รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ความสามารถในการกันหืนของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้ในน้ำมันพืช

ANTI-RANCIDITY CAPACITY OF LOCAL EDIBLE PLANT EXTRACTS IN VEGETABLE OILS

นางสาววริพัสย์ อารีกุล
นางสาวยุพา แก้วดานา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2553
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)	ความสามารถในการกันหืนของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้ในน้ำมันพืช
แหล่งเงิน	
ประจำปีงบประมาณ 2553	จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 315,400 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1	ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ.2552 ถึง กันยายน พ.ศ.2553

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วริพัสย์ อารีกุล

สาขาวิชาเทคโนโลยีการหมัก คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง กรุงเทพ ฯ 10520

โทรศัพท์ 0-2329-8526-7 ต่อ 7271

อีเมล์ : kavaripa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้สารสกัดเอธานอลจากพืชท้องถิ่นและพืชป่าจำนวน 15 ชนิด ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ เพื่อศึกษาศักยภาพในการต้านการหืนในน้ำมันพืช 2 ชนิด (น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม) ด้วยการวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ Conjugated diene hydroperoxides (CD), Peroxide value (PV) และ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 75, 200 และ 500 พีพีเอ็ม เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืช 5 ตัวอย่าง ได้แก่ สารสกัดก่อข้าว (*Castanopsis inermis*), มันปลา (*Glochidion sphaerogynum*), ฮ้านน้ำ (*Mosia dianthera*) และ สมุย (*Micromelum minutum*) เข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และสารสกัดก่อข้าวเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม มีศักยภาพในการต้านการหืนโดยแสดงการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันในปริมาณที่ต่ำในทุกวิธีทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ในทางตรงข้ามเมื่อศึกษาศักยภาพในการต้านการหืนของสารสกัดพืชแต่ละความเข้มข้น (200, 350 และ 500 พีพีเอ็ม)ในน้ำมันปาล์มที่เติมเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน พบว่า สารสกัดพืช 3 ชนิด ได้แก่ เชียงดา (*Gymnema inodorum*), สมุย (*M. minutum*) และปลัง (*Basella alba*) ที่ความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม มีศักยภาพในการต้านการหืนได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที (200 พีพีเอ็ม) จากการทดลองขั้นต้นสามารถคัดเลือกสารสกัดพืชได้เพียง 4 ตัวอย่าง สำหรับใช้ศึกษาการต้านการหืนของน้ำมันแต่ละชนิดในขั้นต่อไป

นำน้ำมันถั่วเหลืองมาเติมสารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และสมุย ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองส่วนที่ 1 นำตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และศึกษาการเกิดออกซิเดชันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ การทดลองส่วนที่ 2 นำตัวอย่างน้ำมันมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 วัน จากนั้นวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี CD, PV, TBARS, para-anisidine value (p-AV),

ลิขสิทธิ์นี้เป็นของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fatty acid (FFA), ค่าความคงตัว (oil stability index, OSI) และความแตกต่างด้านสี (ΔE) ผลการทดลองที่ 1 พบว่า ค่าการเกิดออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นในทุกวิธีการทดสอบ สำหรับการเติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยมีผลในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบีเอชทีเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม โดยสารสกัดพืชทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกวิธีการทดสอบ ($p>0.05$) ยกเว้นวิธี FFA ส่วนความแตกต่างด้านสี (ΔE) ตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที และผลการทดลองส่วนที่ 2 พบว่า สารสกัดสมุยมีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุดตามด้วยสารสกัดฮ้านน้ำ

สำหรับน้ำมันปาล์มศึกษาการเติมสารสกัดเชียงดาและสมุยที่ความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม โดยทำการทดลองเช่นเดียวกันกับน้ำมันถั่วเหลือง แต่ในการทดลองส่วนที่ 1 น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองจะเติมเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม พบว่า ตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชส่วนใหญ่มีแนวโน้มในการต้านการหืนได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที โดยสารสกัดสมุยที่ความเข้มข้นสูงมีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุดเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD, PV, TBARS, p-AV และ OSI ส่วนสารสกัดสมุยความเข้มข้น 350 พีพีเอ็มและเชียงดาความเข้มข้น 500 พีพีเอ็มมีผลไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ค่า ΔE ของทุกตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลการทดลองส่วนที่ 2 พบว่า สารสกัดสมุยเข้มข้น 500 พีพีเอ็มให้ผลการทดลองดีที่สุดเช่นเดียวกับการทดลองส่วนที่ 1 รองลงมา คือ สารกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม และเชียงดา 500 พีพีเอ็ม จากผลการทดลองจึงคัดเลือกสารสกัดสมุยและเชียงดาความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

การทดลองสุดท้ายทำการทดสอบในน้ำมันปาล์ม โดยการเติมสารสกัดสมุยและเชียงดาความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม แล้วให้ความร้อนน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วทอดข้าวเกรียบกุ้ง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน และประเมินการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า โดยทำการทดลองซ้ำเป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน ผลการทดลองพบว่า เฉพาะวันที่ 1 เท่านั้นที่สารสกัดสมุยแสดงค่าการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แต่หลังจากนั้นไม่พบความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ส่วนสารสกัดเชียงดาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในพืชอาจถูกทำลายในระหว่างการให้ความร้อน ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารสกัดสมุยในการทดสอบวันแรกมีการยอมรับจากผู้ทดสอบต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดด้วยน้ำมันอื่นๆ แต่หลังจากนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

คำสำคัญ: พืชท้องถิ่น วัตถุกันหืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title:	Anti-rancidity Capacity of Local Edible Plant Extracts in vegetable oils
Researcher:	Ms.Varipat Areekul and Ms.Yupa Kaewdana
Faculty:	Agro-Industry
Department:	-

Abstract

The uses of 15 ethanolic extracts from local and wild plant at 3 different concentrations in 2 vegetable oils (soybean and palm oil) were evaluated their anti-rancidity potential. The lipid oxidation was determined by 3 different procedures including conjugated diene hydroperoxides (CD), peroxide value (PV) and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS). The soybean oil samples were added each extract at various concentration (75, 200 and 500 ppm) and stored at 40°C for 20 days. The 5 oil samples with 500 ppm of *Castanopsis inermis*, *Glochidion sphaerogynum*, *Mosia dianthera* and *Micromelum minutum* extracts and with 200 ppm of *C. inermis* extracts showed their potential for anti-rancidity which exhibited lower values of all lipid oxidation procedures compared with control. On the other hand, the evaluation of anti-rancidity potential in palm oil (added with 5 ppm ferric ion) was examined at extract concentration (200, 350 and 500 ppm) and kept at same temperature for 28 days. The result revealed that 3 plant extracts of *Gymnema inodorum M. minutum* and *Basella alba* at concentration of 350 and 500 ppm had their anti-rancidity potential closed to sample with BHT (200 ppm). For preliminary experiment, only 4 extracts in each oil were chosen for next experiment.

The 500 ppm of *C. inermis*, *G. sphaerogynum*, *M. dianthera* and *M. minutum* extracts was added into soybean oil. This experiment was divided in 2 parts. First, the oil added with extracts was stored at 40°C and evaluated the lipid oxidation for 8 weeks. Secondly, the oil samples were heated to 180°C for 30 min and stored at room temperature for 8 day. The lipid oxidation was determined by CD, PV, TBARS, para-anisidine value (p-AV), free fatty acid (FFA) and oil stability index (OSI). The color difference (ΔE) was also observed. From experiment I, it was found that the increases in lipid oxidation in all methods were observed when storage time increased. In addition, the extracts of *M. dianthera* and *M. minutum* exhibited the best results in retarding lipid oxidation compared with oil added BHT (75 ppm). Both extracts had no significant difference in all tests ($p>0.05$) except FFA. The ΔE of all samples added extracts showed higher value compared with control and oil added BHT. From the second experiment, *M. minutum* extract tended to be the best result by decelerating lipid oxidation following by *M. dianthera* extract.

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For palm oil, the additions of *G. inodorum and M. minutum* extracts at two concentration (350 and 500 ppm) were determined. The same experiment was conducted as soybean oil experiment except the addition of 5 ppm ferric ion in palm oil in experiment I. From experiment I, most samples with extracts tended to be anti-rancidity better than control and oil added BHT and *M. minutum* at high concentration tended to be the best inhibition of lipid oxidation observed by CD, PV, TBARS, p-AV and OSI. The extracts of *M. minutum* at 350 ppm and *G.inodorum* at 500 ppm showed similar results. All samples added extracts increased ΔE value as storage time increased. The extracts of *M. minutum* at 500 ppm showed the same result in experiment II followed by *M. minutum* at 350 ppm and *G.inodorum* at 500 ppm. From these results, The extracts of *M. minutum* and *G.inodorum* at 500 ppm were chosen for further experiment.

The last experiment was done in palm oil. The extracts of *M. minutum* and *G.inodorum* at 500 ppm were added into palm oil and heated to 180°C for 15 min and cooled at room temperature for a night. The experiment was repeated for 5 day consecutively and shrimp chip was fried every day after day. The lipid oxidation was evaluated as previous experiment. Only the first day, the *M. minutum* extract had lower lipid oxidation compared to control, then no significant difference compared to control. In addition, the extracts of *G. inodorum* had no significant difference compared with control. These results indicated that the bioactive compound could be destroyed during heating process. The sensory evaluation revealed that shrimp chip fried in oil added *M. minutum* extract at the first day experiment had less consumer acceptable compared to those fried with other oil samples. After that, no significant different in sensory evaluation was observed ($p>0.05$).

Keywords: Local plant, Anti-rancidity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างพืชพื้นบ้านสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.สุธรรม อารีกุล และคณะ ที่กรุณาคัดเลือกและทำการตรวจสอบลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของตัวอย่างพืชทั้งหมด

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตรที่ช่วยอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้านระหว่างการทำงานวิจัย

นางสาววริพัสย์ อารีกุล
นางสาวยุพา แก้วดานา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ XI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 บทนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 น้ำมันพืช 3

2.2 การเสื่อมเสียของน้ำมัน 4

2.3 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างการทอด 5

2.4 สารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอด 6

2.5 วิธีวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน 7

2.6 วัตถุกันหืน 11

2.7 พืชท้องถิ่นและสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 24

3.1 วัตถุดิบ 24

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 25

3.3 สถานที่ดำเนินงาน 25

3.4 วิธีการทดลอง 26

บทที่ 4 ผลการวิจัย 31

4.1 ความเป็นไปได้ในการใช้สารสกัดจากพืชในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช 31

4.2 ศักยภาพของสารสกัดจากพืชที่คัดเลือกมาในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช 53

4.3 ผลการศึกษาความเสถียรของน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่เติมสารสกัดจากพืชที่คัดเลือก 106

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 121

5.1 สรุปผลการวิจัย 121

5.2 ข้อเสนอแนะ 123

บรรณานุกรม 124

ภาคผนวก 130

ภาคผนวก ก 131

ภาคผนวก ข 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค.....134
ภาคผนวก ง.....135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลอง.....24
4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า Conjugated diene hydroperoxide (CD) ในน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา.....32
4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา.....36
4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา.....41
4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า Conjugated diene hydroperoxide (CD) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา.....44
4.5 ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา.....48
4.6 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา.....51
4.7 พารามิเตอร์สีของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช.....62
4.8 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....63
4.9 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....63
4.10 ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....64
4.11 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืชเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน.....66
4.12 พารามิเตอร์สีของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....73
4.13 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....74
4.14 ค่า (a*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....74
4.15 ค่า (b*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....75
4.16 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชเมื่อให้ความร้อน180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที.....76
4.17 พารามิเตอร์สีของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช.....87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.18 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....88

4.19 ค่า a* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....88

4.20 ค่า b* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....89

4.21 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....91

4.22 พารามิเตอร์สีของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....101

4.23 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....102

4.24 ค่า a* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....102

4.25 ค่า b* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....103

4.26 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที.....105

4.27 ค่าความคงตัว (Induction time, h) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้ง.....112

4.28 พารามิเตอร์สีของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชก่อนการทอดข้าวเกรียบกุ้ง.....113

4.29 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการทอดข้าวเกรียบกุ้ง.....114

4.30 ค่า a* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการทอดข้าวเกรียบกุ้ง.....114

4.31 ค่า b* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการทอดข้าวเกรียบกุ้ง.....115

4.32 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืช เมื่อใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้งซ้ำ.....115

4.33 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืช (การทอดครั้งที่1).....118

4.34 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช (การทอดครั้งที่3).....119

4.35 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช (การทอดครั้งที่ 5).....120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ง1 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส....136

ง2 ค่า a* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศเซลเซียส....137

ง3 ค่า b* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส....138

ง4 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....139

ง5 ค่า a* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....140

ง6 b* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....141

ง7 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส....142

ง8 ค่า a* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส....143

ง9 ค่า b* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส....144

ง10 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....145

ง11 ค่า a* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....146

ง12 ค่า b* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 การสร้างและสลายตัวของสารประกอบระหว่างการทอด....6
2.2 การเกิดสารประกอบต่างๆในน้ำมันทอด....7
2.3 ความแตกต่างของกรดไขมันที่เป็นคนจูเกตและที่ไม่ใช่คอนจูเกต....8
2.4 ปฏิกิริยาระหว่างมาลอนไดอัลดีไฮด์และกรดไทโอบาร์บิทูริก....9
2.5 ปฏิกิริยาระหว่าง p-anisidine reagent และมาลอนไดอัลดีไฮด์....10
2.6 โครงสร้างของวัตถุกันหืนสังเคราะห์บางชนิด....12
2.7 พืชท้องถิ่นที่ใช้ในการศึกษา....22
4.1 ค่า CD ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....54
4.2 ค่า PV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....56
4.3 ค่า TBARS ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอทานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....57
4.4 ค่า p-AV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอทานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....58
4.5 ค่า FFA ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....59
4.6 ค่าความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....61
4.7 ค่า CD ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....68
4.8 ค่า PV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....69
4.9 ค่า TBARS ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....70
4.10 ค่า p-AV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....71
4.11 ค่า FFA ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....71
4.12 ค่า Induction time ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....72
4.13 ค่า CD ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....78
4.14 ค่า PV ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.15 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....81

4.16 ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....83

4.17 ค่า FFA ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....84

4.18 ค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน....86

4.19 ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....92

4.20 ค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....95

4.21 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....96

4.22 ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....98

4.23 ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....99

4.24 ค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที....100

4.25 ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง....106

4.26 ค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง....108

4.27 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง....109

4.28 ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง....110

4.29 ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง....111

ก1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของ MDA (ug/ml) ได้สมการเส้นตรง $y = 0.2496x$....131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 บทนำ

น้ำมันพืช เป็นไขมันชนิดหนึ่งที่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ผลิตจาก ถั่วเหลือง ปาล์ม ข้าวโพด รำข้าว งา และ เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น น้ำมันพืชมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ร่างกายสามารถดูดซึมและย่อยได้ง่าย รวมทั้งมีกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่าไขมันจากสัตว์ (www.dit.go.th/contentdetail.asp?typeid=11&catid=102&ID=91, 2553) ซึ่งปริมาณการใช้น้ำมันจากพืชในศตวรรษนี้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยน้ำมันพืชที่มีปริมาณการผลิตสูงสุด ได้แก่ น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่งเหลือง ตามลำดับ (Gunstone, 2011) อย่างไรก็ตาม น้ำมันพืชส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงทำให้เสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย หรือเรียกทั่วไปว่า การเกิดการหืน กระบวนการดังกล่าวทำให้กลิ่นและรสชาติของน้ำมันที่ผิดปกติ (นิธิยา, 2548)

การป้องกันการหืนของน้ำมัน สามารถทำได้ด้วยการเติมวัตถุกันหืน ทั้งจากสารจากธรรมชาติ หรือสารสังเคราะห์ ได้แก่ เลซิทิน วิตามินอี บิวทิเลเตตไฮดรอกซี- อะนิโซล (Butylated hydroxyl anisol, BHA) บิวทิเลเตตไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxyltoluene, BHT) (นิธิยา, 2549) แต่การบริโภคสารสังเคราะห์เหล่านี้ในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ (Moure และคณะ, 2001) อีกทั้ง แนวโน้มของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ต้องการลดการบริโภคอาหารที่เติมสารสังเคราะห์ เพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดโรคต่างๆ ผู้ประกอบการจึงหันมาใช้สารกันหืนจากธรรมชาติมากขึ้น (สันติ, 2535) ประกอบกับ วัตถุกันหืนจากส่วนต่างๆ ของพืช ได้รับการยอมรับมากขึ้นว่าเป็นสารกันหืนจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัย (Wanasundara and Shahidi, 2005)

ดังนั้น การทดลองนี้ จึงมุ่งให้ความสนใจในการศึกษาการใช้วัตถุกันหืนจากธรรมชาติที่สกัดจากพืชท้องถิ่น 15 ชนิด โดยทดสอบความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เพื่อเป็นสารกันหืนตามธรรมชาติในน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม อันเป็นแนวทางในการลดปริมาณการใช้สารกันหืนสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร รวมทั้งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพืชให้คุ้มค่า และอาจทำให้เกิดพืชเศรษฐกิจใหม่ๆ ที่สามารถส่งเสริมการเพาะปลูก ทำให้เกิดรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ของสารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม

1.2.2 ศึกษาศักยภาพของสารสกัดจากพืชที่คัดเลือกมาในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม

1.2.3 ศึกษาความเสถียรของน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่เติมสารสกัดจากพืชที่คัดเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การทดลองนี้ มุ่งเน้นในการวิจัยสารสกัดจากพืชท้องถิ่นและพืชป่าที่เป็นพืชอาหาร ที่ความเข้มข้นต่างๆ 3 ระดับ ของพืชทั้งหมด 15 ชนิด เพื่อประเมินความสามารถของพืชในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธี Conjugated diene hydro-peroxides (CD) และ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) แล้วคัดเลือกสารสกัดพืชมา 4 ทรีทเมนต์ มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำมัน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่วนที่สอง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ภายหลังการให้ความร้อน แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้วยวิธี CD, TBARS, Free fatty acid content (FFA), Peroxide value (PV) และ *p*-Anisidine value (*p*-AV) รวมทั้งวิเคราะห์ค่าความคงตัวต่อการออกซิเดชัน (oil stability index: OSI) และการเปลี่ยนแปลงค่าสี โดยทดลองเปรียบเทียบกับน้ำมันควบคุมและที่เติมบีเอชที

จากนั้นคัดเลือกสารสกัดจากพืช 2 ทรีทเมนต์ มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบโดยใช้ข้าวเกรียบกุ้ง และศึกษาความเสถียรของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชด้วยการทอดซ้ำ โดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำมัน เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากน้ำมันควบคุมและที่เติมบีเอชที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันพืช

น้ำมันและไขมันมีองค์ประกอบหลักเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไตรกลีเซอไรด์ ที่กลีเซอรอลจับกับกรดไขมัน 3 โมเลกุลด้วยพันธะเอสเทอร์ น้ำมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย (ศิวาพร, 2546) น้ำมันและไขมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชและสัตว์ ในอดีตไขมันจากสัตว์มีปริมาณการค้าและการบริโภคสูงที่สุด แต่ในช่วงศตวรรษที่ยี่สิบนี้ ปริมาณการใช้น้ำมันจากสัตว์ได้ลงลงอย่างมากจนกระทั่งในปี ค.ศ. 2009 ปริมาณการใช้น้ำมันจากสัตว์เหลือน้อยกว่า 16 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำมันจากพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Gunstone, 2011) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก น้ำมันจากพืชประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในปริมาณสูง (ศิวาพร, 2546)

2.1.1 น้ำมันถั่วเหลือง

น้ำมันถั่วเหลือง เป็นน้ำมันที่มีการผลิตเป็นอันดับสองของโลกรองจากน้ำมันปาล์ม (Gunstone, 2011) ได้จากการสกัดเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine max* (L) Merr) ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงถึง 86-88 เปอร์เซ็นต์ เช่น กรดโอเลอิค 30-35 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนเลอิค 45-55 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลนิค 5-10 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวเหล่านี้มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นตัวทำละลาย และช่วยในการดูดซึมวิตามินบางชนิด อีกทั้งยังช่วยลดระดับโคเลสเตอรอล (ธารดาว, 2546) ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้ในการผลิตมายองเนสและน้ำมันสลัดชนิดต่างๆ แต่ไม่นิยมใช้ในการทอดอาหาร เพราะความร้อนและอากาศจะทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันถั่วเหลืองเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย และทำให้เกิดกลิ่นที่ผิดปกติของน้ำมัน (นิธิยา, 2548) ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงนิยมเติมสารกันหืน เช่น BHA, BHT และ propyl gallate (ศิวาพร, 2546)

2.1.2 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีการผลิตสูงที่สุดของโลก (Gunstone, 2011) ได้จากการสกัดผลปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq) ในส่วนของชั้นเปลือก (mesocarp) และส่วนชั้นเนื้อในเมล็ด (kernel) (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) น้ำมันจากส่วนเปลือกจะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันจากเนื้อใน น้ำมันจากส่วนเปลือกมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 48 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยกรดโอเลอิค 39 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนเลอิค 9 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลนิคเล็กน้อย น้ำมันชนิดนี้มีความคงตัวสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง จึงมักใช้ในการทอดอาหาร ส่วนน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดซึ่งมีกรดลอลิค ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูง ซึ่งกรดลอลิคนี้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันจากเนื้อในไม่มีสี อาจมีสีขาว หรือสีเหลืองอ่อน สามารถนำไปใช้ในการทำไอศกรีม รวมถึงสบู่และมายองเนส (ฉกรรจ์, 2551 ,พรชัย, 2549 และ Lin, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเสื่อมเสียของน้ำมัน

การเสื่อมเสียของน้ำมัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.1 การเสื่อมเสียจากเอนไซม์

การเสื่อมเสียจากเอนไซม์ แบ่งเป็น 2 ประเภท

2.2.1.1 ลิโพไลซิส (lipolysis) หรือ lipolytic rancidity หรือ hydrolytic rancidity เป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นจากการย่อยของเอนไซม์ไลเพส ที่ตำแหน่งพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเกิดเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล (นิธิยา, 2548) ปฏิกิริยานี้มักพบในน้ำมันมะพร้าว หรือ lauric fat รวมทั้งไขมันในผลิตภัณฑ์นม ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงกว่าปกติ และส่งผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

2.2.1.2 Ketonic rancidity เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ด้วยเอนไซม์ (enzymatic oxidation) ได้เป็นสารประกอบประเภทคีโตน ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (นิธิยา, 2548)

2.2.2 การเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมี

ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่พบบ่อยที่สุดในอาหารประเภทน้ำมันและไขมัน รวมถึงอาหารที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบ (ศิวาพร, 2546) การออกซิเดชันของน้ำมันเป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอิสระ หรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ของไขมันหรืออาหารที่มีไขมัน ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ (deterioration) มีกลิ่นรสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และอาจก่อให้เกิดอันตรายในการบริโภค โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ กรดไขมันอิสระ ความเข้มข้นของออกซิเจน อุณหภูมิ พื้นที่ผิวสัมผัส ความชื้น วัตถุที่เป็นโปรออกซิแดนท์ (prooxidant) แสงและรังสีต่างๆ รวมถึงสารต้านออกซิเดชัน อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง (ศศิเกษม และ พรรณี, 2530) ซึ่งสามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นได้เป็น 3 ขั้นตอน (Shahidi และ Wanasundara, 2008) ดังนี้

1). ขั้นเริ่มต้น (Initiation) เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ

ปฏิกิริยาเริ่มต้นจากการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมของกรดไขมัน (RH) ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอัลคิล (alkyl free radical, R•) ซึ่งกรดไขมัน (RH) อาจถูกเร่งด้วย แสง อุณหภูมิ หรืออนุมูลของโลหะทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ

$$RH \longrightarrow R\bullet + H\bullet$$

2). ขั้นเพิ่มจำนวน (Propagation) เป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง

อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เกิดเป็นอนุมูลเพอออกซี (peroxy free radical, ROO•) ที่ไม่คงตัว ซึ่งอาจรวมตัวกับไฮโดรเจนอะตอมจากกรดไขมันอื่น เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) และอนุมูลอัลคิล (R•) ตัวใหม่ อนุมูลอัลคิลที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ขึ้นอีก และปฏิกิริยานี้จะเกิดต่อเนื่องแบบเดิมไปเรื่อยๆแบบลูกโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R\bullet + O_2 \longrightarrow ROO\bullet$$
$$ROO\bullet + RH\bullet \longrightarrow ROOH + R\bullet$$

3). ขั้นยุติ (Termination) เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิดสารที่ไม่เป็นอนุมูล

เมื่อมีอนุมูลอิสระจำนวนมากและทำปฏิกิริยากันเองจะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่มีสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ อีกทั้งมีความคงตัว ส่งผลให้ปฏิกิริยาต่อเนื่องนี้ยุติลงได้ ตัวอย่างเช่น

$$R\bullet + R\bullet \longrightarrow R - R$$
$$ROO\bullet + ROO\bullet \longrightarrow ROOR + O_2$$
$$ROO\bullet + R\bullet \longrightarrow ROOR$$

2.3 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างการทอด

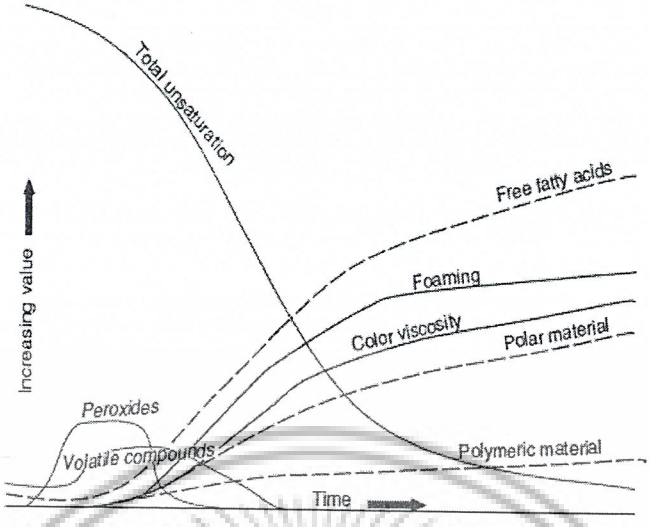
การทอดเป็นหน่วยปฏิบัติการที่มีลักษณะเฉพาะ คือเป็นการนำผลิตภัณฑ์จากหน่วยปฏิบัติการหนึ่งไปใช้ในอีกหน่วยปฏิบัติการ คือใช้น้ำมันที่ได้รับความร้อนในหน่วยหนึ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้อาหารอีกหน่วยหนึ่ง ผลกระทบของการทอดต่ออาหารในเรื่องคุณภาพอาหารจึงเกี่ยวข้องกับน้ำมันและความร้อนที่ใช้ทอด (วิไล, 2547) ในระหว่างที่น้ำมันได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ทำให้เกิดการสลายตัวที่มีความซับซ้อน ทั้งเกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน (Thermolytic) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative reaction) ซึ่งล้วนมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการ และอาจก่อให้เกิดสารประกอบที่มีความเป็นพิษได้ และลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น จุดติดควัน (smoke point) ลดลง และเกิดฟองมากขึ้น (นิธิยา, 2548) โดย ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน มีดังนี้

2.3.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น ขณะการทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำมากน้ำมันถูกไฮโดรไลซ์ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ โมโน และไดเอซิลกลีเซอรอล

2.3.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันถูกออกซิไดส์ได้เป็นสารประกอบชนิดใหม่ ได้แก่ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) อีพอกไซด์ (epoxide) ไฮดรอกไซด์ (hydroxide) คีโตนและ conjugated dienoic acid ซึ่งสารประกอบเหล่านี้อาจแตกตัว (fission) ได้เป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กลง หรืออาจรวมตัวกัน (cross-link) ทำให้เกิดเป็นไดเมอร์ (dimeric) และพอลิเมอร์ (polimeric triacylglycerols)

2.3.3 น้ำมันสามารถสร้างพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งถ้าพันธะนี้เกิดขึ้นภายในโมเลกุลของกรดไขมันเดียวกันโครงสร้างจะเปลี่ยนเป็นวงแหวน (cyclic fatty acid) แต่ถ้าเกิดพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนของกรดไขมันต่างโมเลกุลจะเกิดเป็นไดเมอร์ หรืออาจจะพบการสร้างพันธะในกรดไขมันที่อยู่ในโมลกุลของไตรกลีเซอไรด์เดียวกันหรือต่างกัน ซึ่งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 การสร้างและสลายตัวของสารประกอบระหว่างการทอด
ที่มา : Warner, 2007

2.4 สารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอด

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอดสามารถตรวจวิเคราะห์ได้และแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (มณฑาทิพย์, 2535) คือ

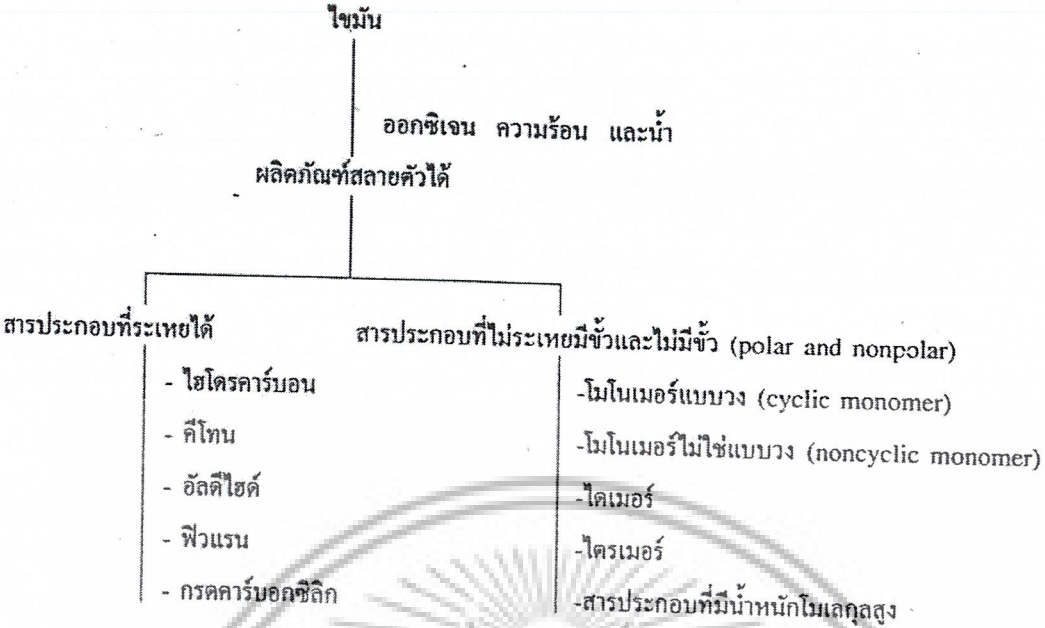
2.4.1 สารประกอบจากการสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposed product)

สารประกอบกลุ่มนี้จะระเหยในระหว่างการทอด ทำให้เกิดกลิ่นรสของอาหารในขณะทอด ส่วนที่เหลือในน้ำมันจะปะปนอยู่ในอาหาร สารประกอบเหล่านี้ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน คีโตน อัลดีไฮด์ ฟิวแรน และ กรดคาร์บอกซิลิก

2.4.2 สารประกอบจากการสลายตัวที่ไม่ระเหย (non- volatile decomposed product)

สารประกอบกลุ่มนี้พบอยู่ในน้ำมันทอดและ จะสลายตัว หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างต่อไปเรื่อยๆ ในขณะทอดอาหาร ในขณะเดียวกัน อาหารจะดูดซับสารเหล่านี้ไว้ การใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายครั้งจะตรวจพบสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น สะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย สารประกอบเหล่านี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ลักษณะทางกายภาพของน้ำมัน เช่น ความหนืดที่เพิ่มขึ้น การเกิดสีและฟอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเกิดกรดไขมันอิสระ ทำให้ค่าคาร์บอนิล ปริมาณไฮดรอกซิล และค่า saponification เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงและเกิดสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 การเกิดสารประกอบต่างๆในน้ำมันทอด
ที่มา : มณฑาทิพย์, 2535

2.5 วิธีวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน

วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันนั้นมีหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV) ค่าคอนจูเกทไดอีนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Conjugated diene hydroperoxide, CD) ค่าไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid reactive substance, TBARS) ค่าพาราอะนิสิดีน (p-anisidine value, p-AV) และการวิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมัน โดยรายละเอียดของวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังนี้

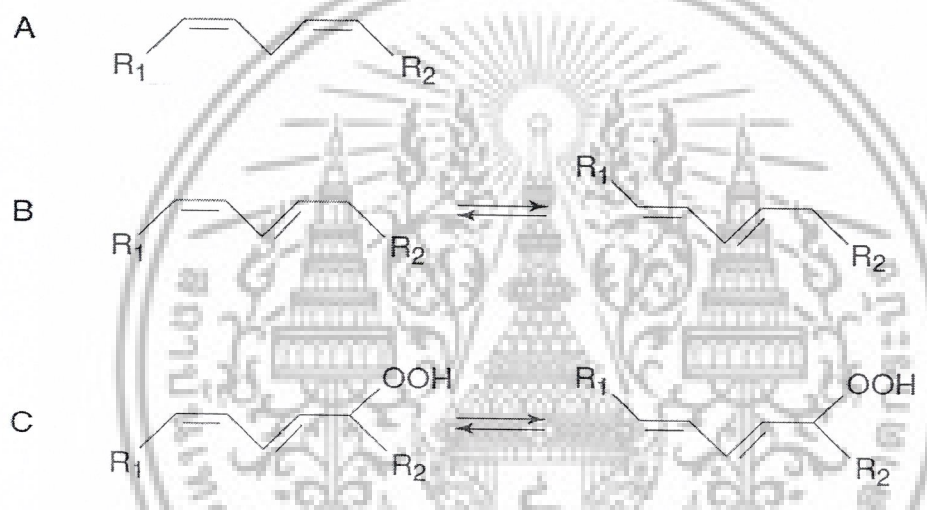
2.5.1. การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) หรือ Acid value (A.V.)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน จะทำให้เกิดกรดไขมันสายสั้นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นที่สองของไขมัน นอกจากนี้ อาจเกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอรอล (Pokorny, 2005) การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถทำได้โดย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไทเทรตกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม จนมีค่าพีเอชเป็นกลาง ซึ่งปริมาณไฮดรอกไซด์ หรือ ด่างที่ใช้จะบ่งชี้ว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า Acid value สูง แสดงถึงโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระ (นิธิยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การวิเคราะห์ค่าคอนจูเกทไดอีนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (conjugated diene hydroperoxide, CD)

การวิเคราะห์ค่า CD เป็นการวิเคราะห์ขั้นตอนตอนแรกของการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (18:2) หรือกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงในน้ำมัน ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมของเมทิลลีน (methylene group) ในตำแหน่งระหว่างพันธะคู่สองพันธะ ทำให้เปลี่ยนโครงสร้าง จาก 1,4-เพนตะไดอีน (1,4-pentadiene) เป็นอนุมูลเพนตะไดอีนิล (pentadienyl radical) อนุมูลที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็น conjugated hydroperoxide violet (White, 1995) การวิเคราะห์ CD นี้ จะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น 2,2,4,-trimethylpentane (isooctane) และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยใช้ UV-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 233 นาโนเมตร (Pegg, 2002)



ภาพที่ 2.3 ความแตกต่างของกรดไขมันที่เป็นคนจูเกตและที่ไม่ใช่คอนจูเกต
(A) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน
(B) A PUFA nonhydroperoxide with a conjugated diene (CD).
(C) A PUFA hydroperoxide with a CD. R1 and R2 indicate the remaining alkyl portions of the PUFA.
ที่มา : Pegg 2002

วิธีนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก ใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย ไม่ต้องใช้สาร รีเอเจนต์ในการทำปฏิกิริยา โดยค่า CD ไม่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงของสี อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ไม่สามารถนำไปใช้ศึกษาเปรียบความคงตัวของน้ำมันต่างชนิดกันได้เนื่องจากค่า CD ที่ได้ขึ้นกับองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิด นอกจากนี้ ตัวทำละลายหรืออาหารบางชนิดอาจมีผลรบกวนต่อการดูดกลืนแสง (White, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV)

ค่าเพอร์ออกไซด์ เป็นการวัดระดับการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยการหาปริมาณหมู่เปอร์ออกไซด์ ที่ในน้ำมันหรือไขมันที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เรียกว่าเกิด oxidative rancidity ซึ่งเป็นการเกิดออกซิเดชันขึ้นเองที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (นิธิยา, 2548) ปฏิกิริยานี้พบในขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชัน ดังนั้น ค่าเปอร์ไซด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด แล้วจะลดต่ำลง เนื่องจากเข้าสู่ปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นที่สอง (Pegg, 2002) การตรวจวัดค่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยใช้ความสามารถของเปอร์ออกไซด์ ที่จะทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ได้เป็นไฮโอดีนอิสระ และหาปริมาณไอโอดีนอิสระที่เกิดขึ้น ด้วยการไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ค่าเพอร์ออกไซด์ที่ได้จะคำนวณเป็น มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (milli equivalents/Kg of sample) (นิธิยา, 2548)

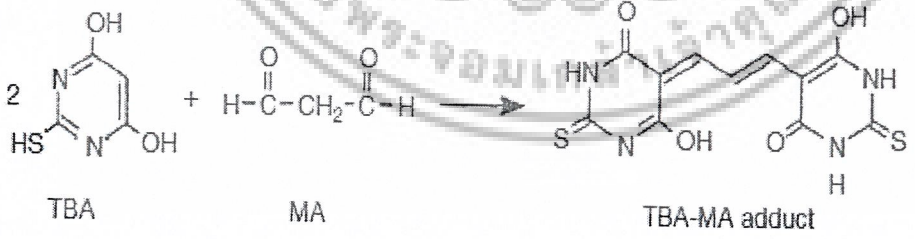
$$ROOH\ (peroxide) + KI \longrightarrow KOH + ROH$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 + starch \longrightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$$

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่าย แต่ผลจากการทดสอบอาจผิดพลาดได้ เนื่องจาก การดูดซึมไอโอดีนที่ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน (Pegg, 2002)

2.5.4 การวิเคราะห์ค่า thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)

วิธีนี้เป็นที่นิยมสำหรับการประเมินคุณภาพของอาหารประเภทไขมันหรือน้ำมันเมื่อเกิดปฏิกิริยาขั้นที่สองของการออกซิเดชัน โดยสารประกอบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ได้แก่ อัลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ทำได้โดย การวัดสารประกอบสีชมพูที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของมาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde, MDA) กับกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid) ที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร



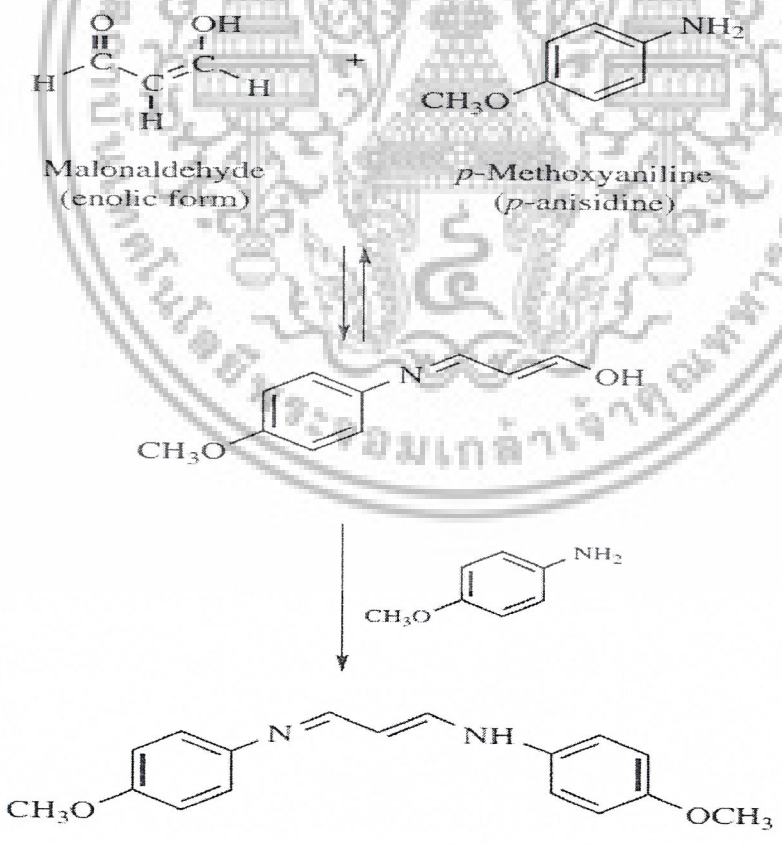
ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาระหว่างมาลอนไดอัลดีไฮด์และกรดไทโอบาร์บิทูริก
ที่มา Shahidi and Wanasundara, 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง แต่มีข้อจำกัด คือ กรดไทโอบาร์บิทูริก ทำปฏิกิริยาไม่เฉพาะเจาะจงกับมาลอนอัลดีไฮด์ ตัวเดียวเท่านั้น แต่มีสารหลายชนิด เช่น น้ำตาลสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริก แล้วก่อให้เกิดสารประกอบที่มีสีชมพูเช่นเดียวกัน (โอภา, 2549)

2.5.5 การวิเคราะห์ค่าพาราอะนิสิดีน (p-anisidine value, p-AV)

เปอร์ออกไซด์ (peroxide) เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะสลายตัวได้เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง ได้แก่ อัลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketones)และแอลกอฮอล์ (alcohols)เป็นต้น ซึ่งอัลดีไฮด์ เป็นสารประกอบที่สำคัญและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของน้ำมัน ดังนั้น จึงมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบกลุ่มดังกล่าว โดยใช้ *p*-anisidine ทำปฏิกิริยากับอัลฟา-อัลดีไฮด์ และ เบต้า-อัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของ 2-อัลคีนาล(2-alkenals) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีกรดอะซิติก และสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร การเพิ่มขึ้นของสารกลุ่มอัลดีไฮด์แสดงว่าตัวอย่างน้ำมันมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (White, 1995) แต่การทดสอบด้วยวิธีการนี้จะสามารถตรวจสอบสารประกอบอัลดีไฮด์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated aldehydes) ได้ดีกว่าชนิดอิ่มตัว (saturated aldehydes) (Shahidi และ Zhong, 2005)



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาระหว่าง p-anisidine reagent และมาลอนไดอัลดีไฮด์
ที่มา: Shahidi และ Zhong, 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 การวิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมัน (the oil stability index (OSI))

วิธีการนี้สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Rancimat ซึ่งวิธีการนี้เป็นการตรวจสอบสารประกอบระเหย โดยการให้ความร้อนและอากาศภายใต้สภาวะที่กำหนดกับตัวอย่างน้ำมันซึ่งจะก่อให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ โดยได้ส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์สายสั้น ได้แก่ กรดฟอร์มิคและกรดอะซีติก which develop in thermally oxidized oil สารระเหยเหล่านี้จะถูกส่งผ่านไปในน้ำ และสามารถวัดอัตราการเกิดสารระเหยได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าซึ่งจุดสิ้นสุดคือจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไปฟ้าอย่างรวดเร็ว โดยจุดสิ้นสุดหรือ induction time นี้ คือค่าความคงตัวของน้ำมัน (oil stability index, OSI) (Wan, 1995 และ Shahidi และWanasundara, 2007)

2.6 วัตถุกันหืน

วัตถุกันหืนจัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของไขมันในอาหารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวัตถุกันหืนจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ส่งผลให้หยุดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่ (ศิวาพร, 2546) คุณสมบัติของวัตถุหันหืนที่ดีนั้น ควรใช้ในปริมาณต่ำ ไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค ใช้สะดวก ละลายได้ดี คงทนต่อสภาวะการแปรรูป รวมถึงไม่ก่อให้เกิดลักษณะอันไม่ปรารถนาในผลิตภัณฑ์นั้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) วัตถุกันหืนสามารถแบ่งออกเป็น

2.6.1 วัตถุกันหืนแบ่งตามกลไกการทำหน้าที่ ได้แก่

2.6.1.1 วัตถุกันหืนปฐมภูมิ (Primary antioxidant)

วัตถุกันหืนปฐมภูมิ เป็นสารที่ทำหน้าที่ทำลายปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชัน โดยธรรมชาติทางเคมีของโมเลกุลเหล่านี้สามารถเป็นตัวรับหรือทำลายอนุมูลอิสระ จึงชะลอและยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในขั้นเริ่มต้น (Initiation) หรือเป็นตัวขัดขวางการเกิดออกซิเดชันในขั้นเพิ่มจำนวน โดยวัตถุกันหืนปฐมภูมิ (AH) ทำปฏิกิริยากับไขมันและอนุมูลเปอร์ออกซี (ROO•) เกิดเป็นโมเลกุลที่มีความคงตัว วัตถุกันหืนเหล่านี้สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลของไขมันและอนุพันธ์ที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นวัตถุกันหืนยังสามารถหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจับกับอนุมูลอัลโคซี (RO•) หรือจับกับอนุมูลวัตถุกันหืน ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัว และไม่แสดงสมบัติเป็นอนุมูลอิสระต่อไป (Wanasundara and Shahidi, 2005) ดังเช่นสมการต่อไปนี้

$$ROO\bullet + AH \longrightarrow ROOH + A\bullet$$
$$R\bullet + AH \longrightarrow RH + A\bullet$$
$$ROO\bullet + A\bullet \longrightarrow ROOA$$
$$RO\bullet + AH \longrightarrow ROH + A\bullet$$
$$RO\bullet + A\bullet \longrightarrow ROA$$
$$A\bullet + A\bullet \longrightarrow AA$$

วัตถุกันหืนในกลุ่มนี้ ได้แก่ โมโนหรือโพลีไฮดรอกซีฟีนอล ซึ่งวัตถุกันหืนปฐมภูมิที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่เป็นสารสังเคราะห์ซึ่งมีสารสำคัญคือ ฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บีเอชเอ (Butylated hydroxyl anisole, BHA) บีเอชที (Butylated hydroxyl toluene, BHT) โพรพิลแกลเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

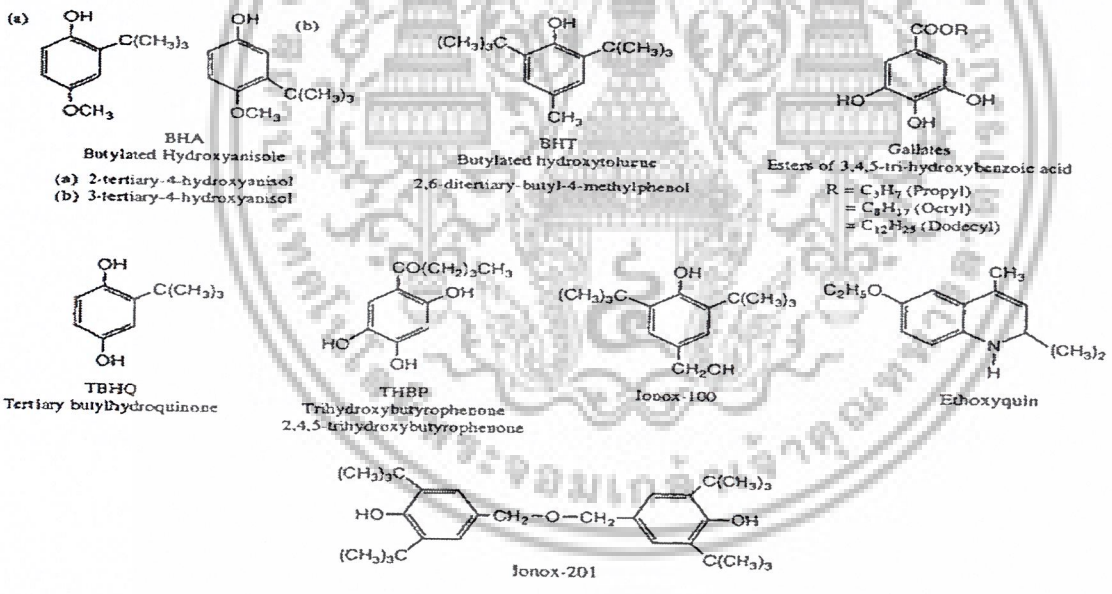
(Propyl gallate, PG) และ ทีบีเอชคิว (Tertiary butylhydroquinone, TBHQ) นอกจากนี้ ยังพบว่าส่วนประกอบของอาหารตามธรรมชาติที่มีสมบัติเป็นวัตถุกันหืนปฐมภูมิ ได้แก่ โทโคเฟอรอล และ แคโรทีนอยด์ เป็นต้น

