R. 1992. Studie on pice principle a antioxidant in the inhibition of lipid peroxidation of rat li er micro ome. Department of Molecular and Cellular Biochemi try. 111: 117-124.

Radhakri hnaiah, M., Nage hwar, G. and Narayana, L.L. 1984. Chemotaxonomy of Pandanu and Typha. Current Science, 53: 14.

Samart, N. 2007. I olation and identification of galangin and other compound from *Alpinia galangal* Linnaeu willd. and *Alpinia officinarum* hance. Suranaree Uni er ity of Technology.

Satyanarayana, A., Giridhar, N., Jo hi, G.J. and Rao, D.G. 2000. A corbyl palmitate a an antioxidant for deep fat frying of potato chip in peanut oil. J. Food Lipid. 7: 1-10.

Shahidi, F., Janitha, P.K.and Wana undara, P.D.1992. Phenolic antioxidant. J. Food Sci. Nutr. 32: 67-103.

Shahidi, F. and Wana undara, U.N. 1996. Stabilization of eal blubber and menhaden oil with green tea catechin . J. Am. Soc. Oil Chem. 73: 1183-1190.

Shahidul, M.I., Choi, H. and Loot , D.T. 2008. Effect of dietary onion *(Allium cepa* L.) in a high-fat diet Streptozotocin-induced diabete rodent model. J. Ann. Nutr. Metab.53: 6–12.

Shyamala , B.N., Sheetal Gupta, J., Lak hmi, A. and Jamuna P. 2005. Leafy egetable extract antioxidant acti ity and effect on torage tability of heated oil. J. Food Sci. Emerg. Tech. 6: 239-245.

Sin, W.W., Wong, Y.C., Mak, C.Y. and Yao, W.Y. 2006. Determination of fi e phenolic antioxidant in edible oil : Method alidation and e timation of mea urement uncertainty. J. Food Comp. Anal. 19: 784–791.

Soong, Y-Y. and Barlow, P. J. 2004. Antioxidant acti ity and phenolic content of elected fruit eed . J. Food Chem. 88: 411–417.

Stanko ic, I. 2004. Curcunin: chemical and technical a e ment. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additi e (61 JECFA), FAO.

Ste en on, S.G., Vai ey-gen er, M. and E kin, N.A.M. 1984. Quality control in the u e of deep frying oil . J. Am. Oil Chem. Soc. 61: 1102-1108.

Su, L., Yin, J-J., Charle , D., Zhou, K., Moore, J. and Yu, L. 2007. Total phenolic content , chelating capacitie and radical- ca enging propertie of black peppercorn, nutmeg, ro ehip, cinnamon and oregano leaf. J. Food Chem. 100: 990-997.

Talcott, S.T. and Howard, L.R. 1999. Phenolic autoxidation i re pon ible for color degradation in proce ed carrot puree. J. Agric. Food Chem. 47: 2109-2115.

Tan, Y. A., Ong, S. H., Berger, K. G., Oon, H. H. and Poh, B. L. 1985. A tudy of the cau e of rapid color de elopment of heated refined palm oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 62: 999–1006.

Tee, P-L., Yu of, S. and Mohamed, S. 2002. Antioxidati e propertie of ro elle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in linoleic acid model y tem. J. Food Sci. Nutr. 32: 17-20.

Thomp on, L.U. and Au t, R. 1983. Lipid change in French frie and heated oil during commercial deep frying and their nutritional and toxicological implication . J. Food Sci. Tech. 1983: 246-253.

Tiwari, V., Shanker, R., Sri a ta a, J. and Vankar, S.P. 2006. Change in antioxidant acti ity of pice -turmeric and ginger on heat treatment. J. En iron. Agric. Food Chem. 5: 1313-1317.

Toda, S. 2005. Antioxidati e effect of Polyphenol from lea e of *Artemisia princeps* pamp. On Lipid Peroxidation. J. Food Bio. chem. 29: 305–312.

USDA-ARS. 2005. USDA National Nutrient Databa e for Standard Reference, Relea e 18. Nutrient Data Laboratory (online). A ailable: http://www.ar .u da.go /ba/bhnrc/ndl (January 7, 2006)

Wana undara, U. N. and Shahidi, F. 1998. Antioxidant and prooxidant acti ity of green tea extract in marine oil . J. Food Chem. 63: 335–342.

Wang, T.Y., Chen, M.T., Liu, D.C. and Guo, S.L. 1997. Effect of procedure, pice, herb and ankarice on the quality of Chine e marinated and piced pork hank. J. Chem. Soc. Animal Sci. 26: 211–222.

Yanishlieva, N. 2001. Inhibiting oxidation. *In* Antioxidant in Food (Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. ed.). p. 22-70. Cambridge. CRC Press, Boca Raton, Woodhead Publishing Limited.

Yen, G-C. and Hsieh, G.L. 1997. Antioxidant effect of dopamine and relate compound. J. Bio. Tech. Chem. 60: 1646-1649.

Yen, G.C. and Hung, C.Y. 2000. Effect of alkaline and heat treatment on antioxidative activity and total phenolic of extract from Hsian-tsao (*Mesona procumbens* Hemsl.). J. Food Res. Int. 33: 487-492.

Zandi, P. and Gordon, H. M. 1999. Antioxidant activity of extract from old tea leave. J. Food Chem. 64: 285-288.

Zhang, H., Wu, H. and Weng, X.C. 2004. Two novel synthetic antioxidant for deep frying oil. J. Food Chem. 84: 219-222.

Zuta, P.C., Simpson, B.K., Zhao, X. and Leclerc, L. 2007. The effect of α-tocopherol on the oxidation of mackerel oil. J. Food Chem. 100: 800–807.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Appendix Table 1. Moi ture content of nine herb / pice after incubated at 50 °C for 24-28 hr.

Herb / pice	%Moi ture content
Ba il	9.78±0.10
Sweet ba il	10.23±0.22
Kaffir lime lea e	8.48±0.25
Garlic	8.06±0.28
Red onion	9.15±0.01
Turmeric	8.75±0.25
Galangal	10.91±0.28
Lemon gra	8.39±0.10
Pandanu	8.80±0.02

Appendix Table 2. Solid content of elected herb/ pice extract

Herb / pice extract	Solid content (ppm)
Ba il	38333
Red onion	46724
Turmeric	73833.3
Pandanu	45166.7
Mixture of pandanu and turmeric	68600

Appendix Table 3. Effect of heating cycle on free fatty acid value of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	0.21±0.01a,B	0.21±0.00a,B	0.25±0.02b,B	0.29±0.02c,C	0.31±0.02c,C
BHT	0.20±0.01a,B	0.22±0.00b,B	0.22±0.02b,B	0.26±0.01c,B	0.27±0.02c,B
Pandanu	0.23±0.01ab,C	0.21±0.01a,B	0.23±0.02ab,B	0.26±0.03c,BC	0.25±0.03c,B
Turmeric	0.17±0.01a,A	0.18±0.01ab,A	0.19±0.01ab,A	0.20±0.02b,A	0.19±0.01ab,A
Mixture(1:1)	0.16±0.00a,A	0.17±0.01ab,A	0.19±0.02b,A	0.19±0.02b,A	0.19±0.02b,A

A-D, Mean within a column with different small letter are significantly different ($P < 0.05$)

a-e, Mean within a row with different capital letter are significantly different ($P < 0.05$)