2.6.1.2 วัตถุกันหืนทุติยภูมิ (Secondary antioxidant)

วัตถุกันหืนทุติยภูมิ ทำหน้าที่ลดอัตราการเกิดออกซิเดชันแต่มีกลไกที่ แตกต่างจากวัตถุกันหืนปฐมภูมิ คือ จะทำหน้าที่จับกับอนุมูลของโลหะที่มีสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ หรือเป็นตัวให้ไฮโดรเจนกับวัตถุกันหืนปฐมภูมิ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่สลายไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไม่ให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ หรือทำหน้าที่เป็นตัวจับออกซิเจน วัตถุกันหืนชนิดนี้มักหมายถึงสารเสริมฤทธิ์กันหืน เนื่องจากสารเหล่านี้ทำหน้าที่ส่งเสริมฤทธิ์การต้านการหืนของวัตถุกันหืนปฐมภูมิ ตัวอย่างของสารประเภทนี้ ได้แก่ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิค แอสคอร์บิลปาล์มมิเตรท เลซิทิน และกรดทาร์ทาริค (Reische และคณะ, 2007)

2.6.2 วัตถุกันหืนสังเคราะห์

วัตถุกันหืนสังเคราะห์เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นและถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความคงตัวของไขมัน น้ำมัน และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ วัตถุกันหืนสังเคราะห์ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (Wanasundara1 and Shahidi, 2005) ซึ่งสารที่นิยม และอนุญาตให้เติมลงในอาหาร ได้แก่ โพพิล แกลเลท, บีเอชที, บีเอชเอ และทีบีเอชคิว เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของวัตถุกันหืนสังเคราะห์บางชนิด
ที่มา : Reische และคณะ, 2007

วัตถุกันหืนสังเคราะห์แต่ละชนิดมีความสามารถในการกันหืนในน้ำมันได้แตกต่างกัน Augustin และ Berry (1983) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของบีเอชเอ บีเอชที ทีบีเอชคิว โพรพิลแกลเลท ไดลอริล ไธโอไดโพรพิโอเนท(dilaurylthiodipropionate, DLTDP), and ไตรไฮดรอกซีบิธิโรฟีโนน (trihydroxybutyrophenone, THBP) โดยเติมลงในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ฟอกสีและขจัดกลิ่น (refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein) ที่ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200 พีพีเอ็ม พบว่า ทีบีเอชคิวมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด ในขณะที่ BHAมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยที่สุด นอกจากนี้ Benchamaporn และคณะ (2009) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของบีเอชที บีเอชที ทีบีเอชคิว โพรพิลแกลเลต และแอลฟาโทโคโฟรอล โดยเติมลงในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ฟอกสีและขจัดกลิ่น และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 13 วัน พบว่า ทีบีเอชคิว มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดการหืนได้ดีที่สุดเช่นกัน อย่างไรก็ตามในบางประเทศ เช่น ประเทศแคนาดา ไม่อนุญาตให้ใช้ทีบีเอชคิว เนื่องจากไม่มั่นใจในความปลอดภัยของวัตถุกันหืนชนิดนี้ (สันติ, 2535)

ประเทศไทยอนุญาตให้ใช้วัตถุกันหืนสังเคราะห์บางประเภทกับอาหารประเภทน้ำมันและไขมันในปริมาณที่แตกต่างกัน ในประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่205 (พ.ศ. 2543) เรื่องน้ำมันและไขมันอนุญาตให้ใช้ โพรพิล แกลเลท บีเอชที บีเอชเอ และทีบีเอชคิว ที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 100, 75, 175 และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ หรือใช้ร่วมกันได้ในระดับความเข้มข้นที่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่น้ำมันปาล์ม อนุญาตให้ใช้โพรพิล แกลเลท ออคติล แกลเลท (octyl gallates)และโดเดซิล แกลเลท (cdodecyl gallates)-ภาษาอังกฤษก่อน ที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 เปอร์เซ็นต์นอกจากนี้ยังอนุญาตให้ใช้บีเอชที, บีเอชเอ และทีบีเอชคิว ได้ไม่เกิน 0.02 เปอร์เซ็นต์ (ประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 56 (พ.ศ. 2524) เรื่องน้ำมันปาล์ม)

การใช้สารกันหืนในปริมาณที่มากเกินไปอาจเป็นสาเหตุให้เกิดอาการผิดปกติแก่ผู้บริโภคได้ จากการศึกษาพิษวิทยาของวัตถุกันหืนสังเคราะห์ พบว่า เมื่อเติมโพรพิลแกลเลตลงในอาหาร และนำไปเลี้ยงหนูที่ความเข้มข้น 1.2 และ 2.3 เปอร์เซ็นต์ทำให้น้ำหนักตัวของหนูทดลองลดลง และเมื่อเลี้ยงหนูที่ความเข้มข้น 2.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10-16 เดือน พบว่า ในเดือนแรกหนูทดลองตาย 40 เปอร์เซ็นต์ และหนูที่เหลือเจริญเติบโตช้ามากและไตถูกทำลาย นอกจากนี้เมื่อผสม BHA ลงในอาหารที่เลี้ยงสุนัขประมาณ 1.4-4.7 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ติดต่อกันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าสุนัขเกิดท้องร่วงเล็กน้อย และมีผลทำให้เกิดอาการแพ้เรื้อรัง รูปร่างผิดปกติ และมีผลเสียต่อเมตาบอลิซึม (นิธิยาและวิบูลย์, 2553) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การผสม BHA ในอาหารเข้มข้นร้อยละ 0.25 ทำให้เนื้อเยื่อของหนูทดลองเจริญผิดปกติ และเมื่อผสม BHA ในอาหารเข้มข้นร้อยละ 0.5 ส่งผลให้หนูเป็นเนื้องอกในช่องท้อง (Tomano และคณะ, 1998 และ Iverson, 1999 อ้างถึงจาก ศิวาพร, 2546) สอดคล้องกับ การทดสอบความเป็นพิษของ BHA และ BHT เปรียบเทียบกับวัตถุกันหืนธรรมชาติ วิตามินอี พบว่า การใช้ BHA, BHT และวิตามินอีในปริมาณสูงเป็นสาเหตุให้เกิดเนื้องอกในหนูทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบวัตถุกันหืนทั้งสามชนิด พบว่า การใช้วิตามินอีมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้ BHA และ BHT (Kahl และ Kappus, 1993 อ้างถึงจาก ศิวาพร, 2546)

2.6.3 วัตถุกันหืนจากธรรมชาติ

วัตถุกันหืนที่ได้จากธรรมชาติมักอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอล เช่น โทโคเฟอรอล ฟลาโวนส์ คาเทชิน และเลซิทิน สารกลุ่มนี้มักพบอยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เครื่องเทศต่างๆ ชา กาแฟ รวมถึงในเมล็ดพืชน้ำมัน โดยวัตถุกันหืนที่ได้จากธรรมชาติที่นิยมใช้ ได้แก่

- Resin guaiac เป็นยางไม้ชนิดหนึ่งอาจเรียกว่า gum guaicol ซึ่งมีการนำมาใช้ในการกันหืนน้ำมันจากสัตว์ แต่ gum guaicol เป็นวัตถุที่ไม่ทนความร้อนและมีราคาแพง
- โทโคเฟอรอล มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาล อาจทำให้ตกผลึกได้ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำ เมื่ออยู่ในรูปบริสุทธิ์จะไม่มีสีและกลิ่น ละลายได้ในน้ำมัน โทโคเฟอรอล ตามธรรมชาติแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ คือ α-โทโค-เฟอรอล β- โท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคเฟอรอล γ-โทโคเฟอรอล และ δ-โทโคเฟอรอล โดย α-โทโคเฟอรอล พบมากที่สุดในจมูกข้าวสาลี และยังพบว่า γ- โทโคเฟอรอล มีคุณสมบัติที่เรียกว่า carry through ในน้ำมันหมู

- เลซิทิน เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันหืนและอิมัลซิไฟเออร์ พบในไข่แดงและถั่วเหลือง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

สารจากธรรมชาติชนิดอื่นๆ ที่มีรายงานการศึกษาถึงสมบัติในการกันหืน ได้แก่ แคโรทีนอนด์ ฟลาโวนอยด์ กรดอะมิโน โปรตีน โปรตีนไฮโรไลเสต สารที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ฟอสโฟลิปิด สเตอรอล และสารประกอบฟินอลิกที่พบในพืชและสารสกัดจากพืช นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารกันหืน วัตถุกันหืนที่ได้จากธรรมชาติช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัวมากขึ้นและมีการระบุว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สะอาดเนื่องจากส่วนประกอบทั้งหมดมาจากธรรมชาติ (Reische และคณะ, 2007)

วัตถุกันหืนจากส่วนประกอบของพืชได้รับการยอมรับมากขึ้นว่าเป็นสารกันหืนจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัย (Wanasundara1 and Shahidi, 2005) จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยนำเอาพืชมาใช้ในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ดังเช่นพิชญ์อร และสุพรรณ (2550) ได้ศึกษาความสามารถในการเป็นวัตถุกันหืนของสารสกัดเอทธานอลของ *Cratoxylum formosum* ในน้ำมันถั่วเหลืองที่ทำให้บริสุทธิ์ เปรียบเทียบกับแอลฟา-โทโคเฟอรอลและบีเอชที พบว่า ค่า PV, TBARS และ oxidative stability index (OSI) ของน้ำมันที่เติมสารสกัดจากติ้วขาว มีค่าต่ำกว่าน้ำมันชุดควบคุมและน้ำมันที่เติมแอลฟา-โทโคเฟอรอล แต่มีค่ามากกว่าน้ำมันที่เติมบีเอชทีทั้งในน้ำมันที่ไม่ผ่านและผ่านการ strip นอกจากนี้ค่า PV, TBARS และ OSI ในน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการ strip มีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าในน้ำมันที่ผ่านการ strip

ณัฏฐินี (2546) ได้ศึกษาผลของการเติมสารสกัดเปลือกมันฝรั่งแห้งที่สกัดโดยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำมันถั่วเหลืองและเก็บที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเปลือกมันฝรั่งแห้ง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า น้ำมันถั่วเหลืองที่เติม BHT และBHA แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าน้ำมันถั่งเหลืองที่เติมทีบีเอชคิวและ โพรพิล แกลเลทpropyl gallate ในปีเดียวกัน Zia-ur-Reĥman และคณะ (2003) ได้ศึกษาผลของการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกมันฝรั่งในน้ำมันถั่วเหลือง เช่นกัน แต่สกัดสารจากเปลือกมันฝรั่งด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ พบว่า สารสกัดสามารถสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ใกล้เคียงกับน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชทีและบีเอชเอ BHT และ BHA

สำหรับการใช้สารสกัดจากพืชอื่นๆ ก็พบเช่นกัน Gámez-Meza และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากกากองุ่นที่สกัดโดยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อเติมสารสกัดกากองุ่นในน้ำมันถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารสกัดกากองุ่นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนได้ดีกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที 0.02 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้น 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีประสิทธิภาพการยับยั้งการหืนได้เทียบเท่ากับน้ำมันที่เติมทีบีเอชคิว 0.02 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Ramalho และ Jorge (2008) ได้ศึกษาความสามารถในการเป็นแอนติออกซิแดนท์ของสารสกัดจากโรสแมรี่ ในน้ำมันถั่วเหลืองโดยเติมสารสกัดจากโรสแมรี่ความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็มลงใน refined soybean oil และให้ความร้อน 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมงพบว่า refined soybean oil ที่เติมสารสกัดจากโรสแมรี่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่า refined soybean oil และ purified soybean oil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากน้ำมันถั่วเหลืองแล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้วัตถุกันหืนที่เป็นสารจากธรรมชาติในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ดังเช่น นิอร (2553) ได้ทดสอบความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันทานตะวันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และน้ำมันทานตะวันสกัดเย็น เมื่อเติมสารสกัดจากกากงา เปรียบเทียบกับการใช้สารออกซิเดชันสังเคราะห์ โดยวิเคราะห์ค่าความคงตัวต่อการออกซิเดชัน (oil stability index: OSI) พบว่า การเติมสารสกัดจากกากงาขาวเข้มข้น 10 และ 50 พีพีเอ็ม หรือสารสกัดจากกากงาดำเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ทำให้น้ำมันถั่วเหลืองมีความคงตัวต่อออกซิเดชันเทียบเท่ากับน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที และบีเอชเอที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม สำหรับน้ำมันทานตะวันผ่านการทำให้บริสุทธิ์ที่เติมสารสกัดกากงาขาวและงาดำที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ให้ความคงตัวต่อออกซิเดชันเทียบเท่ากับบีเอชที และบีเอชเอ ที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ส่วนในน้ำมันปาล์มและน้ำมันทานตะวันสกัดเย็นจากกากงาทั้ง 2 ชนิดให้ความคงตัวน้อยกว่า บีเอชที และ บีเอชเอ

สำหรับงานวิจัยในต่างประเทศ Fasoyiro และคณะ (2001) ได้ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นวัตถุกันหืนของ *Aframomum danelli* ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองโดยเปรียบเทียบกับสารสกัดจากโร*สแมรี่และ d*-โทโคเฟอรอล *พบว่า Aframomum danell* ความเข้มข้น 200 และ 300 พีพีเอ็ม มีผลต่อการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองได้ดีกว่า *d*-โทโคเฟอรอล แต่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำมันที่เติมสารสกัดโรสแมรี่ ในส่วนของนน้ำมันปาล์ม *Aframomum danell* ที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่า *d*-โทโคเฟอรอล และสารสกัดโรสแมรี่ ต่อมา Suja และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของสารสกัดจากกากงาในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันดอกคำฝอย ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า สารสกัดจากงาสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าน้ำมันพืชที่เติม BHT ต่อมา Shyamala และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของสารสกัดจาก กะหล่ำปลี ผักชี ผักเป็ด และป่วยเล้ง ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วลิสง โดยการเติมใบพืชแห้ง 2 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมัน แล้วให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็น เก็บไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าในสัปดาห์แรก น้ำมันที่เติมพืชแห้งมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมบีเอชเอ0.02 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เติมพืชแห้งทั้ง 4 ชนิด มีค่าลดลงและต่ำกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติม บีเอชเอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากน้ำมันถั่วเหลืองแล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้วัตถุกันหืนที่เป็นสารจากธรรมชาติในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ดังเช่น Pan และคณะ (2007) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจาก *Cortex fraxini* ในน้ำมันถั่วลิสง โดยพบว่าสารสกัดจาก *C. fraxini* 0.01, 0.02, 0.05 และ 0.08 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำมัน สามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เทียบเท่ากับน้ำมันถั่วลิสงที่เติมบีเอชที ที่ความเข้มข้นเดียวกัน จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS ในปีเดียวกัน Pan และคณะ (2007) ได้ทดลองเติมสารสกัดจาก *Polygonum cuspidatum* 0.01, 0.02, 0.05 และ 0.08 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรในน้ำมันถั่วลิสงเช่นกัน พบว่า พืชชนิดนี้สามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเทียบเท่ากับน้ำมันถั่วลิสงที่เติมบีเอชที ที่ความเข้มข้นเดียวกัน

Bensmira และคณะ (2007) ได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยการเติมลาเว็นเดอร์ (Lavender) แห้ง 3 เปอร์เซ็นต์ลงในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และไทม์ (Thyme) แห้ง 3 เปอร์เซ็นต์ลงน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน พบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติ นอกจากนี้ Iqbal และ Bhanger (2007) ยังได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน เมื่อเติมสารสกัดเมทธานอลจากกระเทียม 250 500 และ 1000 พีพีเอ็ม ในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน โดยเปรียบเทียบกับบีเอชทีและ บีเอชเอ ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี WG , AAI, PV, CD, CT และ TBARS พบว่า น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันที่เติมสารสกัดกระเทียม 1000 พีพีเอ็ม มีศักยภาพป้องกันการเกิดอออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างที่เติม บีเอชที และ บีเอชเอ

นอกจากนี้ วัตถุกันหืนที่เป็นสารจากธรรมชาติสามารถนำมาการประยุกต์ใช้ในน้ำมันทอดซ้ำได้ ซึ่งการทอดอาหารประเภทที่ต้องใช้น้ำมันมากๆ เรียกว่า deep-fat frying มักใช้ความร้อนสูงหรือใช้น้ำมันในการทอดซ้ำหลายๆครั้ง มีผลให้วิตามินอีที่มีอยู่ในน้ำมันตามธรรมชาติถูกทำลาย รวมถึงกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดส์ และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ได้ง่าย (นิธิยา, 2548) ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายท่านศึกษาผลของสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันทอดซ้ำ Jamilah และคณะ (1998) พบว่าการเติมสารสกัดจากเปลือกมะกรูดในน้ำมันปาล์ม 2,000 พีพีเอ็ม แสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดข้าวเกรียบปลาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาติดต่อกัน 4 วัน ต่อมา Jaswir (2000) ได้ศึกษาการเติมสารผสมที่ได้จากสารสกัดโรสแมรี่ (rosemary) 0.059 เปอร์เซ็นต์, เสจ (sage) 0.063 เปอร์เซ็นต์ และ กรดซิ-ตริก 0.028 เปอร์เซ็นต์ ในการยืดอายุของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทอดมันฝรั่งจำนวน 5 รอบ โดยการวิเคราะห์ค่า PV, *p*-AV, FFA, Iodine value และ Polymer content พบว่าค่าการวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารสารผสมที่ได้จากสารสกัดโรสแมรี่ (rosemary), เสท (sage) และกรดซิตริก มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคดีกว่าตัวอย่างควบคุม

2.7 พืชท้องถิ่นและสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

ประเทศไทยนับว่ามีความหลากหลายทางชีวภาพเป็นระดับต้นๆ ของโลก โดยเฉพาะทรัพยากรพันธุ์พืช ถือเป็นจุดเด่นและจุดได้เปรียบของประเทศหากนำมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าด้วยแนวทางที่ยั่งยืน พืชท้องถิ่นจัดเป็นทรัพยากรพันธุ์พืชกลุ่มหนึ่งที่มีจำนวนมากในบรรดาพันธุ์พืชที่ให้ประโยชน์ พืชท้องถิ่นอาจแบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่ พืชอาหารท้องถิ่น และพืชสมุนไพรท้องถิ่น

พืชอาหารท้องถิ่น หมายถึง พืชที่สามารถนำมารับประทานได้ทั้งสด หรือใช้ปรุงอาหาร ด้วยส่วนต่างๆ ทั้ง ใบ ผล ลำต้น ดอก หัว และราก ซึ่งสามารถหาได้ภายในท้องถิ่น โดยมีรสชาติและคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างกันไปขึ้นกับ ชนิดพืช ฤดูกาล แหล่งที่เก็บหา และวิถีภูมิปัญญาการนำมารับประทานของแต่ละท้องถิ่น ส่วนพืชสมุนไพรท้องถิ่น หมายถึง พืชที่เป็นผลิตผลจากธรรมชาติเฉพาะถิ่น ที่มีความหมายต่อชีวิตมนุษย์โดยเฉพาะในทางสุขภาพ ซึ่งยังมิได้ปรุงหรือแปรสภาพ ยังคงเป็นส่วนของราก ลำต้น ใบ ดอก ผล ดังเดิม และยาสมุนไพร ได้จากการนำเอาพืชสมุนไพรตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมรวมกันเรียกว่า “ตำรับยา” (อัปสร และคณะ, 2553)

นอกจากนี้ พืชท้องถิ่นหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นทั้งอาหารและสมุนไพร สำหรับข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับชื่อและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ รวมทั้งสรรพคุณและการใช้ประโยชน์ของพืชท้องถิ่นที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ผักเหี่ย (*Artemis vulgaris* L. วงศ์ ASTERACEAE)

ผักเหี่ย มักถูกใช้เป็นยากลางบ้านมากกว่าใช้เป็นอาหารโดยชาวเขาเผ่าม้งใช้ใบต้มกับไก่หรือผสมกับพืชอื่นกินเป็นยาบำรุงกำลัง ชาวเขาเผ่ามูเซอและอีก้อใช้ใบสดเป็นยารักษาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ หรือนำทั้งต้นตำพอกรักษาอาการแก้ผื่นคันตามผิวหนัง หรืออังด้วยไอน้ำเพื่อสูดกลิ่นแก้อาการปวดท้อง ปวดหัว เป็นหวัด คัดจมูก เลือดกำเดาไหล ในต่างประเทศ เช่นอินโดนีเซียโดยเฉพาะชาลาวักใช้ใบเป็นอาหารประเภทผัก ส่วนจีนใช้ใบเป็นยาแก้อาการตกเลือดและท้องร่วง (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 ก) นราพร (2552) รายงานว่า ในสารสกัดผักเหี่ยแห้งมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด 59.75 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีค่า EC_{50} เท่ากับ 0.9091 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{+}$ อยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่า TEAC 87.07 มิลลิกรัมสมมูลย์ของ Trolox ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากใบมีสารต่างๆมากกว่า 50 ชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นสาร β-caryophyllene และ β-cubebene นอกจากนี้ในรากและใบยังพบสารในกลุ่ม solubie carbohydrates และ free amino acid เช่น α-alanine β-alanine phenyl alanine arginine aspartic acid glutamic acid glycine leucine lysine pipecolic acid proline serine tyrosine valine และ xylose (สุธรรม และคณะ, 2552ก)

2.7.2 ผักปลัง (*Basella alba* L. วงศ์ BASELLACEAE)

ผักปลัง เป็นไม้เลื้อยประเภทล้มลุก โดยทั่วไป ใช้ยอดอ่อนและใบรับประทานกับน้ำพริกหรือใช้ใบอ่อนและดอกใส่แกงต่างๆ ชาวเขาทุกเผ่าใช้ใบกินเป็นผักสดกินกับน้ำพริก นำไปผัดหรือใส่แกง เผ่าม้งใช้ใช้ยอดต้มกับไก่กินเป็นยาบำรุงกำลัง ส่วนต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ประเทศในแถบเอเชียใต้ และแอฟริกา จะใช้เป็นผักสดหรือปรุงในน้ำแกงต่างๆ (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 ข)

คุณค่าทางโภชนาการของยอดผักปลัง 100 กรัม จะให้พลังงาน 112 กิโลจูล ประกอบด้วยโปรตีน 2.1 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 3.9 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 1.3 เปอร์เซ็นต์ วิตามินเอ 1686-6390 IU วิตามินซี 29-166 มิลลิกรัม แคลเซียม 16-117 มิลลิกรัม และเหล็ก 1.2-3.1 มิลลิกรัม (สุธรรม และคณะ, 2552ก) ก่อนหน้านี้ นันทวันและคณะ (2542) รายงานว่า ผักปลังมีผลต่อการกดระบบประสาทส่วนกลาง และพบองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน melatonin เคอวซีติน และวิตามินเค นอกจากนี้ (Lakshminarayana และคณะ, 2007) พบว่า ผักปลังมีลูทีน (lutein)และซีแซนทีน (zeaxanthin) ในปริมาณ 113.82 และ 1.76 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง นราพร (2552) รายงานว่า ผักปลังสดมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี TBARS โดยมีค่าเท่ากับ 6.597 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

2.7.3 ราชาวดีป่า (*Buddleja asiatica* Lour. วงศ์ BUDDLEJACEAE)

ชาวเขาเผ่าอีก้อใช้ดอกต้มได้น้ำสีเหลืองผสมเวลาหุงข้าวเพื่อให้ข้าวมีสีสวย นอกจากนี้ราชาวดีป่ามักถูกนำมาใช้เป็นยากลางบ้าน โดยชาวเย้าใช้ใบซอยให้ละเอียดผสมน้ำซาวข้าวและไข่นึ่งจนสุกกินเป็นยาแก้ไอ ชาวเขาเผ่าปะหล่อง กะเหรี่ยง ไทยใหญ่ อีก้อ และมูเซอ ใช้ส่วนต่างๆของราชาวดีป่าเป็นยาแก้โรคผิวหนัง ผดผื่น ตุ่มแผล ตามผิวหนังทุกชนิด ชาวบ้านพื้นล่างและชาวล้านนาใช้ใบและลำต้นเป็นยาพื้นบ้าน ใช้ลำต้น รากผสมสมุนไพรอื่นต้มน้ำดื่มหรือฝนกินแก้ไข้ ส่วนจีนใช้รากแห้งแก้มาลาเรีย และพม่าใช้ต้มดื่มเป็นยาบำรุงกำลัง (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นราพร(2552) รายงานว่า ในสารสกัดพืชสดของราชาวดีป่ามีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด 50.74 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีค่า EC_{50} เท่ากับ 1.031 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ อยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่า TEAC 71.00 มิลลิกรัมสมมูลย์ของ Trolox ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