Appendix Table 4. Effect of heating cycle on peroxide value of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	7.43±0.44E,d	5.18±0.07C,c	4.51±0.05C,b	4.86±0.12B,bc	2.44±0.12C,a
BHT	6.38±0.09D,e	5.16±0.42C,d	3.27±0.09A,b	4.64±0.29B,c	2.19±0.08B,a
Pandanu	4.48±0.34B,c	4.70±0.30B,c	4.55±0.07C,c	3.70±0.16A,b	0.64±0.02A,a
Turmeric	2.94±0.09A,b	3.69±0.12A,c	4.15±0.27B,d	4.53±0.23B,e	0.44±0.03A,a
Mixture(1:1)	5.13±0.04C,e	4.39±0.07B,c	4.01±0.09B,b	4.52±0.15B,b	1.99±0.23B,a

A-D, Mean within a column with different small letter are significantly different ($P < 0.05$)

a-e, Mean within a row with different capital letter are significantly different ($P < 0.05$)

Appendix Table 5. Effect of heating cycle on TBARS value of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	7.62±0.09E,b	6.47±0.91B,a	6.17±0.24C,a	9.14±0.05D,c	9.62±0.07D,c
BHT	6.90±0.24D,b	6.75±0.23bB,c	6.02±0.07AB,a	8.33±0.81C,c	8.77±0.20C,c
Pandanu	2.84±0.21B,a	7.13±0.34B,c	5.74±0.63AB,b	6.78±0.16A,c	8.01±0.03B,d
Turmeric	3.24±0.06C,a	5.38±0.34A,b	5.83±0.52AB,b	6.97±0.33AB,c	7.87±0.27AB,d
Mixture (1:1)	2.23±0.03A,a	4.97±0.33A,b	5.34±0.03A,b	7.65±0.37C,c	7.53±0.41A,c

A-C, Mean within a column with different small letter are significantly different ($P < 0.05$)

a-d, Mean within a row with different Capital letter are significantly different ($P < 0.05$)

Appendix Table 6. Effect of heating cycle on iscosity alue of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	82.87±0.06B,a	84.46±0.00E,b	87.30±0.00E,c	91.30±0.00E,d	97.33±0.06D,e
BHT	81.07±0.06A,a	83.53±0.06B,b	84.70±0.10B,c	86.97±0.06B,d	91.87±0.06A,e
Pandanu	82.83±0.06B,a	83.93±0.06D,b	84.73±0.06D,c	88.87±0.06D,d	97.30±0.00D,e
Turmeric	81.10±0.00A,a	83.20±0.00A,b	83.43±0.06E,c	86.00±0.00bA,d	93.00±0.00B,e
Mixture (1:1)	83.20±0.00C,a	83.63±0.06C,b	86.47±0.06C,c	87.70±0.10bC,d	93.80±0.00C,e

A-E, Mean within a column with different letter are ignificantly different ($P < 0.05$)

a-d, Mean within a row with different letter are ignificantly different ($P < 0.05$)

Appendix Table 7. Effect of heating cycle on redness value (a*) of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	-6.53±0.01E,a	-4.62±0.01D,b	-2.43±0.01E,c	4.63±0.01E,d	10.14±0.01E,e
BHT	-6.80±0.01C,a	-5.16±0.0D,b	-2.68±0.01D,c	-0.69±0.01D,d	1.47±0.00C,e
Pandanus	-6.72±0.01D,a	-5.70±0.00C,b	-4.27±0.01C,c	-2.62±0.01C,d	-0.60±0.01B,e
Turmeric	-11.70±0.00A,a	-8.85±0.01A,b	-6.18±0.01B,c	-3.29±0.01B,d	1.94±0.00D,e
Mixture (1:1)	-9.15±0.01B,a	-7.22±0.01B,b	-6.90±0.01A,c	-5.17±0.01A,d	-1.28±0.00A,e

A-E, Mean within a column with different small letter are significantly different ($P < 0.05$)

a-e, Mean within a row with different Capital letter are significantly different ($P < 0.05$)

Appendix Table 8. Effect of heating cycle on yellowne□□alue (b*) of repeated frying oil