ส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากใบของราชาวดีป่า มีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ β-caryophyllene eposid, citaonellol และ β-caryophyllene โดยน้ำมันหอมระเหยจากใบของราชาวดีป่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus fumigatus* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหลอดลม ปอด และเชื้อราที่ทำลายเยื่อเคอราตินและผิวหนัง (สุธรรม และคณะ, 2552ก)

2.7.4 เมี่ยงป่า (*Camellia sinensis* (L.)Kuntze var. *assamica* (J.Masters) Kitam วงศ์ THEACAE)

เมี่ยงป่า โดยทั่วไปใช้ใบตากแห้งชงดื่มเป็นชา หรือเอาใบไปนึ่งใช้เคี้ยวเล่นแทนหมากหรือเคี้ยวแก้กระหายน้ำ แก้ง่วงนอน และยังใช้เป็นยากลางบ้าน โดยใช้เป็นยาแก้ท้องร่วงและขับปัสสาวะได้ นอกจากนี้ใบสดยังเป็นยาสมานแผล กากใบใช้พอกแผลจากน้ำร้อนลวก ไฟไหม้ (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 ง)

องค์ประกอบของเมี่ยงป่าที่นำมาทำชาเขียว พบสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคาทิชิน และสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (สุธรรม และคณะ, 2552ก) ได้แก่ ได้แก่ ฟลาวานอล (คาทิชิน อิพิคาทิชิน (epicatechin) และ ฟลาโวนอล (เคมเฟอรอล (kaempferol) เควอซีทินไกลโคไซด์ (quercetin glycoside) (Cai และคณะ, 2004)

นอกจากนี้ วาณี (2554) พบว่า สารสกัดเมี่ยงป่ามีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 54.3±1.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.09 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของเมี่ยงป่านั้นมีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับชา

2.7.5 ก่อข้าว (*Castanopsis inermis* (Lind .ex Wall.) Benth. & Hook. f. วงศ์ FAGACEAE)

ชาวเขาทุกเผ่าใช้ยอดอ่อนกินเป็นผักจิ้มหรือใส่แกงต่างๆ หรือนำยอดไปตากแห้งเพื่อใช้ชงดื่มแทนชา ส่วนผลสามารถกินดิบหรือคั่วกิน (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 ง) สารสำคัญ ที่พบในก่อข้าว ได้แก่ สารในกลุ่มอัลคาลอยด์ สเตอรอยด์และเทอร์พีน ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน และน้ำมันหอมระเหย นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดแห้งของก่อข้าวมีปริมาณฟีนอลิคทั้งหมด 60.98 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีค่า EC_{50} เท่ากับ 0.2691 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^+$ อยู่ในระดับสูง โดยมีค่า TEAC 161.7 มิลลิกรัมสมมูลย์ของ Trolox ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (นราพร, 2552)
อย่างไรก็ตาม ไม่พบรายงานการวิจัยเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชชนิดนี้

2.7.6 ติ้วเกลี้ยง (*Cratoxylum Cochinchinense* (Lour.) Blume วงศ์ CLUSIACEAE)

ทั้งชาวเขาและชาวบ้านพื้นล่างนิยมนำยอดอ่อนของติ้วเกลี้ยงกินเป็นผักสด ผักจิ้ม และชาวเขายังนำยอดอ่อนมาใส่ในแกง นอกจากนี้ต้วเกลี้ยงยังมีสรรพคุณเป็นยากลางบ้าน โดยชาวเขาใช้ราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้มน้ำดื่มเป็นยาบำรุงกำลัง แก้อ่อนเพลีย แก้ภาวะโลหิตจาง ชีดผอม เลือดลมเดินไม่สะดวก ส่วนชาวบ้านพื้นล่างใช้ใบบดผสมน้ำมันมะพร้าวแก้โรคผิวหนัง (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 จ)

สารสำคัญที่พบในลำต้นติ้วเกลี้ยงที่สกัดด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนของเมื่อแยกด้วยวิธีทางโครมาโทกราฟี พบว่าสามารถแยกแซนโทนชนิดใหม่ได้ 6 ชนิด คือ cratoxylumxanthones A-F พร้อมกับแซนโทนมีรายงานมาแล้ว 8 ชนิด คือ dulcisxanthone B , 2-geranyl-1,3,7-trihydroxy-4-(3-methyl-but-2-enyl)xanthone, alpha-mangostin , beta-mangostin, cochinchinone A, garcinone A, cochinchinone B และ cudratricusxanthone E (สุธี, 2549) นอกจากนี้ ยังพบว่าสารสกัดพืชแห้งของใบติ้วเกลี้ยงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 44.07 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

2.7.7 ผักแปม (*Eleutherococcus trifoliatum* (L.) S.Y. Hu. วงศ์ ARALIACEAE)

ชาวบ้านพื้นล่างและชาวเขาโดยทั่วไปโดยเฉพาะไทยใหญ่ ปะหล่อง ม้งและเย้า มักใช้ยอดอ่อนและใบอ่อนกินเป็นผักสด ผักจิ้ม หรือนำยอดและใบอ่อนมาปรุงใส่แกง นอกจากนี้ ชาวเขาเผ่าม้งและเย้าใช้ใบเป็นยาแก้ลมชักโดยเฉพาะกับเด็ก (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 ฉ)

วาณี (2554) รายงานว่า สารสกัดจากผักแปมมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลไฮดรอกซิล ด้วยวิธี 2-Deoxyribbose assay (2-DR) ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮ-ดรอกซิล เท่ากับ 4.81 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) สุธรรม และคณะ (2552ก) รายงานว่า สารต้านออกซิเดชันที่พบในยอดและใบอ่อนแห้ง 100 กรัม ได้แก่ เบต้าแคโรทีน 2.55 มิลลิกรัม แซนโทฟิล 3.18 มิลลิกรัม วิตามินซี 0.0055 มิลลิกรัม สารประกอบฟินอลิก 274.83 มิลลิกรัม และพบว่ามีค่าแอนติออกซิแดนซ์ 6.28 มิลลิกรัม ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับปานกลาง

2.7.8 ผักชีฝรั่ง (*Eryngium foetidum* L. วงศ์ APIACEAE)

ชาวบ้านพื้นล่างและชาวเขาทุกเผ่าใช้ใบอ่อนและใบแก่กินเป็นผักสด และใช้เป็นเครื่องเทศในการปรุงอาหารเพื่อดับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ส่วนประเทศต่างๆในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อเมริกากลางและอเมริกาใต้ใช้ใบสดเป็นเครื่องเทศในการปรุงอาหารเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณเป็นยากลางบ้าน โดยใช้รากต้มน้ำดื่มเป็นยาเจริญอาหาร ใช้ทั้งต้นผสมสมุนไพรอื่นตำผสมน้ำมันงาทำเป็นลูกประคบแก้ปวดเมื่อยตามร่างกาย ม้งและมูเซอใช้ใบเป็นยาพอกแก้พิษสัตว์กัดต่อย และต้มดื่มเป็นยาระบายอ่อนๆ รวมทั้งเป็นยาแก้ไข้มาลาเรีย (สุธรรม และคณะ, 2552ก) (ภาพที่ 2.1 ช)

คุณค่าทางโภชนาการของผักชีฝรั่ง 100 กรัมประกอบด้วย โปรตีน 2.9 กรัม ไขมัน 0.1 กรัม คาร์โบไฮเดรต 9.2 กรัม เส้นใย 2.0 กรัม เถ้า 2.4 กรัม แคลเซียม 99 มิลลิกรัม ฟอสเฟอรัส 98 มิลลิกรัม เหล็ก 13 มิลลิกรัม ซึ่งนับว่าปริมาณเหล็กและแร่ธาตุต่างๆมีปริมาณค่อนข้างสูง และ ยังพบว่าผักชีฝรั่งในน้ำหนักแห้ง 100 กรัม มีสารต้านอนุมูลอิสระ เบต้าแคโรทีน 1.91 มิลลิกรัม แซนโทฟิลล์ 1.59 มิลลิกรัม วิตามินซี 11.45 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.007 มิลลิกรัม สารประกอบฟีนอลิก 98.44 และพบว่ามีค่าดัชนีแอนติออกซิแดนซ์ 6.28 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับปานกลาง(สุธรรม และคณะ, 2552ก) นากจากนี้ Nanasombat, 2010 ได้รายงานว่า สารสกัดผักชีฝรั่งมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีค่า EC_{50} เท่ากับ 4,739.7 ± 61.3 µg extract /mg DPPH และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 3.7± 2.9 µGallic Acid Equivalents (GAE)/mg dry extract)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.9 มันปลา(*Glochidion sphaerogynum* (MÜll Arg.) Kurz. วงศ์ EUPHOBIACEAE)

ชาวเขาแทบทุกเผ่ากินผลสุกของมันปลา และใช้ยอดอ่อนกินเป็นผักสดหรือปรุงใส่แกง ชาวจีนฮ้อและม้งใช้เปลือกลำต้นต้มน้ำอมแก้ปวดฟัน (สุธรรม และคณะ, 2552ข) (ภาพที่ 2.1 ฌ)

กลุ่มสารสำคัญที่พบในผักมันปลา ได้แก่ สารกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ สเตอรอยด์ และเทอร์พีน ซาโปนิน และน้ำมันหอมระเหย (นราพร, 2552) นอกจากนี้ วาณี (2554) รายงานว่า สารสกัดมันปลามีปริมาณโพลีฟีนอลสูง โดยมีค่าเท่ากับ 228.7 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงโดยมีค่าAOA เท่ากับ 122.4 ต่อมิลลิกรัม อย่างไรก็ตาม ไม่พบรายงานการวิจัยเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชชนิดนี้

2.1.10 ผักเชียงดา (*Gymnema inodorum* (Lour.) Decne วงศ์ ASCLEPIADACEAE)

ชาวเขาโดยทั่วไปใช้ยอดอ่อนและใบกินเป็นผักจิ้มหรือผสมกับผักอื่นใส่แกง ส่วนชาวบ้านพื้นล่างใช้ใบและยอดอ่อนกินเป็นผักเช่นเดียวกับชาวเขา และปัจจุบันได้พัฒนามาปลูกตามบ้านเพื่อเก็บขายเป็นการค้า นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณเป็นยา โดย ม้งใช้ใบเป็นยาทาหรือต้มอาบแก้อาการบวมหรือแผลพุพองตามร่างกาย (สุธรรม และคณะ, 2552ข) (ภาพที่ 2.1 ญ)

องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ ที่พบในพืชแห้ง 100 กรัม ได้แก่ แคโรทีนทั้งหมด 1.31 มิลลิกรัม แซนโทฟิลล์ทั้งหมด 1.07 มิลลิกรัม วิตามินซี 19.30 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.03 มิลลิกรัม แทนนิน 11.10 มิลลิกรัม สารประกอบฟีนอลิก 188 มิลลิกรัม และมีค่าดัชนีแอนติออกซิแดนซ์ 14.8 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับสูง (Chanwitheesuk และคณะ, 2005)

2.7.11 ตะไคร้ต้น (*Litsea cubeba* Pers. วงศ์ LAURACEAE)

ตะไคร้ต้น(ภาพที่ 2.1 ฎ) ชาวเขาทุกเผ่ามักใช้ผลดิบเป็นเครื่องเทศ ดองน้ำเกลือหรือน้ำปลากินเป็นผักแกล้ม หรือใส่แกง และในต่างประเทศ เช่น อินโดนีเซียใช้ผลดิบกินเป็นผักเคียง เวียดนามตอนเหนือใช้ดอกผสมให้มีกลิ่นหอมในชา ส่วนใบตะไคร้ต้น ชาวจีน ญี่ปุ่นและไต้หวันมักนำมาเอาน้ำมันหอมระเหย ซึ่ง น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ต้น เป็นน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นคล้ายส้มสดหรือมะนาว มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ซิตรัล (citral) ซึ่งเป็นส่วนผสมของ stereoisomers geranial และ neral (สุธรรม และคณะ, 2552ข)

นราพร (2552) พบว่า พืชแห้งของตะไคร้ต้นปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 14.55 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 5.254 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) และยังมีความสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยมีค่า TBARS เท่ากับ 11.88 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.7.12 ผักสมุย (*Micromelum minutum* Wight & Arn วงศ์ RUTACEAE)

ใบและยอดอ่อนสามารถกินเป็นผักสด ผักสมุยมีสรรพคุณเป็นยากลางบ้าน โดยใช้ใบตำพอกแก้ผื่นคันตามผิวหนัง แก้ฟกช้ำ บวม ปวดในข้อ ใช้ภายใน แก้จุกเสียด แก้หืดไอ ขับเสมหะ แก้จุกเสียด เป็นยาระบาย แก้ท้องผูก ฟอกโลหิต ชาวเขาโดยทั่วไปใช้ยอดอ่อนและใบอ่อนกินเป็นผักสด กะเหรี่ยงไทยใหญ่และพม่าใช้รากต้มน้ำดื่มแก้ท้องเสีย และใช้รากผสมใบต้มดื่มเป็นยาแก้ไข้ ในต่างประเทศเช่น ฟิลิปปินส์ใช้ยอดอ่อนผสมน้ำมันทำให้ร้อนเป็นยาแก้อาเจียนในทารก ใช้ใบและรากเป็นยาแก้ไข้ ส่วนฟิจิใช้ใบและเปลือกในของกิ่ง แก้ไอ ลิ้นแตก ปวดหัว ปวดท้องและใช้ใบต้มดื่มเป็นยาบำรุงสุขภาพ (สุธรรม และคณะ, 2552ข) (ภาพที่ 2.1 ฎ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.13 ผักไผ่ (*Persicaria odorata* (Lour.) Sojak. วงศ์ POLYGONACEAE)

ผักไผ่ (ภาพที่ 2.1 ฐ) ชาวเขาแทบทุกเผ่า ชาวบ้านพื้นล่าง รวมทั้งชาวเวียดนามนิยมใช้กินเป็นผักสด กินกับน้ำพริกต่างๆ ตลอดจนใส่แกงเป็นเครื่องเทศ รวมถึงนำมากินคู่กับไข่เป็นตายนึ่งหรืออาหารทะเลเพื่อดับกลิ่นคาว (สุธรรม และคณะ, 2552ข)

ผักไผ่มีกลิ่นและรสผสมระหว่างกลิ่นของใบมะนาว ผักชี และผักกาดหัว กลิ่นและรสเหล่านี้จะหายไปเมื่อถูกความร้อนเป็นเวลานานๆ เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในผักไผ่ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม อัลเคน (alkane) และอัลดีไฮด์ (aldehydes) และยังพบว่าผักไผ่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ โดยในผักไผ่แห้ง 100 กรัม มีเบต้าแคโรทีน 2.55 มิลลิกรัม แซนโทฟิลล์ 2.12 มิลลิกรัม วิตามินซี 15.85 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.0085 มิลลิกรัม แทนนิน 17.68 มิลลิกรัม สารประกอบฟีนอลิก 329.0 มิลลิกรัม ค่าดัชนีแอนติออกซิแดนซ์ 3.68 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับต่ำ (สุธรรม และคณะ, 2552ข) นอกจากนี้ Nanasombat, 2010 พบว่า สารฟลาโวนอยด์ที่พบในผักไผ่ ได้แก่ รูติน (rutin) คาเทชิน (catechin) เคมเฟอรอล (kaempferol) เควอซีทิน (quercetin) และ isorhamnetin

อย่างไรก็ตาม ไม่พบรายงานการวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชชนิดนี้ แต่พบว่าพืชชนิดนี้ไม่มีสารในกลุ่ม drimane sesquiterpenoids ที่พบในพืชสกุล *Persicaria* และ *Polygonum* หลายชนิด อันเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อราและต้านเนื้องอกบางชนิด (สุธรรม และคณะ, 2552ข)

2.7.14 ผักฮ้านน้ำ (*Mosia dianthera* (Buch-Ham. Ex Roxb.) Maxim. วงศ์ LABIATAE)

ชาวเขาเผ่าต่างๆ เช่น ไทยใหญ่ ปะหล่อง มูเซอ จีนฮ่อและพม่า ใช้ยอดอ่อนเป็นผักประเภทเครื่องเทศใส่แกงรวมกับผักชนิดอื่นๆเช่น แกงฟักทอง และแกงปลา ส่วนชาวบ้านพื้นล่างมีกนำมาใส่ในแกงเลียงหรือแกงแค ส่วนชาวจีนใช้ทั้งต้นต้มเป็นยาทาภายนอก แก้โรคผิวหนังบางชนิด และดื่มเป็นยาแก้ลมและแก้ปวดศรีษะแต่ไม่พบรายงานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชชนิดนี้ (สุธรรม และคณะ, 2552ข) (ภาพที่ 2.1 ฑ)

นราพร (2552) พบว่า ผักฮ้านน้ำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 86.50 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 0.7359 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังมีความสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี โดยมีค่า TBARS เท่ากับ 33.19 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.7.15 ทะโล้ (*Schima Wallichii (DC.) Korth* วงศ์ THEACEAE)

จากการทบทวนวรรณกรรมไม่พบการนำทะโล้มาใช้เป็นอาหาร โดยส่วนใหญ่แล้วมักใช้เป็นยากลางบ้าน ชาวจีนฮ่อใช้ใบอ่อนตากแห้งชงเป็นชาเป็นเครื่องดื่มทำให้ชุ่มคอ แก้กรระหายน้ำ กะเหรี่ยงใช้ยอดอ่อนแช่น้ำดื่มแก้อาการปวดเมื่อยตามร่างกายเนื่องจากพิษไข้ เปลือกลำต้นใช้เป็นยาแก้ไอ แก้ไข้ ส่วนปะหล่องใช้ยอดอ่อนคลุกเกลือกินแก้ปวดท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ อาหารไม่ย่อยใบอ่อนใช้ขยี้ทาผิวหนังแทนแป้ง อีก้อ ม้ง และเย้าใช้ลำต้นและใบอมหรือเคี้ยวกินเป็นยาแก้ปวดฟัน แผลในปาก เหงือกเป็นหนอง ต้มดื่มแก้อาการปวดภายในร่างกายด้วยสาเหตุต่างๆ รวมทั้งแก้ท้องเดินและม้ามโต ในต่างประเทศใช้ดอกเป็นยาแก้ปัสสาวะผิดปกติ และมดลูกอักเสบ (สุธรรม และคณะ, 2552ค) (ภาพที่ 2.1 ฒ)

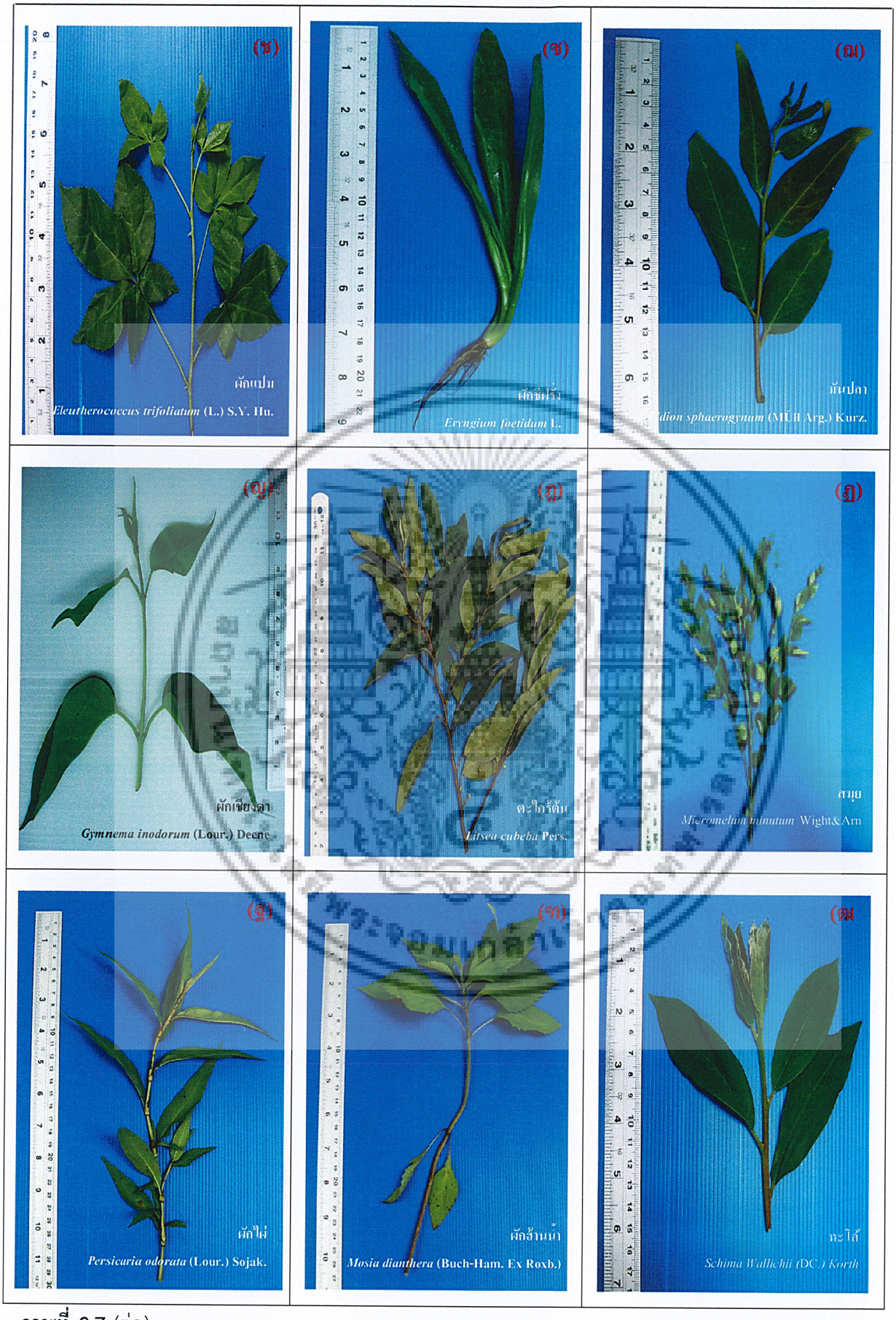
นราพร (2552) รายงานการตรวจพบสารในกลุ่ม อัลคาลอยด์ประเภทที่มีขั้วสูงและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดทะโล้ ซึ่งสารเหล่านี้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ต่อมา วาณี (2554) รายงานว่าพบว่าทะโล้มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงถึง 181.0±0.8 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งสารโพลีฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สำคัญ ได้แก่ เควอซีติน (quercetin) (Joshi, 2006) นอกจากนี้ วาณี (2554) พบว่า ทะโล้มีศักยภาพในการเป็นสารกันหืนในแพตตี้หมูปรุงสุกได้ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียม โดยเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS ผงทะโล้และสารสกัดจากทะโล้สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในแพตตี้หมูปรุงสุกได้ดีกว่าตัวอย่างแพตต้หมูที่เติมคิชินและบีเอชที

ภาพที่ 2.7 พืชท้องถิ่นที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ตัวอย่างพืช

ตัวอย่างพืชพื้นบ้านที่บริโภคได้จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง ได้รับจากแหล่งที่มา 2 แหล่งที่มา คือ สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 14 ตัวอย่าง และจากและจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 1 ตัวอย่าง รายชื่อพืชทั้งหมดเรียงตามลำดับชื่อวิทยาศาสตร์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ส่วนที่ใช้	แหล่งที่มา
ผักเหี่ย	*Artemisia vulgaris* L.	ลำต้นและใบ	เชียงใหม่
ผักปลัง	*Basella alba* L.	ลำต้นและใบ	เชียงใหม่
ราชาวดีป่า	*Buddieia asiatica* Lour.	ใบ	เชียงใหม่
เมี่ยงป่า	*Camellia sinensis* (L.) Kuntze var. *assamica* (J.Masters) Kitam.	ใบ	เชียงใหม่
ก่อข้าว	*Castanopsis inermis* (Lind. ex Wall) Benth. & Hook. f.	ใบ	เชียงใหม่
ติ้วเกลี้ยง	*Casternopsis inermid* (Lind. Ex Wall) Benth. & Hookf	ใบ	เชียงใหม่
ผักแปม	*Eleutherococus trifoliatum* (L.) S.Y.Hu.	ใบ	เชียงใหม่
ผักชีฝรั่ง	*Eryngium foetidum* L.	ใบ	เชียงใหม่
มันปลา	*Glochidion sphaerogynum* (MÜll Arg.) Kurz.	ใบ	เชียงใหม่
เชียงดา	*Gymnema inodorum* (Lour.) Decne.	ใบ	เชียงใหม่
ตะไคร้ต้น	*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.	ใบ	เชียงใหม่
สมุย	*Micromelum minutum* Wight&Arn	ลำต้นและใบ	สุราษฎร์ธานี
ผักไผ่	*Persicaria odorata* (Lour.) Sojak	ลำต้นและใบ	เชียงใหม่
ฮ้านน้ำ	*Mosia dianthera* (Buch-Ham.ex Roxb.) *Maxim.*	ใบ	เชียงใหม่
ทะโล้	*Schima wallichii* (D.C.) Korth.	ใบ	เชียงใหม่

3.1.2 สารเคมี

- เอธานอล (C_2H_5OH 95%) (กรมสรรพสามิต, ประเทศไทย)
- กรดแกลลิก (Gallic acid) (Fluka, ประเทศสเปน)
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)
- ไอโซออกเทน (2,2,4-trimethylpentane) (Lab scan,ประเทศไทย)
- กรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic acid, TCA) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- กรดไทโอบาร์บิวทูริก (Thiobarbituric acid,TBA) (Fluka, ประเทศสเปน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- มาลอนไดอัลดีไฮด์ (1,1,3,3-tetraethoxypropane) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- กรดอะซิติก (CH_3COOH) (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)
- คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$) (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)
- โพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว (KI) (Fluka, ประเทศสเปน)
- โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) (Fluka, ประเทศสเปน)
- บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) (BHD, ประเทศมาเลเซีย)
- พารา-อนิซิดีน(*p*-Anisidine) (Merck, เยอรมัน)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Merck, เยอรมัน)
- โซเดียมไทรโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) (Merck, เยอรมัน)
- ฟีนอล์ฟทาลีน (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- ตู้อบแห้งระบบลมร้อน (Hot air oven) (Patch รุ่น OV 663, ประเทศไทย)
- เครื่องบด (Blender) (Moulinex, ประเทศฝรั่งเศส)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (Sartorious รุ่น TE214S, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น PL 1502-S, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องเขย่า (Vortex mixer) (Scientific Inductries, รุ่น G 560E, ประเทศไทย)
- เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Evaporator) (Rotavapor BUCHI R-114, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu รุ่น UV-1601, ประเทศญี่ปุ่น)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge) (Hettich zentrifugen รุ่น EBA 20, ประเทศเยอรมัน)
- ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องเขย่า (Shaker) (ยี่ห้อ รุ่น GFL-3015, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องวัดสี (Hunterlab รุ่น ColorQuest XE, ประเทศอเมริกา)
- เครื่องวิเคราะห์ความคงตัวของน้ำมัน (743 Rancimat, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)
- เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot Plate Stirrer)

3.3 สถานที่ดำเนินงาน

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.4.1.1 การเตรียมตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างพืชล้างด้วยน้ำสะอาดจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน (PE) ปิดผนึกปากถุง และเก็บในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

3.4.1.2 การเตรียมสารสกัดพืช

การสกัดตัวอย่างพืชดัดแปลงจาก Shyamala และคณะ (2005) โดยบดตัวอย่างพืชแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร นำตัวอย่างพืชมาสกัดด้วยเอธานอล (ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 เขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 แล้วจึงสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ด้วยวิธีเดียวกัน แต่ลดอัตราส่วนของพืชต่อตัวทำละลายเป็น 1 ต่อ 4 จากนั้นนำสารสกัดจากพืชผสมรวมกัน แล้วระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำสารสกัดจากพืชเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

3.4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ของสารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน

3.4.2.1 การคัดเลือกสารสกัดจากพืชที่มีศักยภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง

นำสารสกัดจากพืชแต่ละชนิด เติมลงในน้ำมันถั่วเหลืองให้มีความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมัน 3 ระดับ คือ 75, 200 และ 500 พีพีเอ็ม โดยมีขั้นตอนดังนี้ ชั่งสารสกัดพืชแต่ละชนิดจากการคำนวณให้ได้น้ำมันที่มีสารสกัดพืชเข้มข้น 75, 200 และ 500 พีพีเอ็ม (โดยคำนวณจากปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในสารสกัด) ละลายด้วยเอธานอล 500 ไมโครลิตร จากนั้นเติมลงในน้ำมัน (20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่ใช้ทั้งหมด) นำตัวอย่างน้ำมันไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หรือจนกว่าเอธานอลจะระเหยออกจากน้ำมันจนหมด จากนั้นเติมน้ำมันอีก 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่ใช้ทั้งหมดแล้วกวนผสมโดยเครื่องกวนสารอีกครั้ง นาน 1-2 นาที แล้วจึงแบ่งตัวอย่างน้ำมันลงในขวดละ 10 กรัมในขวดขนาด 15 มิลลิลิตร

ตัวอย่างควบคุมในการทดลองนี้คือ น้ำมันถั่วเหลืองควบคุม (ไม่เติมสารสกัดพืช) และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชทีความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกับการเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืช โดยน้ำมันถั่วเหลืองควบคุมจะไม่เติมสารสกัดพืช ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชทีเปลี่ยนจากสารสกัดพืชเป็นบีเอชที 75 พีพีเอ็ม

นำไปตัวอย่างทั้งหมดไปเก็บในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน แล้วจึงนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ทางเคมี ดังนี้

ก. ปริมาณ Conjugated diene hydroperoxides (CD) ดัดแปลงจาก Pegg (2002)

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.01-0.03 กรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้น ปรับปริมาตรด้วยไอโซออกเทน เขย่าผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ความยาวคลื่น 233 นาโนเมตร โดยใช้ไอโซออกเทนเป็นแบลงค์ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ Conjugated diene hydroperoxides (CD) จากสมการต่อไปนี้

$$\text{CD value} = [C_{CD} \times (1.0 \times 10^4)] / W$$

$$\text{โดย } C_{CD} = A_{233} / (\varepsilon \times l)$$

A_{233} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 233 นาโนเมตร

ε = molar absorptivity of linoleic acid hydroperoxide ($2.525 \times 10^4\ M^{-1}.cm^{-1}$)

l = path length of the cuvette (cm)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ข. ปริมาณ Peroxide value (PV) โดยวิธีของ AOAC 965.33 (2000)

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5±0.05 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารผสมของกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์ม 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที และเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร แล้วจึงไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 โมลลาร์ จนกระทั่งสีเหลืองเกือบจางหายไป จึงเติมน้ำแป้งเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ 0.5 มิลลิลิตร (เขย่า) แล้วไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นสารละลายใสไม่มีสี นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ Peroxide value (PV) จากสมการต่อไปนี้

$$PV = [S \times M \times 1000] / g$$

S = ปริมาณของสารละลายโซเดียมไทรโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

M = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทรโอซัลเฟต (โมลาร์)

g = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ค. ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Mcdonald และ Hultin (1987)

ปิเปตตัวอย่างน้ำมัน 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 0.9 มิลลิลิตร แล้วเติมรีเอเจนต์ Thiobarbituric acid (TBA) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้น นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที แล้วแช่ในอ่างน้ำเย็นเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน ที่ความเร็ว 5,500 รอบต่อนาที นาน 15 นาที และนำส่วนใสของสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยใช้รีเอเจนต์ TBA เป็น แบลงค์ คำนวณหาค่า TBARS โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลาย 1,1,3,3-tetraethoxypropane

นำผลการวิเคราะห์ทางเคมีทั้ง 3 วิธี มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ตามข้อ 3.4.5 แล้ว คัดเลือกสารสกัดจากพืชจำนวน 4 ทรีทเมนต์ เพื่อใช้ในการทดลองในข้อ 3.4.3.1

3.4.2.2 น้ำมันปาล์ม

เตรียมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2,000 พีพีเอ็ม ด้วยการละลายในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ให้มีความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ลงในตัวอย่างน้ำมัน (20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่ใช้ทั้งหมด) จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์เติมสารสกัดจากพืช แต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ 3 ระดับ คือ 200, 350 และ 500 พีพีเอ็ม โดยเตรียมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยวิธีเดียวกันกับการทดลองข้อ 3.4.2.1 รวมทั้งใช้น้ำมันปาล์มที่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ (ไม่เติมสารสกัดพืช) และ น้ำมันปาล์มที่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ (เติม บีเอชที 200 พีพีเอ็ม) เป็นตัวอย่างควบคุม แบ่งตัวอย่างน้ำมันลงในขวดละ 10 กรัมในขวดขนาด 15 มิลลิลิตร และเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน แล้วจึงนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ค่า CD, PV และ TABRS เช่นเดียวกับ 3.4.2.1

นำผลการวิเคราะห์ทางเคมีทั้ง 3 วิธี มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ตามข้อ 3.4.5 แล้ว คัดเลือกสารสกัดจากพืชจำนวน 4 ทรีทเมนต์ เพื่อใช้ในการทดลองในข้อ 3.4.3.2

3.4.3 การศึกษาศักยภาพของสารสกัดจากพืชที่คัดเลือกมาในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน

3.4.3.1 น้ำมันถั่วเหลือง

การทดลองแบ่งเป็นสองส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 นำสารสกัดจากพืช 4 ทรีทเมนต์ที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 3.4.2.1 เติมลงในน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับ 3.4.2.1 แล้วแบ่งตัวอย่างน้ำมันลงในขวดละ 50 กรัมในขวดขนาด 60 มิลลิลิตร รวมทั้งใช้น้ำมันถั่วเหลืองควบคุม (ไม่เติมสารสกัดพืช) และ น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที 75 พีพีเอ็ม เป็นตัวอย่างควบคุม เก็บตัวอย่างทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ส่วนที่ 2 นำสารสกัดจากพืช 4 ทรีทเมนต์ที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 3.4.2.1 เติมลงในน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับ 3.4.2.1 รวมทั้งใช้น้ำมันถั่วเหลืองควบคุม (ไม่เติมสารสกัดพืช) และ น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที 75 พีพีเอ็ม เป็นตัวอย่างควบคุม ให้ความร้อนแก่น้ำมันจนถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ลดอุณหภูมิลง แล้วแบ่งตัวอย่างน้ำมันลงในขวดละ 50 กรัมในขวดขนาด 60 มิลลิลิตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการสุ่มตัวอย่างทุกวันที่ 0, 2, 4, 6 และ 8

นำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้

ก. ปริมาณ Conjugated diene hydroperoxides (CD) ตามข้อ 3.4.2.1 (ก)

ข.ปริมาณ Peroxide value (PV) ตามข้อ 3.4.2.1 (ข)

ค. ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ตามข้อ 3.4.2.1 (ค)

ง. ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid content, FFA) โดยวิธีของ AOAC (Bensmira และคณะ, 2007)

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 7 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร และหยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 เปอร์เซ็นต์ เขย่าผสมให้เข้ากัน แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนสารละลายใสเปลี่ยนเป็นสีชมพูที่มีความคงตัวของสีอย่างน้อย 30 วินาที นำค่าที่ได้มาคำนวนหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) จากสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ FFA (as Oleic)} = [V \times N \times 28.2] / m$$

V = ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = ความเข้มข้นของสารสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
m = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

จ. ปริมาณ p-Anisidine value (*p*-AV)โดยวิธีของ AOCS (1997)

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.5-4.0 ±0.001 กรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยไอโซออกเทน และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร โดยใช้ไอโซออกเทนเป็นแบลงค์ (Ab) จากนั้นปิเปตสารละลายข้างต้น 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่ 1 และปิเปตไอโซออกเทน 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่ 2 เติมสารละลาย *p*-Anisidine ลงในแต่ละหลอดทดลอง เขย่า และเก็บในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายจากหลอดทดลองที่ 2 เป็นแบลงค์ (As) นำค่าที่ได้มาคำนวนหาปริมาณ p-Anisidine value (*p*-AV) จากสมการต่อไปนี้

$$p\text{-AV} = [\ 25\times (1.2As - Ab)\ ] / m$$

As = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำมันที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย *p*-Anisidine
Ab = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำมัน
m = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ช ความคงตัวของตัวอย่างน้ำมัน โดยวิธีของ AOCS (1997)

ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 3 กรัม นำไปทดสอบความคงตัวด้วยเครื่อง Rancimat ที่กำหนดสภาวะดังนี้ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 20 ลิตรต่อชั่วโมง จากนั้นคำนวณค่าความคงตัวต่อการออกซิเดชัน (oil stability index: OSI) เป็นค่า Induction time (IT) มีหน่วยเป็นชั่วโมง

ฉ. การเปลี่ยนแปลงสี

วัดสีของตัวอย่างน้ำมันด้วยเครื่องวัดสี Hunterlab มีแหล่งกำเนิดแสง D_{65} และมุมสังเกต 10 องศา พารามิเตอร์สีแสดงค่าในระบบ CIE L* a* b* จากนั้นนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสี (color difference, ΔE) จากสมการดังนี้

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

Δ L* = L*(ตัวอย่างน้ำมัน) - L*(ตัวอย่างน้ำมันวันที่ 0)
Δ a* = a*(ตัวอย่างน้ำมัน) - a*(ตัวอย่างน้ำมันวันที่ 0)
Δ b* = b*(ตัวอย่างน้ำมัน) - b*(ตัวอย่างน้ำมันวันที่ 0)

3.4.3.2 น้ำมันปาล์ม

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 นำสารสกัดจากพืช 4 ทรีทเมนต์ที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 3.4.2.2 เติมลงในน้ำมันปาล์ม โดยใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.4.2.2 แล้วแบ่งตัวอย่างน้ำมันลงในขวดละ 50 กรัมในขวดขนาด 60 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์เป็นเวลา 8 สัปดาห์ รวมทั้งใช้น้ำมันปาล์มที่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ (ไม่เติมสารสกัดพืช) และ น้ำมันปาล์มที่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ (เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม) เป็นตัวอย่างควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 นำสารสกัดจากพืช 4 ทรีทเมนต์ที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 3.4.2.2 เติมลงในน้ำมันปาล์ม โดยใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.4.2.1 จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันจนถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ลดอุณหภูมิลง แล้วแบ่งตัวอย่างน้ำมันลงในขวดละ 50 กรัมในขวดขนาด 60 มิลลิลิตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการสุ่มตัวอย่างวันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 15 และ 22 รวมทั้งใช้น้ำมันปาล์ม (ไม่เติมสารสกัดพืช) และ น้ำมันปาล์มที่ เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม เป็นตัวอย่างควบคุม

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่า CD, PV ,TABRS, FFA, p-AV, การเปลี่ยนแปลงสีและความคงตัวของตัวอย่างน้ำมัน เช่นเดียวกับ 3.4.3.1และนำผลการวิเคราะห์ทั้ง 7 วิธี มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ตามข้อ 3.4.5 แล้วคัดเลือกสารสกัดจากพืชจำนวน 2 ทรีทเมนต์ เพื่อใช้ในการทดลองในข้อ 3.4.4

3.4.4 การศึกษาความเสถียรของน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่เติมสารสกัดจากพืชที่คัดเลือก

นำตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืช ที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 3.4.3.2 จำนวน 2 ทรีทเมนต์ มาเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันจนถึง 180 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นทอดข้าวเกรียบกุ้งจำนวน 1 ครั้ง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นแบ่งตัวอย่างน้ำมันไปวิเคราะห์ CD, TBARS, FFA, PV, *p*-AV, ความคงตัวของตัวอย่างน้ำมันและการเปลี่ยนแปลงสี และน้ำมันที่เหลือบรรจุลงในขวดขนาด 1 ลิตร และทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน

นำตัวอย่างข้าวเกรียบกุ้งในวันที่ 1, 3 และ 5 ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-points Hedonic scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ในด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม เป็นต้น

ตัวอย่างควบคุมในการทดลองนี้คือ น้ำมันปาล์มควบคุม (ไม่เติมสารสกัดพืช) และน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม

3.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองทุกการทดลองจะทำการทดลอง 2 ซ้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความสามารถของพืชแต่ละชนิด โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ด้วยวิธี one-way ANOVA procedure ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ความเป็นไปได้ในการใช้สารสกัดจากพืชในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช

4.1.1 น้ำมันถั่วเหลือง

เมื่อนำสารสกัดจากพืช 15 ชนิด เติมลงในน้ำมันถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นต่างๆ 3 ระดับ ได้แก่ 75, 200 และ 500 พีพีเอ็ม จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 20 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี CD PV และ TBARS โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมสารสกัดจากพืช และตัวอย่างที่เติมบีเอชที 75 พีพีเอ็ม ได้ผล ดังนี้

4.1.1.1 CD

วิธี CD เป็นการวัดคอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) ที่มีลักษณะเป็นพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และคอนจูเกตไดอีนที่เกิดขึ้นนี้สามารถดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่น 232-234 นาโนเมตร (Shahidi และ Zhong, 2005) โดยการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดกลืนแสงหมายถึงการเพิ่มขึ้นของการเกิดออกซิเดชัน (Pegg, 2002) และรายงานค่าเป็นไมโครโมลาร์ต่อกรัม

น้ำมันถั่วเหลืองควบคุม (ไม่เติมวัตถุกันหืน) น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน มีค่า CD แสดงดังตารางที่ 4.1 ในวันที่ 0 พบว่า ตัวอย่างน้ำมันทั้งหมดมีค่า CD อยู่ระหว่าง 18.35-19.68 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชที่มีค่า CD ต่ำที่สุด และสูงที่สุดได้แก่ น้ำมันที่เติมสารสกัดเหี่ยม 75 พีพีเอ็ม และ สารสกัดผักปลัง 75 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และแม้ว่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างเพียง 1.33 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งความแตกต่างอาจเกิดเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD ที่มีความไวต่อการดูดกลืนแสง อีกทั้งตัวทำละลายหรืออาหารบางชนิดอาจมีผลรบกวนต่อการดูดกลืนแสง (White, 1995) จึงเป็นเหตุให้ผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกัน

ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน น้ำมันถั่วเหลืองทุกตัวอย่างมีค่า CD เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 18.62±0.15 เป็น 31.97±028 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม แสดงว่าระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการเกิดออกซิเดชัน และพบว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชทีสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ โดยมีค่า CD เท่ากับ 24.81±0.40 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก บีเอชทีเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากการเร่งของ แสง อุณหภูมิ หรืออนุมูลของโลหะ จึงป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับออกซิเจนซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และในขั้นตอนนี้สามารถลดค่า CD ได้เนื่องจากคอนจูเกตไดอีนเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Reische และคณะ, 2007 และ Shahidi และ Zhong, 2005) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Goli และคณะ (2005) ที่รายงานว่า เมื่อวิเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองภายหลังจากการเก็บรักษาอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที 2 เปอร์เซ็นต์มีค่าการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า Conjugated diene hydroperoxide (CD) ในน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	Conjugated diene hydroperoxide (ไมโครโมลาร์ต่อกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 20
ควบคุม	-	18.62±0.15 $^{a-d}$	31.97±0.28 $^{p-r}$
BHT	75	18.96±0.41 $^{b-l}$	24.81±0.40 $^{b-d}$
เหี่ย	75	18.35±0.05 ^{a}	32.20±0.74 $^{q-s}$
	200	18.83±0.15 $^{a-i}$	31.14±0.13 $^{n-q}$
	500	18.92±0.21 $^{a-k}$	26.46±0.12 $^{f-h}$
ผักปลัง	75	19.91±0.14 ^{n}	31.02±1.07 $^{m-q}$
	200	19.37±0.40 $^{h-n}$	26.61±0.28 $^{f-i}$
	500	19.07±0.01 $^{b-l}$	25.72±0.29 $^{c-g}$
ราชาวดีป่า	75	19.11±0.04 $^{b-m}$	28.52±0.54 ^{kl}
	200	18.95±0.28 $^{b-l}$	26.96±0.72 $^{g-j}$
	500	18.91±0.13 $^{a-k}$	33.33±0.48 ^{s}
เมี่ยงป่า	75	18.68±0.04 $^{a-f}$	30.55±0.65 $^{m-p}$
	200	18.58±0.05 $^{a-c}$	28.43±0.04 $^{j-l}$
	500	19.17±0.28 $^{c-m}$	26.06±0.88 $^{d-g}$
ก่อข้าว	75	18.57±0.54 $^{a-c}$	27.19±0.13 $^{g-k}$
	200	18.90±0.08 $^{a-k}$	24.01±0.21 ^{b}
	500	18.89±0.18 $^{a-k}$	21.44±0.30 ^{a}
ติ้วเกลี้ยง	75	18.76±0.30 $^{a-f}$	31.46±1.02 $^{n-q}$
	200	18.78±0.01 $^{a-h}$	29.69±0.38 ^{lm}
	500	18.54±0.14 ^{ab}	27.06±0.34 $^{g-k}$
ผักแปม	75	19.20±0.01 $^{d-m}$	24.37±0.38 ^{bc}
	200	19.06±0.56 $^{b-l}$	26.31±0.80 $^{e-g}$
	500	18.80±0.32 $^{a-i}$	28.31±0.07 $^{j-l}$
ผักชีฝรั่ง	75	19.28±0.17 $^{f-m}$	27.06±0.80 $^{g-k}$
	200	19.08±0.25 $^{b-l}$	33.22±0.81 ^{rs}
	500	19.27±0.11 $^{e-m}$	30.37±0.50 $^{m-o}$
มันปลา	75	18.74±0.05 a-f	28.30±1.63 $^{j-l}$
	200	18.66±0.07 a-d	26.11±0.35 $^{d-g}$
	500	18.77±0.32 a-g	24.47±0.40 ^{bc}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	Conjugated diene hydroperoxide (ไมโครโมลาร์ต่อกรัม) วันที่ 0	วันที่ 20
เชียงดา	75	18.87±0.57 $^{a-j}$	30.31±0.05 ^{mn}
	200	19.21±0.52 $^{d-m}$	28.50±1.39 ^{kl}
	500	18.58±0.02 $^{a-c}$	25.28±0.49 $^{b-f}$
ตะไคร้ต้น	75	18.89±0.31 $^{a-k}$	31.70±0.07 $^{n-q}$
	200	19.01±0.19 $^{b-l}$	30.27±0.28 ^{mn}
	500	19.39±0.04 $^{i-n}$	27.05±1.42 $^{g-k}$
สมุย	75	19.37±0.22 $^{g-n}$	30.60±0.23 $^{m-p}$
	200	19.47±0.15 $^{k-n}$	27.86±0.12 $^{h-k}$
	500	19.68±0.14 ^{mn}	24.93±0.74 $^{b-e}$
ผักไผ่	75	19.03±0.03 $^{b-l}$	36.65±0.82 ^{t}
	200	19.54±0.35 $^{l-n}$	31.83±0.00 $^{o-q}$
	500	19.47±0.14 $^{j-n}$	31.29±0.27 $^{n-q}$
ฮ้านน้ำ	75	18.82±0.01 $^{a-i}$	31.16±0.01 $^{n-q}$
	200	18.68±0.07 $^{a-e}$	27.94±0.51 $^{i-k}$
	500	18.84±0.10 $^{a-i}$	24.43±0.02 ^{bc}
ทะโล้	75	19.28±0.08 $^{e-m}$	24.75±0.92 $^{b-d}$
	200	19.11±0.27 $^{b-m}$	28.43±0.31 $^{j-l}$
	500	19.11±0.01 $^{b-m}$	25.81±0.31 $^{c-g}$