Treatment	Number of frying				
	0	1	2	3	4
Control	49.29±0.03B,a	56.34±0.02B,b	62.22±0.03B,c	73.12±0.03B,d	77.84±0.06B,e
BHT	48.34±0.02A,a	53.16±0.02A,b	59.18±0.03A,c	63.81±0.01A,d	67.41±0.01A,e
Pandanu□	61.65±0.03C,a	62.76±0.01C,b	64.63±0.00C,c	66.16±0.04C,d	71.58±0.03C,e
Turmeric	87.01±0.01E,a	90.14±0.01E,b	90.91±0.02E,c	91.19±0.02E,d	91.63±0.02E,e
Mixture (1:1)	81.35±0.01D,a	84.46±0.02D,b	84.99±0.02D,c	85.42±0.02D,d	86.29±0.04D,e

A-E, Mean□within a column with different□mall letter□are□ignificantly different (P < 0.05)

a-e, Mean□within a row with different Capital letter□are□ignificantly different (P < 0.05)

Appendix Table 9. Rancidity score of repeated frying oil

Treatment	Number of frying			
	1	2	3	4
Control	1.10±1.21BC,a	1.30±1.06B,a	1.10±0.96A,a	1.63±1.03A,a
BHT	1.33±0.99C,a	1.13±1.07AB,a	1.13±0.94A,a	1.40±1.10A,a
Pandanu	0.53±0.68A,a	0.90±1.06AB,ab	0.97±0.85A,ab	1.27±1.08A,b
Turmeric	0.77±1.04AB,a	1.03±0.81AB,a	1.10±1.18A,a	1.30±0.88A,a
Mixture	0.63±0.85AB,a	0.67±0.84A,ab	1.17±0.95A,b	1.17±1.09A,b

Mean score of rancidity level (3 = high, 2 = medium, 1 = low, 0 = non detect)

A-C, Mean within a column with different letter are significantly different ($P < 0.05$)

a-b, Mean within a row with different letter are significantly different ($P < 0.05$)

Appendix Table 10. Rancidity score of fried chicken

Treatment	Number of frying			
	1	2	3	4
Control	0.03±0.18A,a	0.23±0.63A,ab	0.47±0.82A,b	0.53±0.82A,b
BHT	0.43±0.73B,a	0.50±0.97A,a	0.47±0.78A,a	0.53±0.73A,a
Pandanu	0.27±0.45AB,a	0.37±0.56A,a	0.33±0.61A,a	0.60±0.86A,a
Turmeric	0.20±0.55AB,a	0.20±0.41A,a	0.37±0.72A,a	0.37±0.76A,a
Mixture	0.20±0.61AB,a	0.30±0.53A,a	0.40±0.77A,a	0.40±0.72A,a

Mean score of rancidity level (3 = high, 2 = medium, 1 = low, 0 = non detect)

A-B, Mean within a column with different letter are significantly different ($P < 0.05$)

a-b, Mean within a row with different letter are significantly different ($P < 0.05$)

ภาคผนวก ข

ชุดที่.....

ใบรายงานผลการทดสอบ

ผลิตภัณฑ์ไก่ทอดและผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ

ชื่อ-สกุล.....วันที่.....เวลา.....