หมายเหตุ : พิจารณาตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าสารสกัดพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันแตกต่างกัน ซึ่งภายหลังจากการเก็บรักษาน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชมีค่า CD อยู่ในช่วง 21.44-36.65 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชที่มีค่า CD ต่ำที่สุด และสูงที่สุดได้แก่ น้ำมันที่เติมสารสกัดก่อข้าว 500 พีพีเอ็ม และ สารสกัดผักไผ่ 75 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม พบว่า น้ำมันที่เติมสารสกัดแปมและทะโล้ มีค่า CD ที่ต่ำที่สุด แสดงว่า การใช้สารสกัดพืชทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 75 พีพีเอ็มจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่า CD เท่ากับ 24.37±0.38 และ 24.75±0.92 ไมโครโมลาร์ต่อกรัมซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้ สารสกัดผักแปม มีสารต้านออกซิเดชันที่พบในยอดและใบอ่อนแห้ง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แซนโทฟิล วิตามินซี และสารประกอบฟินอลิก (สุธรรม และคณะ, 2552ก) และในสารสกัดจากใบทะโล้มีเควอซีทิน (Quercetin) ที่มีโครงสร้างหลักเป็นฟลาโวนอลเป็นองค์ประกอบ (Joshi, 2006) ซึ่งสารที่พบในพืชทั้งสองชนิดอาจจะทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระได้เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลลิกชนิดอื่นๆ จึงสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ ส่วนกลุ่มสารสกัดพืชที่มีความสามารถในการยับยั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิด CD ได้ปานกลางมี 4 ชนิดได้แก่ สารสกัดผักชีฝรั่ง ก่อข้าว มันปลา และราชาวดีป่า มีค่า CD ปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วง 27.06-28.52 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม โดยสารสกัดผักชีฝรั่งมีค่า CD ต่ำที่สุดในสารสกัดพืชกลุ่มนี้ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น ลูทีน ซีแซนทีน เบต้าคริฟโตแซน และ เบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบในกลุ่มฟินอลลิก ได้แก่ กรดแกลลิก, กรดโปรโตคาเทคชูอิค (protocatechuic acid) กรดไซรินจิก (syringic acid) กรดพี-คูมาริก (p-coumaric acid) กรดเฟรูลิก (ferulic acid) และ กรดซิแนพพิค (sinapic acid) เป็นองค์ประกอบ (Singh และคณะ, 2012) และกลุ่มสารสกัดพืชที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิด CD ได้น้อย ประกอบด้วยสารสกัดพืช 9 ชนิด ได้แก่ เชียงดา เมี่ยงป่า สมุย ปลัง ฮ้านน้ำ ติ้วเกลี้ยง ตะไคร้ต้น เหี่ยและผักไผ่ มีค่า CD ที่สูง มีค่าอยู่ในช่วง 30.31-36.65ไมโครโมลาร์ต่อกรัม โดยสารสกัดเชียงดามีค่า CD ต่ำที่สุดในสารสกัดพืชกลุ่มนี้ และมีค่าต่ำกว่าสารสกัดผักไผ่ที่มีค่า CD สูงที่สุดถึง 1.2 เท่า ซึ่งสารประกอบสำคัญที่เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันที่พบในเชียงดา คือ แคโรทีน แซนโทฟิลล์ วิตามินซี วิตามินอี และแทนนิน (Chanwitheesuk และคณะ, 2005)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม พบว่าชนิดของพืชในกลุ่มที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิด CD ดีปานกลาง และ น้อย เปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดก่อข้าวเพียงชนิดเดียวมีค่า CD เท่ากับ 24.01±0.21 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม หรือต่ำกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชชนิดอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารสกัดก่อข้าวมีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบมากถึง 6 ชนิด (นราพร, 2552) ซึ่งสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์นี้มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลที่มีความเสถียรมากขึ้น (โอภา, 2550) และสารสกัดพืช 10 ชนิด มีค่า CD อยู่ในช่วงปานกลางได้แก่ มันปลา ปลัง แปม ราชาวดีป่า สมุย ฮ้านน้ำ ทะโล้ เมี่ยงป่า เชียงดา และติ้วเกลี้ยง โดยอยู่ในช่วง 26.11-29.69 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งสารสกัดมันปลามีค่า CD ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ โดยสารสำคัญที่พบในมันปลา ได้แก่ สารกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ สเตอรอยด์ เทอร์พีน ซาโปนิน และน้ำมันหอมระเหย (นราพร, 2552) นอกจากนี้ วาณี (2554) ได้รายงานว่า สารสกัดมันปลามีปริมาณโพลีฟีนอลที่สูง โดยมีค่าเท่ากับ 228.7 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนสารสกัดที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิด CD ได้ต่ำ ประกอบด้วยสารสกัดพืช 4 ชนิด ได้แก่ ตะไคร้ต้น เหี่ย ไผ่ และผักชีฝรั่ง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 30.27-33.22 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม โดยสารสกัดตะไคร้ต้น มีค่า CD ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืช 4 ชนิด ที่มีค่า CD ต่ำ ได้แก่ ก่อข้าวฮ้านน้ำ มันปลา และสมุย มีค่า CD อยู่ในช่วง 21.44-24.93ไมโครโมลาร์ต่อกรัม และพบว่า สารสกัดก่อข้าวมีค่า CD ต่ำที่สุด และมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสารสกัดก่อข้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ (นราพร, 2552) ส่วนสารสกัดพืช 8 ชนิด ได้แก่ เชียงดา ปลัง ทะโล้ เมี่ยงป่า เหี่ย ตะไคร้ต้น ติ้วเกลี้ยง และแปม มีค่า CD ปานกลาง โดย สารสกัดเชียงดามีค่า 25.28 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ ส่วนสารสกัดพืชที่มีค่า CD สูง ได้แก่ สารสกัดผักชีฝรั่ง ไผ่ และราชาวดีป่า

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดพืชในวันที่ 20 พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันถั่วเหลืองจาก 75 เป็น 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มค่า CD แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ 1 เป็น กลุ่มพืชที่ค่า CD มีแนวโน้มลดลง และ กลุ่มที่ 2 เป็น กลุ่มพืชที่ มี แนวโน้มค่า CD เพิ่มขึ้น หรือเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสารสกัดพืช 11 ชนิด ได้แก่ เหี่ย ผักปลัง เมี่ยงป่า ก่อข้าว ติ้วเกลี้ยง มันปลา เชียงดา ตะไคร้ต้น สมุย ฮ้านน้ำ และผักไผ่ พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของสารสกัด เป็นการเพิ่มจำนวนของสารที่มีสมบัติในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันต่อหน่วยปริมาตร เช่น สารในกลุ่มฟีนอลิก ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ณัฏฐินี, 2546) สอดคล้องกับผลการทดลองในสารสกัดเปลือกพิสตาชิโอ (pistachio) (Goli และคณะ, 2005) และสารสกัดจากกากงา (Mohdaly และคณะ, 2011) ที่ทำในน้ำมันถั่วเหลือง โดยการเพิ่มความเข้มข้นจะเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ดีขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งบ่งชี้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีขึ้น

ส่วนกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย สารสกัดราชาวดีป่า ผักแปม ผักชีฝรั่ง และทะโล้ ที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันถั่วเหลืองจาก 75 เป็น 500 พีพีเอ็ม ทำให้ค่า CD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของสารสำคัญในพืช ที่อาจประกอบด้วยสารประกอบบางชนิดที่ เมื่อความเข้มข้นต่ำแสดงสมบัติเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน แต่ที่ความเข้มข้นสูงแสดงสมบัติเป็นสารโปรออกซิแดนซ์ เช่น วิตามินซี หรือเบต้าแคโรทีน โอภา (2550) ระบุว่าวิตามินซี เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีโครงสร้างเป็นวงห้าเหลี่ยมของแลคโตนที่มี 2,3-enediol ติดกับหมู่คาร์บอนิล ซึ่งพร้อมที่จะให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ แต่ในทางกลับกัน ถ้าปริมาณวิตามินซีสูงกว่า 1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายที่มี Fe^{3+} หรือ Cu^{2+} ที่เป็นโลหะทรานซิชันร่วมอยู่ด้วย วิตามินซีจะแสดงฤทธิ์เป็นโปรออกซิแดนซ์ ซึ่งโลหะทรานซิชันนั้นอาจอาจพบได้ในสารสกัดพืช ดังเช่น ผักชีฝรั่ง พบว่า มีเหล็กเป็นองค์ประกอบสูงถึง 13 เปอร์เซ็นต์ (สุธรรม และคณะ, 2552ก) ดังนั้น สารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดอาจประกอบด้วยสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน และสารโปรออกซิแดนซ์ ขึ้นกับความเข้มข้นของสารประกอบในพืช

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ชนิดของสารสกัดพืชและความเข้มข้นมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่า CD โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชส่วนใหญ่มีผลทำให้ค่าค่า CD ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ในพืชบางชนิดมีผลทำให้ค่า CD เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังนั้น ทั้งชนิดกับความเข้มของสารสกัดพืชจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า CD

4.1.1.2 PV

การวิเคราะห์ออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี PV เป็นการหาปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหรือไขมัน สารดังกล่าวเกิดจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยเป็นปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชัน มีหลักการ คือ ไอโอไดด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนของเปอร์ออกไซด์ในสภาวะที่เป็นกรดก่อให้เกิดเกิดไอโอดีนอิสระ และวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนอิสระที่เกิดขึ้นด้วยการทำปฏิกิริยาสมมูลกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ค่าเปอร์ออกไซด์ที่ได้จะคำนวณเป็น มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (นิธิยา, 2548)

ในวันที่ 0 ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากพืช มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5.46±0.05 ถึง 7.28±0.05 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง แม้ว่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งอาจจะเกิดจากกรดไขมันดูดซึมไอโอดีนที่บริเวณตำแหน่งพันธะคู่ จึงเป็นเหตุเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ (Pegg, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า PV (มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 20
ควบคุม	-	6.73±0.00 $^{j-o}$	30.18±0.18 ^{op}
บีเอชที	75	6.50±0.14 $^{g-l}$	17.84±0.09 ^{b}
เหี่ย	75	5.81±0.09 $^{a-c}$	34.04±0.09 ^{s}
	200	6.08±0.74 $^{b-f}$	32.47±0.09 ^{r}
	500	7.06±0.09 $^{o-q}$	21.82±0.74 $^{d-f}$
ผักปลัง	75	5.88±0.18 $^{b-d}$	30.05±0.37 ^{op}
	200	6.04±0.14 $^{b-f}$	26.66±0.37 ^{kl}
	500	6.34±0.09 $^{f-j}$	18.29±0.37 ^{bc}
ราชาวดีป่า	75	5.46±0.05 ^{a}	21.95±0.37 $^{d-f}$
	200	6.27±0.09 $^{e-i}$	21.63±0.09 $^{d-f}$
	500	6.60±0.09 $^{h-m}$	31.82±0.46 ^{qr}
เมี่ยงป่า	75	6.96±0.05 $^{m-q}$	27.57±0.74 ^{lm}
	200	7.15±0.05 $^{p-q}$	24.70±0.37 ^{ij}
	500	7.02±0.05 $^{n-q}$	21.10±0.65 ^{de}
ก่อข้าว	75	6.27±0.00 $^{e-i}$	23.59±0.28 ^{hi}
	200	6.24±0.05 $^{d-h}$	17.84±0.46 ^{b}
	500	6.76±0.05 $^{k-o}$	13.39±0.65 ^{a}
ติ้วเกลี้ยง	75	6.30±0.05 $^{e-i}$	31.95±0.09 ^{qr}
	200	6.53±0.09 $^{g-l}$	25.74±0.00 ^{jk}
	500	7.28±0.05 ^{q}	20.65±0.18 ^{d}
ผักแปม	75	6.50±0.05 $^{g-l}$	20.84±0.83 ^{d}
	200	6.86±0.09 $^{l-p}$	22.54±0.65 $^{f-h}$
	500	6.96±0.05 $^{m-q}$	28.03±0.09 ^{mn}
ผักชีฝรั่ง	75	5.75±0.00 ^{ab}	23.45±0.09 $^{g-i}$
	200	6.37±0.32 $^{f-k}$	33.78±0.28 ^{s}
	500	6.50±0.05 $^{g-l}$	31.03±0.28 ^{pq}
มันปลา	75	6.66±0.28 $^{i-n}$	22.47±0.92 $^{f-h}$
	200	6.44±0.14 $^{f-k}$	19.40±1.39 ^{c}
	500	6.57±0.05 $^{g-l}$	13.46±0.55 ^{a}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า PV (มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม)	
		Day0	Day20
เชียงดา	75	6.27±0.09 $^{e-i}$	30.18±0.92 ^{op}
	200	6.53±0.28 $^{g-l}$	21.36±0.46 $^{d-f}$
	500	6.37±0.05 $^{f-k}$	18.16±0.00 ^{bc}
ตะไคร้ต้น	75	6.04±0.05 $^{b-f}$	32.21±0.28 ^{qr}
	200	6.37±0.14 $^{f-k}$	29.27±0.74 ^{no}
	500	6.57±0.05 $^{g-l}$	26.07±0.28 ^{k}
สมุย	75	6.24±0.23 $^{d-h}$	28.49±0.37 ^{mn}
	200	6.21±0.09 $^{d-h}$	23.91±0.74 ^{i}
	500	6.73±0.18 $^{j-o}$	18.42±0.37 ^{bc}
ผักไผ่	75	5.49±0.18 ^{a}	43.32±1.39 ^{u}
	200	5.72±0.23 ^{ab}	42.01±0.83 ^{t}
	500	5.91±0.05 $^{b-e}$	28.42±0.46 ^{mn}
ฮ้านน้ำ	75	6.17±0.14 $^{c-g}$	28.29±0.46 ^{mn}
	200	6.44±0.05 $^{f-k}$	26.13±1.29 ^{k}
	500	6.34±0.00 $^{f-j}$	17.71±0.09 ^{b}
ทะโล้	75	6.44±0.05 $^{f-k}$	21.76±0.09 $^{d-f}$
	200	6.30±0.05 $^{e-i}$	26.13±0.00 ^{k}
	500	6.44±0.14 $^{f-k}$	22.21±0.92 $^{e-g}$

หมายเหตุ : พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี PV ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.2) พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชทีให้ผลในการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกับผลจากวิธี CD คือ บีเอชทีสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันโมเลกุลจึงมีความเสถียร และไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้ ค่า PV ของตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6.50±0.14 เป็น 17.84±0.09 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม และมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (30.18±0.18 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน ค่า PV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่าชนิดของพืชมีผลต่อการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลือง (ตารางที่ 4.2) โดยมีค่า PV อยู่ในช่วง 13.39-43.32 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม และยังพบอีกว่า การทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกับกับวิธี CD คือ น้ำมันที่เติมสารสกัดก่อข้าว 500 พีพีเอ็ม มีค่า PV ต่ำที่สุด ในขณะที่ น้ำมันที่เติมสารสกัดผักไผ่ 75 พีพีเอ็ม มีค่า CD สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดที่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 75 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัดพืชส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 20.84-28.49 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ได้แก่ แปม ทะโล้ ราชาวดีป่า มันปลา ผักชีฝรั่ง ก่อข้าว เมี่ยงป่า ฮ้านน้ำ และสมุย โดยสารสกัดแปมมีค่า PV ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้และมีค่าต่ำกว่าสมุยซึ่งแสดงค่า PV สูงที่สุดในกลุ่มนี้ 1.4 เท่า โดยพบว่าในสารสกัดจากใบผักแปมมีสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง (Sithisam and Jarikasem, 2009) โดยทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ เช่น อนุมูลอัลคิล (alkyl free radical, R•) และ อนุมูลอัลคอกซิล (alkoxyl radical, RO•) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่จะเปลี่ยนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (โอภาและคณะ, 2550) ส่วนสารสกัดพืชอีก 6 ชนิดที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ได้น้อย ได้แก่ ปลัง เชียงดา ติ้วเกลี้ยง ตะไคร้ต้น เหี่ย และผักไผ่ มีค่า PV สูง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 30.05-43.32 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งสารสกัดผักปลังเป็นสารที่มีค่า PV ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย เบต้าแคโรทีน ลูทีน และซีแซนทีน เป็นองค์ประกอบ (นันนทวันและคณะ, 2542 และ Lakshminarayana และคณะ 2007)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม พบว่า น้ำมันที่เติมสารสกัดก่อข้าว และมันปลา มีค่า PV ต่ำ โดยมีค่า PV เท่ากับ 17.84±0.46 และ 19.40±1.39 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัมตามลำดับ แต่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าสารสำคัญที่พบในพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็น สารกลุ่มอัลคาลอยด์ สเตอรอยด์ เทอร์พีน ฟลาโวนอยด์ และซาโปนิน (นราพร, 2552) ซึ่งสารที่พบอาจแสดงคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับสารประกอบฟีนอลิก และพบว่า สารสกัดพืชที่มีค่า PV ในระดับปานกลางหรืออยู่ในช่วง 21.36-29.27 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ได้แก่ สารสกัดเชียงดา ราชาวดีป่า แปม สมุย เมี่ยงป่า ติ้วเกลี้ยง ทะโล้ ฮ้านน้ำ ผักปลัง และตะไคร้ต้น ซึ่งสารสกัดเชียงดาที่มีค่า PV ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ มีรายงานว่า ประกอบด้วย แคโรทีน แซนโทฟิลล์ วิตามินซี วิตามินอี และแทนนินที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Chanwitheesuk และคณะ, 2005) จึงสามารถยับยั้งไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จากการรวมกันของออกซิเจนและอนุมูลอิสระของกรดไขมัน ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดพืชอีก 3 ชนิด ได้แก่ เหี่ย ผักชีฝรั่งและผักไผ่ มีค่า PV สูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 32.47-42.00 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม โดยในกลุ่มนี้สารสกัดเหี่ย มีค่า PV ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งพบว่ามี เควอซีทิน (quercetin) ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ในรูปอกลัยโคนเป็นองค์ประกอบ (Nigolova และคณะ, 2004)

ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ของสารสกัดพืชที่เติมลงในน้ำมันถั่วเหลือง พบว่ามีสารสกัดพืชถึง 6 ชนิด ที่มีค่า PV ต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 13.39-18.42 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ได้แก่ สารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ เชียงดา ผักปลัง และสมุย ในกลุ่มนี้สารสกัดก่อข้าวและมันปลามีค่า PV ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชที่มีค่า PV ในระดับปานกลางประกอบด้วย ติ้วเกลี้ยง เมี่ยงป่า เหี่ย ทะโล้ ตะไคร้ต้น แปม และผักไผ่ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 20.65-28.48 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งสารสกัดติ้วเกลี้ยงซึ่งมีค่า PV ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ แสดงค่า PV ต่ำกว่าผักไผ่ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดในกลุ่มนี้ถึง 7.83 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่า ในติ้วเกลี้ยงมีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แซนโทน (สุธี, 2549) และพบว่า น้ำมันที่เติมสารสกัดพืชที่มีค่า PV สูง มีเพียง 2 ชนิด ได้แก่ สารสกัดผักชีฝรั่งและสารสกัดราชาวดีป่า โดยมีค่า PV 31.03±0.28 และ 31.82±0.46 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันถั่วเหลืองจาก 75 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า มีผลทำให้ค่า PV ของวันที่ 20 แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.2) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มพืชที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันมีผลให้ค่า PV มีแนวโน้มลดลง และกลุ่มที่ 2 เป็น กลุ่มพืชที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันมีผลให้ค่า PV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หรือเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสารสกัดพืช 11 ชนิด ได้แก่ เหี่ย ผักปลัง เมี่ยงป่า ก่อข้าว ติ้วเกลี้ยง มันปลา เชียงดา ตะไคร้ต้น สมุย ฮ้านน้ำ และผักไผ่ ส่วนสารสกัดพืชกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย สารสกัดราชาวดีป่า ผักแปม ผักชีฝรั่ง และทะโล้ จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทั้งสองวิธีนี้เป็นการประเมินหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกัน (Pegg, 2002)

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าชนิดพืชมีอิทธิพลร่วมกับความเข้มข้นพืช โดยพืชบางชนิดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าตัวแปรตาม PV เพิ่มขึ้น แต่ก็พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพืชบางชนิด มีผลทำให้ค่าดังกล่าวลดลง ดังนั้น ชนิดกับความเข้มจึงมีอิทธิพลร่วมต่อกัน ทั้งในเชิงบวกและเชิงลบ ขึ้นอยู่กับสารประกอบที่มีอยู่ในพืชแต่ละชนิด

4.1.1.3 TBARS

วิธี TBARS เป็นการวิเคราะห์สารประกอบ เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาขั้นที่สอง ของการเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน อาศัยหลักการการวัดสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างของมาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde, MDA) กับกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid) ที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร ซึ่งความเข้มของสีชมพูจะแปรผันตรงกับปริมาณสารประกอบในตัวอย่าง และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ (malondihyde, MDA) ต่อกิโลกรัม

ผลการทดลองในวันที่ 0 (ตารางที่ 4.3) พบว่า ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ทำการทดสอบทั้งหมดมีค่า TBARS อยู่ระหว่าง 2.93-4.58 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม แม้ว่าแตกต่างกันเพียง 1.65 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid) เป็นสารที่ทำปฏิกิริยาไม่เฉพาะเจาะจงกับมาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde, MDA) เพียงตัวตัวเดียว แต่มีสารหลายชนิดที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริก แล้วก่อให้เกิดสารประกอบที่มีสีชมพูและสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตรเช่นเดียวกัน (โอภา, 2550) จึงก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการทดสอบ

ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 พบว่า ค่า TBARS เพิ่มสูงขึ้นในทุกตัวอย่างที่ทดสอบ โดยตัวอย่างควบคุมมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นจาก 4.39±0.01 เป็น 15.31±0.70 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.3) และพบว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชทีให้ผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกับผลจากวิธี CD และ PV คือ บีเอชทีสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันโมเลกุลจึงมีความเสถียร ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่จะสามารถพัฒนาต่อไปเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ โดยค่า TBARS ของตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเท่ากับ 9.98 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า บีเอชทีมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 วันได้

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า สารสกัดพืชสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองแตกต่างกันภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน โดยสารสกัดก่อข้าว 500 พีพีเอ็ม แสดงค่า TBARS ต่ำที่สุด คือ 8.77 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม และสารสกัดผักไผ่ 75 พีพีเอ็ม แสดงค่า TBARS สูงที่สุด คือ 25.85 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพในการยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัด มันปลาและทะโล้ มีค่า TBARS ต่ำที่สุด คือมีค่า 13.27 และ 13.29 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) วาณี (2554) พบว่า สารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่สูง โดยมีค่า 228.7 และ 180.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักพืชแห้ง) ซึ่งสารประกอบโพลีฟีนอลหรือฟีนอลิกนี้อาจหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่โดยทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระเพื่อยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในขั้นแรก และป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ขั้นต่อเนื่องของปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารสกัดพืชส่วนใหญ่มีค่า TBARS ปานกลาง ได้แก่ สารสกัดแปม ฮ้านน้ำ เชียงดา ติ้วเกลี้ยง ก่อข้าว ผักชีฝรั่ง สมุย เมี่ยงป่า และเหี่ย ซึ่งมีค่า TBARS อยู่ในช่วง 14.31-19.75 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม และพบว่าสารสกัดผักแปมมีค่า TBARS ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ ซึ่งสารสกัดแปมมีเบต้าแคโรทีน แซนโทฟิล และวิตามินซี (สุธรรม และคณะ, 2552ก) อย่างไรก็ตาม ค่า TBARS ของสารสกัดผักแปมมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับสารสกัดฮ้านน้ำ เชียงดา ติ้วเกลี้ยง ก่อข้าว ผักชีฝรั่ง ส่วนสารสกัดพืชที่มีค่า TBARS สูง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20.67-25.85 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ได้แก่ ผักปลัง ตะไคร้ต้น ราชาวดีป่า และผักไผ่

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัดติ้วเกลี้ยง ราชาวดีป่า มันปลา ก่อข้าว และเมี่ยงป่า เป็นพืชที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี ซึ่งมีค่า TBARS ต่ำโดยมีค่าอยู่ในช่วง 12.91-13.70 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมและไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ของพืชทั้ง 5 ชนิด สารสกัดพืชที่มีค่า TBARS ในระดับปานกลางโดยมีค่าอยู่ในช่วง 14.16-19.07 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ได้แก่ สารสกัดฮ้านน้ำ เชียงดา ผักปลัง สมุย ผักไผ่ ทะโล้ ตะไคร้ต้น เหี่ย และแปม ซึ่งสารสกัดฮ้านน้ำมีค่า TBARS ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ และมีรายงานว่ามีสารฟีนอลิกทั้งหมดเป็นองค์ประกอบ 86.50 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (นราพร, 2552) อย่างไรก็ตาม สารสกัดฮ้านน้ำมีค่า TBARS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับสารสกัดเชียงดา ผักปลัง และสมุย ส่วนน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชที่มีค่า TBARS สูง มีเพียงชนิดเดียว คือ สารสกัดผักชีฝรั่ง โดยมีค่า TBARS 22.51 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัดพืช 6 ชนิดที่มีค่า TBARS ต่ำ ได้แก่ ก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ ติ้วเกลี้ยง เมี่ยงป่า และสมุย มีค่า TBARS อยู่ในช่วง 8.77-13.24 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ส่วนสารสกัดเชียงดา ตะไคร้ต้น ผักไผ่ ทะโล้ ผักปลัง เหี่ย และผักชีฝรั่ง มีค่า TBARS ปานกลาง คือมีค่า 14.16-17.45 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดพืชที่แสดงค่า TBARS สูงมีเพียง 2 ชนิด ได้แก่ สารสกัดแปมและราชาวดีป่า โดยมีค่า 20.56 และ 22.40 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันถั่วเหลืองจาก 75 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า มีผลทำให้ค่า TBARS ของวันที่ 20 แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.3) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มพืชที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันมีผลให้ค่า TBARS มีแนวโน้มลดลง และ กลุ่มที่ 2 เป็น กลุ่มพืชที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันมีผลให้ค่า TBARS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หรือเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสารสกัดพืช 11 ชนิด ได้แก่ เหี่ย ผักปลัง เมี่ยงป่า ก่อข้าว ติ้วเกลี้ยง มันปลา เชียงดา ตะไคร้ต้น สมุย ฮ้านน้ำ และผักไผ่ ส่วนสารสกัดพืชกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย สารสกัดราชาวดีป่า ผักแปม ผักชีฝรั่ง และทะโล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น	TBARS (มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 20
ควบคุม	-	4.39±0.01 $^{m-p}$	15.31±0.70 $^{e-j}$
บีเอชที	75	3.26±0.05 $^{a-e}$	9.98±0.09 ^{ab}
เหี่ย	75	3.77±0.08 $^{e-k}$	19.75±0.57 $^{m-o}$
	200	4.18±0.38 $^{i-p}$	18.48±0.40 $^{k-o}$
	500	4.17±0.10 $^{i-p}$	16.96±0.26 $^{j-l}$
ผักปลัง	75	3.77±0.02 $^{e-k}$	20.67±2.41 ^{op}
	200	3.08±0.01 $^{a-c}$	16.18±1.07 $^{g-k}$
	500	3.12±0.10 $^{a-d}$	16.85±0.86 $^{i-l}$
ราชาวดีป่า	75	3.32±0.00 $^{a-e}$	23.08±0.56 ^{q}
	200	3.34±0.14 $^{a-e}$	13.05±0.17 $^{c-f}$
	500	4.34±0.14 $^{l-p}$	22.40±0.48 ^{pq}
เมี่ยงป่า	75	4.13±0.21 $^{i-p}$	18.85±1.62 $^{l-o}$
	200	3.60±0.08 $^{d-h}$	13.70±0.60 $^{d-g}$
	500	3.29±0.49 $^{a-e}$	12.74±0.49 $^{c-e}$
ก่อข้าว	75	3.95±0.04 $^{g-n}$	15.37±1.05 $^{e-j}$
	200	4.18±0.05 $^{i-p}$	13.59±0.51 $^{d-f}$
	500	4.18±0.21 $^{i-p}$	8.77±0.18 ^{a}
ติ้วเกลี้ยง	75	3.04±0.10 ^{ab}	15.20±1.03 $^{e-j}$
	200	3.14±0.04 $^{a-d}$	12.91±0.56 $^{c-f}$
	500	3.27±0.27 $^{a-e}$	11.54±0.37 $^{b-d}$
ผักแปม	75	4.16±0.17 $^{i-p}$	14.31±0.98 $^{e-i}$
	200	4.29±0.20 $^{k-p}$	19.07±0.48 $^{l-o}$
	500	4.17±0.01 $^{i-p}$	20.56±1.43 $^{n-p}$
ผักชีฝรั่ง	75	4.43±0.29 $^{n-p}$	16.86±0.57 $^{i-l}$
	200	3.76±0.15 $^{e-j}$	22.51±0.04 ^{pq}
	500	4.13±0.25 $^{i-p}$	17.45±0.63 $^{j-m}$
มันปลา	75	2.93±0.10 ^{a}	13.27±0.24 $^{c-f}$
	200	3.07±0.06 $^{a-c}$	13.18±0.65 $^{c-f}$
	500	4.58±0.55 ^{p}	9.07±0.13 ^{a}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น	TBARS (มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 20
เชียงดา	75	3.77±0.05 $^{e-k}$	15.04±0.13 $^{e-j}$
	200	4.42±0.24 $^{m-p}$	15.10±0.35 $^{e-j}$
	500	4.52±0.28 ^{op}	14.16±0.87 $^{e-h}$
ตะไคร้ต้น	75	3.85±0.05 $^{f-l}$	22.30±1.49 ^{pq}
	200	3.39±0.08 $^{a-f}$	18.16±1.02 $^{k-n}$
	500	3.46±0.11 $^{b-g}$	15.43±0.64 $^{f-j}$
สมุย	75	3.26±0.03 $^{a-e}$	18.47±0.36 $^{k-o}$
	200	3.57±0.36 $^{c-h}$	16.65±0.35 $^{h-l}$
	500	3.73±0.08 $^{e-i}$	13.24±1.45 $^{c-f}$
ผักไผ่	75	4.08±0.38 $^{h-p}$	25.85±0.07 ^{r}
	200	3.91±0.03 $^{g-m}$	17.33±0.16 $^{j-m}$
	500	3.92±0.18 $^{g-n}$	16.60±0.42 $^{h-l}$
ฮ้านน้ำ	75	4.27±0.25 $^{j-p}$	15.03±3.15 $^{e-j}$
	200	4.31±0.29 $^{l-p}$	14.16±3.95 $^{e-h}$
	500	3.29±0.18 $^{a-e}$	10.99±0.24 $^{a-c}$
ทะโล้	75	4.06±0.35 $^{h-o}$	13.29±0.39 $^{c-f}$
	200	3.93±0.26 $^{g-n}$	17.49±0.38 $^{j-m}$
	500	3.76±0.31 $^{e-j}$	16.76±1.32 $^{h-l}$

หมายเหตุ : พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV คือ ชนิดพืชมีอิทธิพลร่วมกับความเข้มข้นพืชโดยบางชนิดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมีผลทำให้ค่าตัวแปรตาม TBARS มีค่าลดลง แต่ก็พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพืชบางชนิด มีผลทำให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น ดังนั้น ชนิดและความเข้มของสารสกัดพืชจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD, PV และ TBARS พบว่า ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดก่อข้าว 500 พีพีเอ็ม มีค่าต่ำที่สุดและมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในทุกวิธีการทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที พบว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV สารสกัดก่อข้าวมีค่าต่ำกว่าบีเอชที อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่เม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS ความแตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันประกอบด้วยหลายขั้นตอน และวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน โดยวิธี CD และ PV เป็นการวิเคราะห์ผลผลิตขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนวิธี TBARS เป็นการวิเคราะห์ผลผลิตขั้นที่ 2 ของการเกิดออกซิเดชัน (Kiokias และคณะ, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดพืชภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD PV และ TBARS พบว่า สารสกัดพืช 5 ตัวอย่าง คือ สารสกัดก่อข้าว 200 พีพีเอ็ม ก่อข้าว 500 พีพีเอ็ม มันปลา 500 พีพีเอ็ม ฮ้านน้ำ 500 พีพีเอ็ม และ สมุย 500 พีพีเอ็ม จัดอยู่ในกลุ่มที่มีค่าการเกิดออกซิเดชันที่ต่ำและมีค่า CD PV และ TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่าสารสกัดพืชทั้ง 5 ตัวอย่าง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วันได้ดี แม้ว่า ก่อข้าว 200 พีพีเอ็มจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี แต่จะเห็นได้ว่าสารสกัดพืชส่วนใหญ่ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันมีความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ดังนั้น เพื่อเป็นการทดสอบชนิดของสารสกัดพืช จึงได้คัดเลือกสารสกัดพืชที่มีความเข้มข้นเดียวกัน คือ สารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และ สมุย ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มาใช้ในการศึกษาความสามารถในการต้านการหืนในน้ำมันถั่วเหลืองต่อไป

4.1.2 น้ำมันปาล์ม

การเก็บน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าตัวอย่างน้ำมันปาล์มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการวัดการหืนของน้ำมัน การทดลองนี้ จึงเลือกการเติมเฟอร์ริกอิออนเข้มข้น 5 พีพีเอ็มในน้ำมันปาล์มเพื่อเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยเฟอร์ริกอิออนเป็นโลหะทรานซิชัน ซึ่งโลหะทรานซิชันจะทำปฏิกิริรีดอกซ์โดยการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ก่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระนอกจากนี้ยังพบว่าโลหะทรานซิชันสามารถเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้แต่จะเกิดขึ้นในอัตราที่ได้น้อยกว่า (Reischec และคณะ, 2007) ดังนั้น จึงนำน้ำมันปาล์มที่ผสมเฟอร์ริกอิออนมาเติมสารสกัดจากพืชจำนวน 15 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ 3 ระดับ ได้แก่ 200, 350 และ 500 พีพีเอ็ม แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 28 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันควบคุม (น้ำมันที่ผสมเฟอร์ริกอิออนเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม) และตัวอย่างที่เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม (เติมเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) เมื่อวิเคราะห์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี CD, PV และ TBARS ได้ผลดังนี้

4.1.2.1 CD

การวัดคอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) ที่มีลักษณะเป็นพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่ความยาวคลื่น 233 นาโนเมตร พบว่า ในวันที่ 0 ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที มีค่า 7.23 และ7.42 ไมโครโมลาร์ต่อกรัมตามลำดับ ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่า CD อยู่ในช่วง 6.44-8.28 ไมโคลโมลาร์ต่อกรัม (ตารางที่ 4.4) ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของวิธีการทดสอบ เนื่องจากตัวทำละลายหรืออาหารบางชนิดอาจมีผลรบกวนต่อการดูดกลืนแสง (White, 1995) จึงเป็นเหตุให้ผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.4 ตัวอย่างควบคุม (เติมเฟอร์ริกอิออน) มีค่า CD เพิ่มขึ้นเป็น 14.06±0.07 ไมโครโมลาร์ต่อกรัมหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน โดย มีค่าสูงกว่าน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกอิออน (7.31±0.12 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมเฟอร์ริกอิออนในน้ำมันปาล์มสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งโลหะทรานซิชันจะเร่งการเกิดออกซิเดชัน โดยในขั้นตอนนี้อาจจะเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ และจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อไป ก่อให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ดังนั้นค่า CD จึงเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า Conjugated diene hydroperoxide (CD) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	Conjugated diene hydroperoxide (ไมโครโมลาร์ต่อกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 28
ควบคุม	-	7.23±0.09 $^{h-o}$	14.06±0.07 ^{gh}
บีเอชที	200	7.42±0.08 $^{m-t}$	13.49±0.06 ^{ef}
เหี่ย	200	7.63±0.20 $^{q-u}$	17.70±0.09 ^{rs}
	350	7.83±0.32 ^{u}	17.54±0.08 $^{q-s}$
	500	7.68±0.10 $^{s-u}$	16.65±0.16 $^{n-p}$
ผักปลัง	200	6.44±0.17 ^{a}	16.16±0.35 $^{l-n}$
	350	6.70±0.08 $^{a-e}$	12.58±0.18 ^{d}
	500	6.62±0.06 $^{a-c}$	10.70±0.44 ^{b}
ราชาวดีป่า	200	6.90±0.08 $^{c-g}$	15.59±0.44 ^{kl}
	350	6.85±0.15 $^{b-g}$	16.55±0.40 $^{m-o}$
	500	7.09±0.20 $^{g-l}$	16.72±0.19 $^{n-p}$
เมี่ยงป่า	200	8.28±0.27 ^{v}	14.55±0.01 $^{g-i}$
	350	7.57±0.04 $^{p-u}$	15.69±0.04 ^{kl}
	500	7.34±0.04 $^{k-r}$	16.41±0.15 $^{m-o}$
ก่อข้าว	200	7.04±0.04 $^{f-k}$	15.31±0.05 ^{jk}
	350	7.06±0.07 $^{f-l}$	16.48±0.01 $^{m-o}$
	500	6.99±0.07 $^{e-i}$	16.91±0.14 ^{op}
ติ้วเกลี้ยง	200	7.32±0.15 $^{j-q}$	16.44±0.18 $^{m-o}$
	350	7.37±0.13 $^{l-s}$	14.92±0.03 ^{ij}
	500	7.36±0.19 $^{l-s}$	14.02±0.00 ^{fg}
ผักแปม	200	7.16±0.06 $^{g-n}$	17.25±0.62 $^{p-r}$
	350	7.31±0.06 $^{j-q}$	17.70±0.33 ^{rs}
	500	7.49±0.18 $^{o-t}$	17.23±0.16 $^{p-r}$
ผักชีฝรั่ง	200	6.65±0.17 $^{a-d}$	16.54±0.16 $^{m-o}$
	350	6.75±0.07 $^{b-f}$	16.93±0.01 ^{op}
	500	6.57±0.04 ^{ab}	16.53±0.20 $^{m-o}$
มันปลา	200	7.14±0.04 $^{g-m}$	15.70±0.24 ^{kl}
	350	7.27±0.19 $^{i-p}$	18.54±0.10 ^{t}
	500	7.31±0.08 $^{j-q}$	19.17±0.07 ^{u}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	Conjugated diene hydroperoxide (ไมโครโมลาร์ต่อกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 28
เชียงดา	200	7.43±0.23 $^{m-t}$	15.27±0.29 ^{jk}
	350	7.70±0.28 ^{tu}	11.97±0.14 ^{c}
	500	7.32±0.12 $^{k-q}$	9.51±0.67 ^{a}
ตะไคร้ต้น	200	7.00±0.06 $^{e-j}$	17.80±0.39 ^{rs}
	350	6.94±0.00 $^{d-h}$	16.56±0.51 $^{m-o}$
	500	6.95±0.01 $^{d-h}$	14.32±0.07 ^{gh}
สมุย	200	7.42±0.26 $^{m-t}$	15.12±0.45 $^{i-k}$
	350	7.48±0.16 $^{n-t}$	13.09±0.28 ^{de}
	500	7.60±0.08 $^{q-u}$	11.73±0.23 ^{c}
ผักไผ่	200	6.40±0.04 ^{a}	14.66±0.16 ^{hi}
	350	6.43±0.06 ^{a}	14.60±0.08 $^{g-i}$
	500	6.60±0.03 $^{a-c}$	14.14±0.02 ^{gh}
ฮ้านน้ำ	200	7.65±0.09 $^{r-u}$	15.97±0.40 ^{lm}
	350	7.49±0.05 $^{o-t}$	18.03±0.19 st
	500	7.72±0.03 ^{tu}	18.04±0.24 st
ทะโล้	200	7.13±0.07 $^{g-m}$	15.63±0.16 ^{kl}
	350	7.33±0.09 $^{k-r}$	15.65±0.37 ^{kl}
	500	7.16±0.03 $^{g-n}$	17.03±0.22 $^{o-q}$

หมายเหตุ : พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)
น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ มีค่า CD วันที่ 0 และ 20 คือ 6.97±0.02 และ 7.31±0.12 ไมโครโมลาร์ต่อกรัมตามลำดับ

เนื่องจากพันธะคู่จะเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งเป็นคอนจูเกตไดอีนระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (โอภา, 2550 และ Reische และคณะ, 2007 และ ShahidiและZhong, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าภายหลังจากการเก็บรักษา ตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่า CD ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ บีเอชที เป็นวัตถุกันหืนชนิดปฐมภูมิ ที่มีคุณสมบัติในการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกิดจากการเร่งของเฟอร์ริกอิออนที่เติมในน้ำมันปาล์ม เช่น อนุมูลอัลคิล (R•) อนุมูลเพอออกซี (ROO•) และ อนุมูลอัลคอกซิล (RO•) ดังนั้น บีเอชทีจึงป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับออกซิเจนซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Reische และคณะ, 2007 และ Shahidiและ Zhong, 2005)

ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชแต่ละชนิดภายหลังจากการเก็บรักษามีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยพบว่าสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็มมีค่า CD (9.51 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม) ต่ำที่สุด ในขณะที่สารสกัดมันปลา 500 พีพีเอ็ม (19.17 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม) มีค่า CD สูงที่สุด (ตารางที่ 4.4) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับการเกิดคอนจูเกตไดอีนที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม พบว่าสารสกัดพืชส่วนใหญ่จะมีค่า CD อยู่ระหว่าง 14.55-16.54 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ได้แก่ เมี่ยงป่า ผักไผ่ สมุย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชียงดา ก่อข้าว ราชาวดีป่า ทะโล้ มันปลา ฮ้านน้ำ ผักปลัง ติ้วเกลี้ยง และผักชีฝรั่ง ส่วนสารสกัดพืชอีก 3 ชนิดที่เหลือนั้น มีค่า CD ค่อนข้างสูง โดยมีค่าสูงกว่า 17 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ได้แก่ แปม เหี่ย และตะไคร้ต้น ซึ่งสารสกัดพืชทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้ที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม สารสกัดเมี่ยงป่ามีประสิทธิภาพการยับยั้งค่า CD ดีที่สุดสารสำคัญที่พบในเมี่ยงป่า ได้แก่ คาทิชิน อิพิคาทิชิน เคมเฟอรอล และเควอซิทินไกลโคไซด์ (Chi และคณะ,2004) สารดังกล่าวอยู่ในกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เป็นวัตถุกันหืนชนิดปฐมภูมิโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเร่งของเฟอร์ริกอิออนแล้ว ยังสามารถจับกับโลหะหนักโดยเฉพาะกรดฟีนอลิกที่มีโครงสร้างแบบออโธ-ไดฟีนอลิก (ortho-diphenolic) เช่น เควอซิทิน สามารถดึงโลหะ เช่น เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) มารวมไว้ในโครงสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว ทำให้โลหะนั้นไม่สามารถไปเร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันได้อีก (โอภา, 2550 และ อนุชิตา, 2555)

ส่วนที่ความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม สารสกัดแหี่ย แปม ฮ้านน้ำ และมันปลาแสดงค่า CD สูงที่สุด (17.54-18.54 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม) ในขณะที่ สารสกัดเชียงดา ผักปลัง และสมุย แสดงค่า CD ต่ำที่สุด (11.97-13.09 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม) แสดงว่าสารทั้ง 3 ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิออดซิเดชันได้ดี ซึ่งสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเชียงดาคือ แคโรทีน แซนโทฟิลล์ วิตามินซี วิตามินอี และแทนนิน (Chanwitheesuk และคณะ, 2005) ในสารสกัดผักปลัง พบว่ามีวิตามินซี ลูทีน และซีแซนทีน (สุธรรม และคณะ, 2552ก และ Lakshminarayana และคณะ, 2007) ส่วนสมุยพบว่า มี ฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะกลุ่ม 5,7-Dihydroxy-3,40,6,8-tetramethoxyflavone เป็นองค์ประกอบ (นราพร, 2552 และ Sohrab และคณะ 2004) ซึ่งสารที่พบในพืชทั้ง 3 ชนิดอาจทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระและยังสามารถจับกับอนุมูลของโลหะหนักได้ นอกจากนี้ยังพบว่าวิตามินซีนอกจากจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของกรดไขมันและจับกับโลหะหนักแล้วยังทำหน้าที่เป็นสารเสริมฤทธิ์การต้านการเกิดออกซิเดชัน โดยสามารถเปลี่ยนอนุมูลอิสระของวิตามินอีให้กลับไปเป็นวิตามินอีได้อีก (โอภา, 2550) ในส่วนของสารสกัดพืชที่เหลืออีก 8 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 14.60-16.93 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ได้แก่ ผักไผ่ ติ้วเกลี้ยง ทะโล้ เมี่ยงป่า ก่อข้าว ราชาวดีป่า ตะไคร้ต้น และผักชีฝรั่ง นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเชียงดา ผักปลัง และสมุย ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ให้ผลสอดคล้องกันกับความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม คือ มีความสามารถในการยับยั้งการเกิด CD ได้ดีและจัดอยู่ในกลุ่มที่มีค่า CD ต่ำ โดยมีค่า CD เท่ากับ 9.51, 10.70 และ 11.73 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ชนิดของพืชที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิด CD ปานกลาง และน้อย เปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่า สารสกัดพืชที่มีค่า CD ปานกลาง มี 8 ชนิด คือ ติ้วเกลี้ยง ผักไผ่ ตะไคร้ต้น เมี่ยงป่า ผักชีฝรั่ง เหี่ย ราชาวดีป่า และก่อข้าว มีค่า CD อยู่ในช่วง 14.02-16.91 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม โดยสารสกัดติ้วเกลี้ยงมีค่า CD ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ โดยสารสำคัญที่พบในติ้วเกลี้ยง คือ แซนโทน (สุธี, 2549) ส่วนสารสกัดพืชที่มีความสามารถยับยั้งการเกิด CD ได้ต่ำ คือ คือ ทะโล้ แปม ฮ้านน้ำ และมันปลา มีค่าอยู่ในช่วง 17.03-18.04 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม โดยพบว่า สารสกัดทะโล้และแปมมีค่า CD ต่ำกว่า สารสกัดฮ้านน้ำและมันปลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้ การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันปาล์มจาก 200 เป็น 500 พีพีเอ็ม มีผลทำให้ค่า CD แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ค่า CD มีแนวโน้มลดลง กลุ่มที่ 2 ให้ค่า CD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และกลุ่มที่ 3 ค่า CD มีแนวโน้มคงที่ โดย กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยพืช 6 ชนิดได้แก่ เหี่ย ผักปลัง ติ้วเกลี้ยง เชียงดา ตะไคร้ต้น และสมุย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของสารสกัด ทำให้มีสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน เพิ่มขึ้นตามไป

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย (ณัฏฐินี, 2546) และในกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสารสกัดจากราชาวดีป่า เมี่ยงป่า ก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และทะโล้ ทั้งนี้ สารสกัดพืชทั้ง 6 ชนิด อาจมีสารที่เป็นโปรออกซิแดนซ์เป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น เบต้า-แคโรทีน พบว่ามีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันหืนได้ในผลิตภัณฑ์ไขมันและน้ำมัน แต่มีข้อจำกัดอยู่ คือ ในสภาวะที่มีออกซิเดนสูง เบต้า-แคโรทีนสามารถถูกกระตุ้นให้กลายเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้ (วรพล, 2555) ส่วนกลุ่มที่ 3 ที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่า CD ประกอบด้วย ผักแปม ผักชีฝรั่ง และผักไผ่ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันขึ้นกับความเข้มข้นและประสิทธิภาพของสารต้านการหืนด้วย (Juntachot และคณะ, 2006)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าชนิดพืชและความเข้มข้นของพืชมีอิทธิพลรวมกัน โดยจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า CD ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของพืชบางชนิดจะส่งผลทำให้ค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และการเพิ่มความเข้มข้นของพืชบางชนิดมีผลทำให้ค่า CD เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังนั้น ชนิดกับความเข้มของพืชจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า CD อย่างไรก็ตาม พืชบางชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า CD หลังจากเพิ่มความเข้มข้น โดยสารพืชที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งค่า CD ได้ดีและมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ สารสกัดสมุย เชียงดา และผักปลัง ที่ความเข้มข้น 350 และ500 พีพีเอ็ม