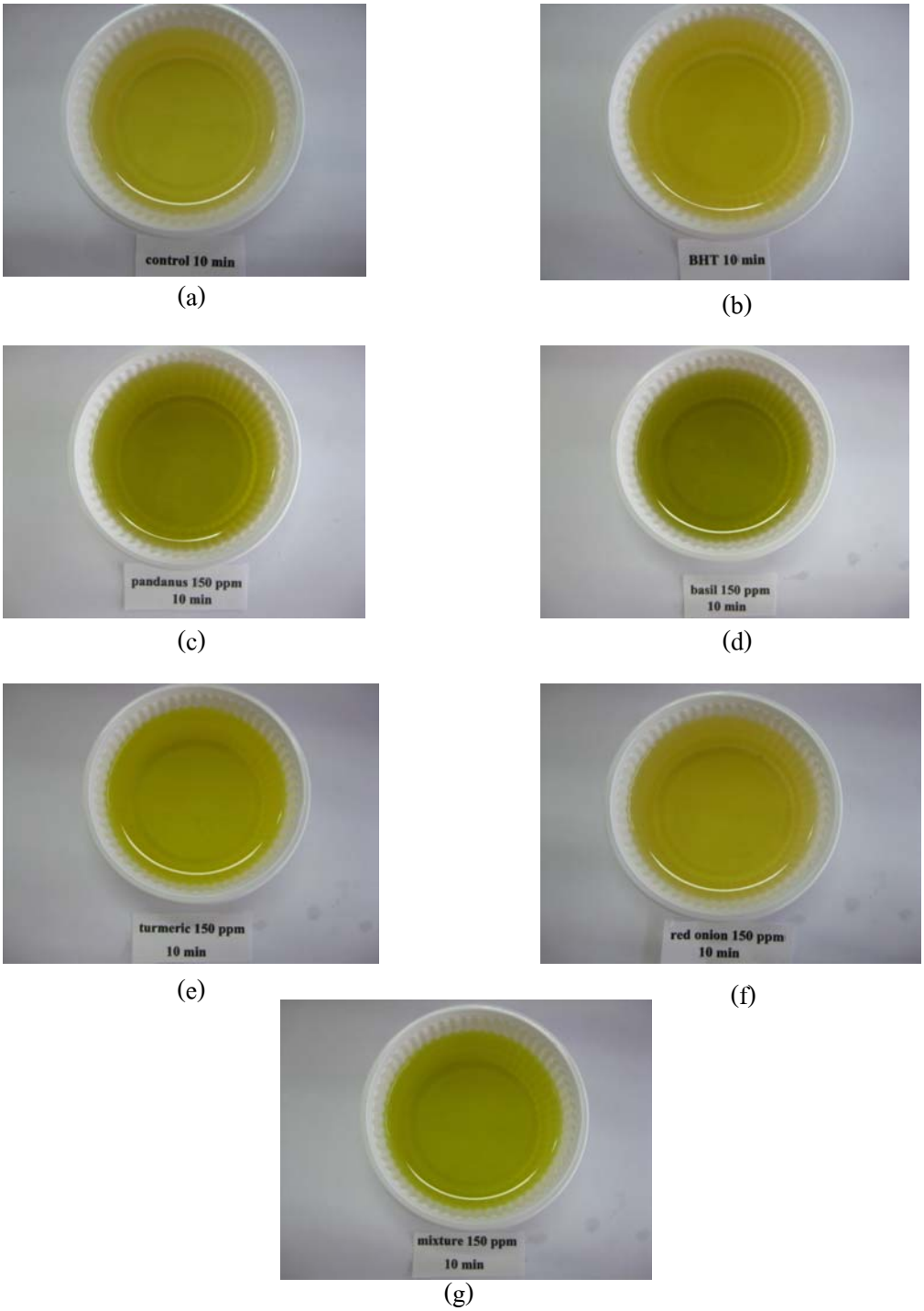
คำอธิบาย กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างที่เสนอให้ แล้วให้คะแนนความชอบของตัวอย่างในแต่ละคุณลักษณะที่ตรงกับความรู้สึกชอบของท่านมากที่สุด และ ☑ กับข้อความที่เลือก

โดยกำหนดให้ 9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบน้อยที่สุด 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	**คะแนนความชอบของตัวอย่าง**				
ผลิตภัณฑ์ไก่ทอด	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
สี					
ลักษณะปรากฏ					
กลิ่นรส					
กลิ่นหืน	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี
ถ้ามีกลิ่นหืน	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง
คุณลักษณะโดยรวม					
ผลิตภัณฑ์น้ำมัน	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
สี					
ลักษณะปรากฏ					
กลิ่น					
กลิ่นหืน	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี	☐ มี ☐ ไม่มี
ถ้ามีกลิ่นหืน	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง	☐ มาก ☐ น้อย ☐ ปานกลาง
คุณลักษณะโดยรวม					

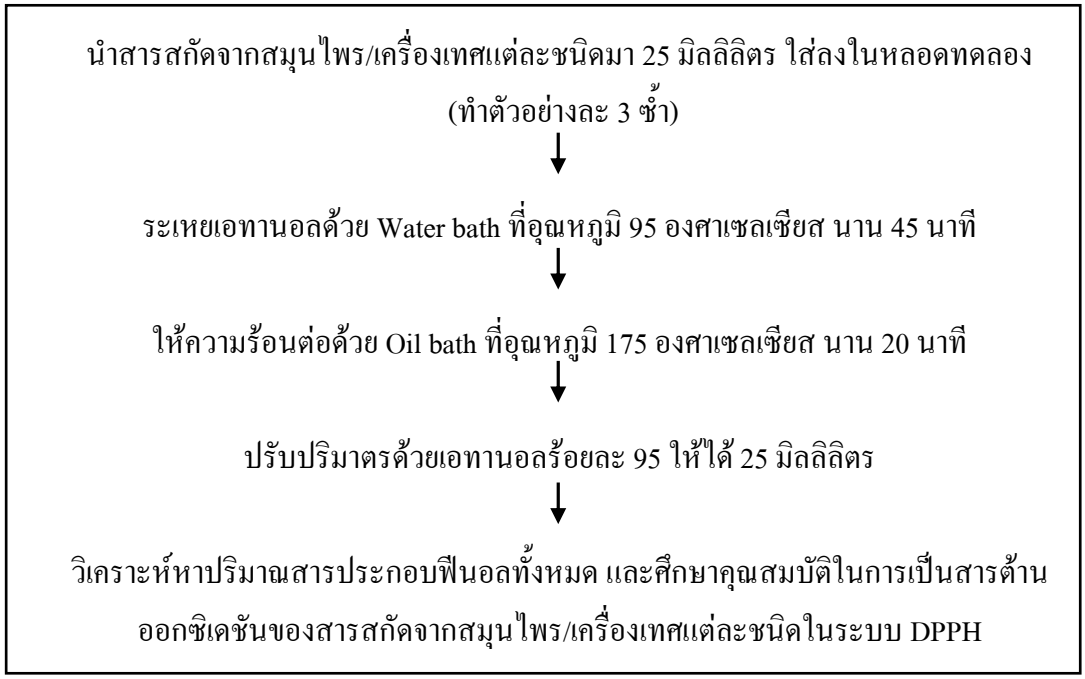
หมายเหตุ : คุณลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดและผลิตภัณฑ์น้ำมันพิจารณาจากสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์

ภาคผนวก ค

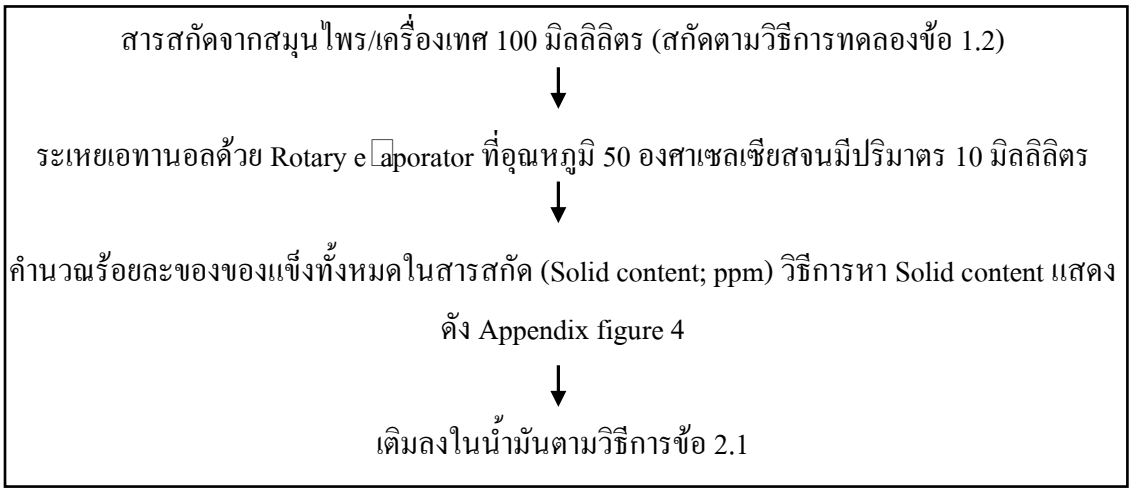


(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)

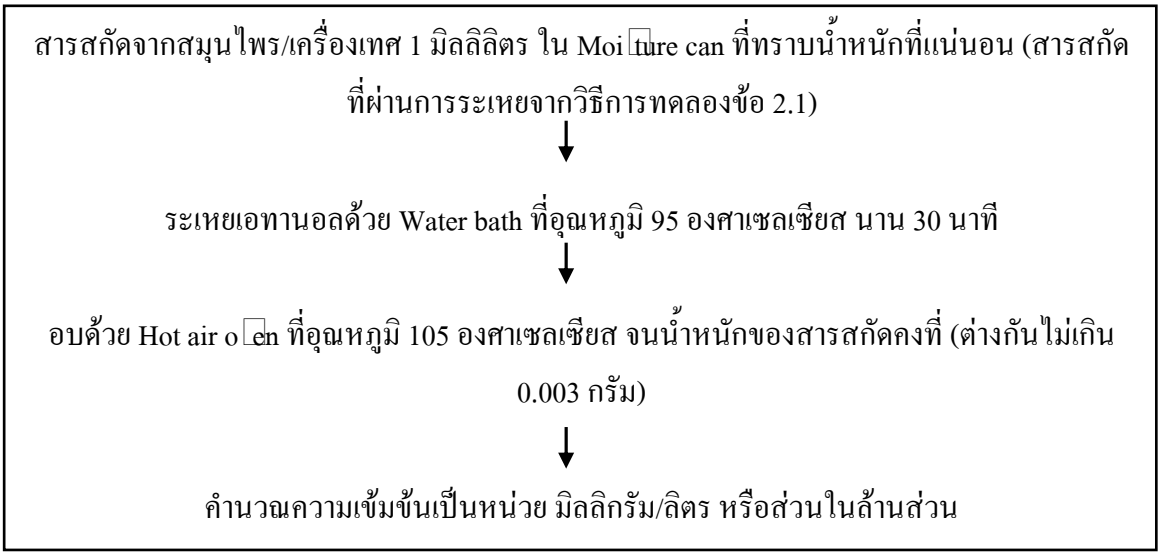
Appendix figure 1. Treated palm oil with (a) control, (b) BHT 150 ppm, (c) pandanu extract 150 ppm, (d) ba il extract 150 ppm (e) turmeric extract 150 ppm, (f) hallot extract 150 ppm (g) mixture 150 ppm



Appendix figure 2. The preparation of herb/ spice extract before analysis of total phenolic content and DPPH radical scavenging activity.



Appendix figure 3. The preparation of herb/ spice extract before added with palm oil



Appendix figure 4. Calculation of olid content in herb/ pice extract

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวศิรินุช ทองฤทธิ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4911020038

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมประมง)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (วิทยาเขตตรัง)	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนการพัฒนาสาขาอุตสาหกรรมเกษตรสู่ความเป็นเลิศ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Thongrit, S., Uawakemanee, W. and Siripongutikorn, S. 2007. Effect of heat treatment on the phenolic compound and antioxidant activity of nine herb/spice extract. Proceeding of 9th National Grad Research Conference, Graduate School, Burapha University. 14-15 March 2008.