4.1.2.2 ค่า PV

การวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม โดยการหาปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยวิธี PV พบว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับวิธี CD คือ หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืช มีค่า PV เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.70-2.70 เป็น 8.95-27.96 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ ตัวอย่างควบคุมมีค่า PV เพิ่มขึ้นถึง 18.23±0.28 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอริกอิออน (2.44±0.13 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม) และน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที (14.83±0.28 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดพืชที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD เช่นกัน คือ มีสารสกัดพืชบางชนิดเท่านั้นที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีค่า PV สูง ได้แก่ ผักชีฝรั่ง ฮ้านน้ำ ผักแปม ตะไคร้ต้น และเหี่ย โดยพบว่ามีค่า PV สูงกว่า 22.08 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ส่วนสารสกัดพืชส่วนใหญ่นั้น มีค่า PV อยู่ในช่วง 17.64-22.08 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า สารสกัดผักชีฝรั่ง และแปมมีการเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงจากวิธี CD คือ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี CD แต่มีค่าการยับยั้งที่ต่ำเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี PV

ที่ความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัดเชียงดา สมุย และผักปลัง ให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD คือ สารสกัดพืชทั้ง 3 ชนิด จัดอยู่ในกลุ่มที่มีค่าต่ำ ส่วนสารสกัดพืชที่มีค่า PV อยู่ในช่วงปานกลางและสูงมีค่าเปลี่ยนแปลงไป คือ สารสกัดพืชที่มีค่า PV อยู่ในช่วงปานกลาง ประกอบด้วย ผักไผ่ ติ้วเกลี้ยง ราชาวดีป่า เมี่ยงป่า ทะโล้ และตะไคร้ต้น มีค่า PV อยู่ในช่วง 18.29-21.56 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม โดยสารสกัดผักไผ่มีค่า PV ต่ำที่สุดในกลุ่มนี้ ส่วนสารสกัดพืชอีก 6 ชนิดที่เหลือแสดงค่า PV มีค่าอยู่ในช่วง 23.13-26.66 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ($p<0.05$) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีค่า PV สูง และเช่นเดียวกันกับผลการทดสอบด้วยวิธี CD ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม คือ สารสกัดเชียงดา สมุย และผักปลัง มีค่า TBARS (8.95-10.45 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า PV (มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 28
ควบคุม	-	0.98±0.01 ^{c}	18.23±0.28 ^{hi}
บีเอชที	200	0.70±0.03 ^{a}	14.83±0.28 ^{e}
เหี่ยว	200	2.85±0.04 ^{s}	24.57±0.00 ^{qr}
	350	2.61±0.05 ^{r}	24.89±0.09 ^{r}
	500	2.26±0.06 ^{o}	24.63±0.09 ^{qr}
ผักปลัง	200	1.57±0.07 ^{ij}	21.49±0.65 ^{lm}
	350	1.00±0.01 ^{cd}	14.50±0.55 ^{e}
	500	0.88±0.06 ^{b}	10.45±0.18 ^{b}
ราชาวดีป่า	200	1.83±0.02 ^{k}	18.03±0.18 ^{h}
	350	2.41±0.04 ^{pq}	19.60±0.37 ^{j}
	500	2.60±0.02 ^{r}	21.30±0.37 ^{l}
เมี่ยงป่า	200	2.37±0.04 ^{p}	20.25±0.00 ^{jk}
	350	1.88±0.04 ^{k}	20.32±0.09 ^{k}
	500	1.58±0.05 ^{ij}	20.38±0.18 ^{k}
ก่อข้าว	200	2.37±0.18 ^{p}	17.77±0.00 ^{gh}
	350	1.85±0.02 ^{k}	23.13±0.00 ^{n}
	500	1.35±0.05 ^{fg}	23.13±0.55 ^{n}
ติ้วเกลี้ยง	200	1.48±0.10 ^{hi}	22.08±0.00 ^{m}
	350	1.29±0.10 ^{f}	18.82±0.18 ^{i}
	500	1.08±0.01 $^{c-e}$	17.31±0.09 ^{fg}
ผักแปม	200	3.25±0.06 ^{t}	23.59±0.65 $^{n-p}$
	350	2.84±0.02 ^{s}	24.63±0.46 ^{qr}
	500	2.44±0.10 ^{pq}	24.11±0.46 ^{pq}
ผักชีฝรั่ง	200	2.11±0.01 ^{n}	22.93±0.28 ^{n}
	350	1.99±0.01 ^{l}	23.26±0.00 ^{no}
	500	1.94±0.01 ^{kl}	23.19±0.28 ^{n}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า PV (มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม)	
		วันที่ 0	วันที่ 28
มันปลา	200	2.10±0.00 ^{mn}	19.60±0.18 ^{j}
	350	2.00±0.04 ^{lm}	24.96±0.18 ^{r}
	500	2.11±0.03 ^{n}	27.96±0.00 ^{t}
เชียงดา	200	1.64±0.01 ^{j}	20.97±0.46 ^{kl}
	350	1.12±0.01 ^{e}	12.61±0.28 ^{c}
	500	1.07±0.01 $^{c-e}$	8.95±0.09 ^{a}
ตะไคร้ต้น	200	1.89±0.00 ^{kl}	24.24±0.09 $^{p-r}$
	350	1.50±0.00 ^{hi}	21.56±0.37 ^{lm}
	500	1.28±0.04 ^{f}	16.73±0.18 ^{f}
สมุย	200	1.43±0.06 ^{gh}	17.64±0.18 ^{gh}
	350	1.13±0.00 ^{e}	13.33±0.00 ^{d}
	500	1.10±0.05 ^{de}	9.34±0.09 ^{a}
ผักไผ่	200	1.66±0.05 ^{j}	18.23±0.09 ^{hi}
	350	2.10±0.04 ^{mn}	18.29±0.37 ^{hi}
	500	2.14±0.05 ^{n}	17.84±0.46 ^{gh}
ฮ้านน้ำ	200	2.78±0.05 ^{s}	23.19±0.28 ^{n}
	350	2.57±0.01 ^{r}	26.66±0.37 ^{s}
	500	2.41±0.02 ^{pq}	26.98±0.28 ^{s}
ทะโล้	200	2.51±0.04 ^{qr}	20.91±0.55 ^{kl}
	350	2.81±0.00 ^{s}	20.58±0.65 ^{k}
	500	2.45±0.02 ^{pq}	23.91±0.37 $^{o-q}$

หมายเหตุ : พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ มีค่า PV วันที่ 0 และ 20 คือ 0.81±0.05 และ2.44±0.13 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัมตามลำดับ

กิโลกรัม) ต่ำกว่าสารสกัดพืชชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในทางตรงข้ามสารสกัดพืช 7 ชนิดแสดงค่า PV ที่สูงคือมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ต่ำ คือ สารสกัดก่อข้าว ผักชีฝรั่ง ทะโล้ ผักแปม เหี่ย ฮ้านน้ำ และมันปลา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 23.15-27.96 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ส่วนสารสกัดพืชชนิดอื่นๆ มีค่า PV ปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังจากการเก็บรักษา พบว่า ค่า PV จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารสกัดพืช โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดผักปลัง ติ้วเกลี้ยง เชียงดา ตะไคร้ต้น และสมุย มีผลต่อการลดลงของค่า PV ในทางตรงข้าม สารสกัดราชาวดีป่า ก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และทะโล้ ค่า PV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม สารสกัดเหี่ย เมี่ยงป่า ผักแปม ผักชีฝรั่ง และผักไผ่ เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทดลองข้างต้นจะพบว่า สารสกัดจากกพืชบางชนิดจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD ตัวอย่างเช่น สารสกัดผักชีฝรั่ง 350 พีพีเอ็ม จัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพต่ำในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี PV แต่มีประสิทธิภาพดีปานกลางเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD ทั้งนี้อาจเนื่องจากโลหะทรานซิชันจะทำปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดการสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระและะพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวิธีการวิเคราะห์ได้ แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่า สารสกัดเชียงดา สมุย และผักปลัง ที่ความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD

4.1.2.3 TBARS

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS พบว่า หลังจากการเก็บรักษา ตัวอย่างควบคุม (เติมเฟอร์ริกอิออน) มีค่า TBARS เพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 (0.59±0.04 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญและมีค่าสูงกว่าน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกอิออน 10.8 เท่า ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับวิธี CD และ PV จึงอาจยืนยันได้ว่าเฟอร์ริกอิออนมีผลต่อการเร่งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มได้ แต่ในขณะเดียวกันน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีให้ผลการทดลองแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีก่อนหน้านี้ โดยพบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า TBARS (4.94 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) ไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม (5.09 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การอออกซิเดชันของไขมันประกอบด้วยหลายขั้นตอน รวมทั้งเฟอริกอิออนที่เติมลงไปอาจเร่งปฏิกิริยาการสยายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นที่สองของปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าสารสกัดพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าที่ความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม มีเพียงสารสกัดเชียงดา สมุย และผักปลัง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV ส่วนที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม พบว่ามีการการเปลี่ยนแปลงไป โดยสารสกัดพืชที่มีค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันต่ำคือมีค่า TBARS สูงประกอบด้วยพืชถึง 8 ชนิด ซึ่งมีปริมาณมากกว่าการทดสอบด้วยวิธีอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วย ผักไผ่ เมี่ยงป่า ฮ้านน้ำ ผักชีฝรั่ง ราชาวดีป่า มันปลา ก่อข้าว และแปม มีค่า TBARS 6.02-8.35 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ส่วนสารสกัดที่มีค่า TBARS รองลงมา (4.14 และ 5.72 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) ได้แก่ ได้แก่ สมุย เชียงดา ติ้วเกลี้ยง ผักปลัง ทะโล้ เหี่ย และตะไคร้ต้น

สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นจาก 200 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัดพืชส่วนใหญ่มีค่า TBARS ลดลง ยกเว้น สารสกัดพืช 4 ชนิด ได้แก่ มันปลา ฮ้านน้ำ ผักไผ่ และทะโล้ ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้นข้นของสารสกัดจากพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชชนิดต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	TBARS (มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม)	
		Day0	Day28
ควบคุม	-	0.59±0.04 $^{d-f}$	5.09±0.04 $^{i-k}$
บีเอชที	200	0.42±0.01 ^{b}	4.94±0.20 ^{ij}
เหี่ยว	200	1.23±0.01 ^{m}	5.54±0.25 $^{k-n}$
	350	0.80±0.01 ^{h}	5.02±0.01 $^{i-k}$
	500	0.79±0.00 ^{h}	4.82±0.41 $^{h-j}$
ผักปลัง	200	0.68±0.02 ^{fg}	5.02±0.18 $^{i-k}$
	350	0.50±0.01 ^{bc}	3.75±0.42 ^{d}
	500	0.28±0.01 ^{a}	2.82±0.02 ^{bc}
ราชาวดีป่า	200	1.30±0.02 ^{m}	6.75±0.08 $^{s-u}$
	350	1.13±0.01 ^{l}	6.51±0.28 $^{q-u}$
	500	1.94±0.15 ^{o}	5.52±0.29 $^{k-n}$
เมี่ยงป่า	200	1.06±0.01 ^{kl}	6.48±0.22 $^{q-t}$
	350	0.84±0.00 ^{h}	6.42±0.15 $^{q-s}$
	500	0.49±0.02 ^{bc}	5.02±0.16 $^{i-k}$
ก่อข้าว	200	1.10±0.01 ^{l}	7.76±0.35 ^{v}
	350	0.56±0.02 $^{c-e}$	6.39±0.16 $^{p-s}$
	500	0.57±0.00 $^{c-e}$	6.31±0.00 $^{p-s}$
ติ้วเกลี้ยง	200	0.30±0.02 ^{a}	4.60±0.18 $^{g-i}$
	350	0.31±0.03 ^{a}	4.13±0.10 $^{d-g}$
	500	0.32±0.03 ^{a}	4.03±0.02 ^{de}
ผักแปม	200	1.39±0.11 ^{n}	8.35±0.17 ^{w}
	350	1.29±0.00 ^{m}	7.01±0.41 ^{uv}
	500	1.00±0.06 ^{jk}	5.67±0.41 $^{l-o}$
ผักชีฝรั่ง	200	0.94±0.05 ^{ij}	6.73±0.20 $^{s-u}$
	350	1.05±0.02 ^{kl}	6.17±0.44 $^{o-r}$
	500	0.85±0.01 ^{hi}	5.56±0.09 $^{k-n}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	TBARS (มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม)	
		Day0	Day28
มันปลา	200	0.86±0.01 ^{hi}	6.77±0.12 $^{s-u}$
	350	0.82±0.02 ^{h}	6.32±0.18 $^{p-s}$
	500	0.67±0.07 ^{fg}	6.47±0.06 $^{q-t}$
เชียงดา	200	0.67±0.02 ^{fg}	4.38±0.18 $^{e-h}$
	350	0.64±0.02 $^{e-g}$	2.92±0.05 ^{bc}
	500	0.51±0.03 $^{b-d}$	2.27±0.28 ^{a}
ตะไคร้ต้น	200	1.00±0.11 ^{jk}	5.72±0.13 $^{m-o}$
	350	0.69±0.04 ^{g}	4.56±0.19 $^{f-i}$
	500	0.67±0.04 ^{fg}	4.05±0.09 $^{d-f}$
สมุย	200	0.60±0.03 $^{e-g}$	4.14±0.04 $^{d-g}$
	350	0.46±0.02 ^{b}	3.17±0.05 ^{c}
	500	0.29±0.05 ^{a}	2.56±0.21 ^{ab}
ผักไผ่	200	0.79±0.07 ^{h}	6.02±0.15 $^{n-q}$
	350	0.88±0.03 ^{hi}	5.87±0.54 $^{n-p}$
	500	1.06±0.02 ^{kl}	5.69±0.15 $^{l-o}$
ฮ้านน้ำ	200	1.23±0.00 ^{m}	6.63±0.13 $^{r-u}$
	350	0.85±0.02 ^{hi}	6.66±0.48 $^{r-u}$
	500	1.00±0.01 ^{jk}	7.04±0.22 ^{u}
ทะโล้	200	0.86±0.01 ^{hi}	5.16±0.30 $^{j-l}$
	350	0.82±0.02 ^{h}	5.19±0.01 $^{j-m}$
	500	0.86±0.04 ^{hi}	5.08±0.08 $^{i-k}$

หมายเหตุ : พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ มีค่า PV วันที่ 0 และ 20 คือ 0.21±0.01 และ 0.47±0.04 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า ไม่พบว่ามีสารจากพืชชนิดใดที่เมื่อเพิ่มความเข้มขึ้นจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเนื่องจากวิธี TBARS เป็นการวัดสารจำพวกอัลดีไฮด์ ที่เกิดขึ้น ซึ่งสารดังกล่าวอาจระเหยไประหว่างการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากสมุย เชียงดา และผักปลังที่ความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม จัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบทั้ง 3 วิธี คือ CD PV และ TBARS พบว่า สารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี และมีค่าต่ำที่สุดภายหลังการเก็บรักษาเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD PV และ TBARS โดยมีค่าเท่ากับ 9.51ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม, 8.95 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม และ 2.27 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดเชียงดา 350 และ 500 พีพีเอ็ม, สมุย 350 และ 500 พีพีเอ็ม และผักปลัง 350 และ 500 พีพีเอ็ม มีค่าการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของทั้ง 3 วิธีการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ต่ำและที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ของสารสกัดพืชทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มของค่าการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันที่สูงกว่าที่ความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชทั้ง 3 ชนิดนี้ที่ความเข้ม 350 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัดเชียงดาและสมุยมีค่าการยับยั้งการหืนเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี PV และ TBARS สูงกว่า สารสกัดผักปลังอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังนั้นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบชนิดและความเข้มข้นของสารสกัดพืชจึงได้พิจารณาคัดเลือกสารสกัดจากพืช 4 ทรีทเมนต์ คือ สารสกัดเชียงดาความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม รวมทั้ง สารสกัดสมุยความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม เพื่อใช้ในการการศึกษาความสามารถในการต้านการหืนในน้ำมันปาล์มต่อไป

จากผลการทดลอง พบว่า หลังจากการเก็บรักษาค่าการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธี CD, PV และ TBARS ของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าอยู่ในช่วง 21.44-33.33 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม, 13.39-43.32 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม และ 8.77-25.85 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันปาล์มมีค่าอยู่ในช่วง 7.32-19.17 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม, 8.95-27.96 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม และ 2.27-8.35 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มมีค่าการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลืองในทุกวิธีทดสอบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันปาล์มจึงเป็นเหตุเกิดออกซิเดชันในน้ำมันได้ง่ายกว่า

4.2 ศักยภาพของสารสกัดจากพืชที่คัดเลือกมาในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช

4.2.1 น้ำมันถั่วเหลือง

จากการวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นพบว่า สารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และสมุย ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีศักยภาพในการเป็นวัตถุกันหืนในน้ำมันถั่วเหลืองได้ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที

4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันที่เติมสารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และสมุย ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน เป็นเวลา 56 วัน โดยจะทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ได้แก่ ตัวอย่างที่ไม่เติมสารสกัดจากพืช และตัวอย่างที่เติมบีเอชทีความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ดังนี้

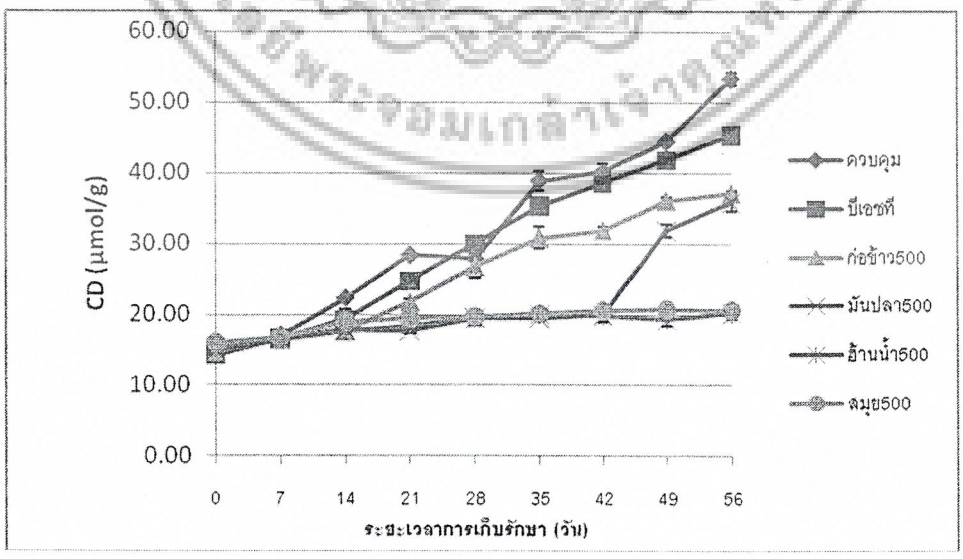
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) CD

วิธี CD เป็นการวิเคราะห์ในขั้นเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการวัดคอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) โดยในวันที่ 0 ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีค่า CD อยู่ในช่วง 14.25-15.96 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.1.1.1

การเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาจาก 0 เป็น 56 วัน ค่า CD ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าวิธีการนี้ สามารถใช้ในการตรวจติดตามผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี โดยตัวอย่างควบคุมมีค่า CD เพิ่มขึ้นจาก 14.99±0.34 เป็น 53.31±0.94 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมบีเอชทีในน้ำมันถั่วเหลือง สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยหลังจากวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ค่าการเพิ่มขึ้นของค่า CD มีแนวโน้มต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก การให้ไฮโดรเจนอะตอมของบีเอชทีแก่อนุมูลอิสระของกรดไขมัน จึงเป็นเหตุให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกับออกซิเจนซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ส่วนอนุมูลของวัตถุกันหืนที่เหลือจะเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระมาก และเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คง ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถลดค่า CD ได้เนื่องจากคอนจูเกตไดอีนจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์

จากภาพที่ 4.1 น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า CD ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองได้สอดคล้องกับการทดลองของ Suja และคณะ (2004) ที่รายงานว่าวัตถุกันหืนจากธรรมชาติ ได้แก่ สารสกัดจากกากงามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองด้วยวิธี CD ดีกว่าบีเอชทีซึ่งเก็บรักษาที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 4.1 ค่า CD ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบผลการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิด ที่เติมลงในน้ำมันถั่วเหลือง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.1) พบว่าหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยมีค่า CD ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า 20.24 และ 20.55 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า CD ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ ค่า CD ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเนื่องจากสารสำคัญที่พบในสมุย ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ส่วนฮ้านน้ำมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ (นราพร, 2552) ซึ่งสารดังกล่าวอาจจะทำหน้าที่เป็นทั้งวัตถุกันหืนปฐมภูมิโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ และมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันหืนทุติยภูมิ คือ มีคุณสมบัติในการกำจัดออกซิเจน (singlet oxygen quenchers) และสามารถจับกับโลหะหนักที่เป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ (Pokorny, 2007)

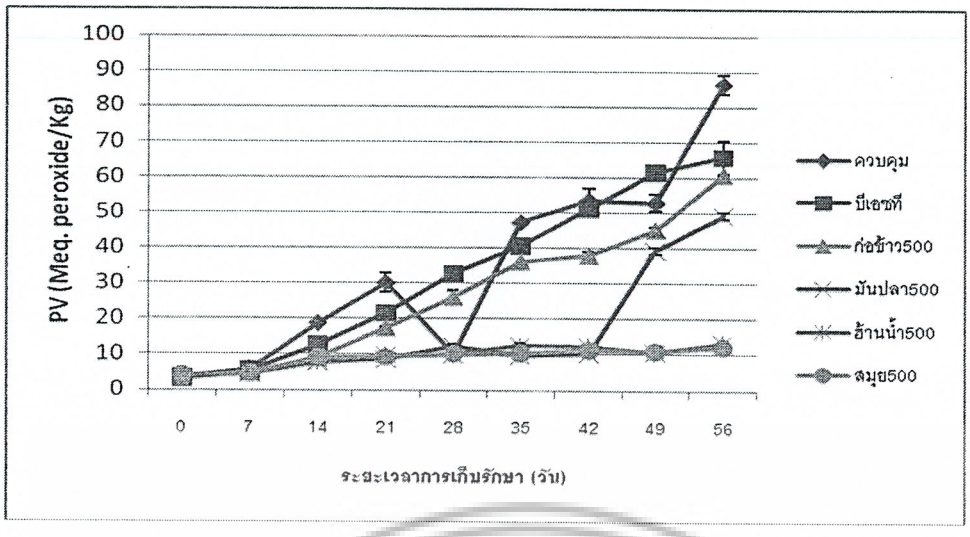
สารสกัดมันปลา พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันระหว่างวันที่ 0-42 ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตัวอย่างที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุย แต่หลังจากนั้น ค่า CD มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงกว่าสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากมันปลามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีในช่วง 49 วันแรกของการเก็บรักษา นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าสารสกัดก่อข้าวมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CD อย่างต่อเนื่อง และหลังจากวันที่ 21 การเพิ่มขึ้นของค่า CD มีค่าสูงกว่าสารสกัดจากพืชชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จากค่า CD ของก่อข้าวและมันปลาแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาภายใต้สภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน ทั้งนี้โดยสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในก่อข้าวและมันปลาอาจถูกใช้ในการทำลายอนุมูลอิสระหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ตลอดจนการเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษา จนทำให้ความสามารถในการต้านการหืนลดลง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของสารสำคัญที่พบในสารสกัดพืชแต่ละชนิดในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน

2) PV

ค่าเพอร์ออกไซด์ เป็นการวิเคราะห์ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นดัชนีชี้ระดับการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยการหาปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ ที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เรียกว่าเกิด oxidative rancidity เป็นการเกิดออโตออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (นิธิยา, 2548) จากภาพที่ 4.2 พบว่า วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองไม่มีผลต่อการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในวันที่ 0 ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีค่า PV อยู่ระหว่าง 3.17-4.25 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัมซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ค่า PV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

จากภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ค่า PV ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามในวันที่ 28 และ 49 ค่า PV ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องจากไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่ไม่คงตัวจึงเกิดปฏิกิริยาต่อไปโดยการสลายตัวหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่นทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ขึ้น (นิธิยา, 2548) ส่วนสารสกัดจากพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันถั่วเหลือง โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่า PV ระหว่าง 12.30-60.82 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่า PV เท่ากับ 86.41 และ 65.80 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับ ณัฏฐินี (2546) ที่รายงานว่า สารสกัดแห้งด้วยเอทานอลจากเปลือกมันฝรั่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี PV ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส และในปีเดียวกัน Zia-ur-Rehman (2003) ได้พบว่า สารสกัดจากเปลือกมันฝรั่งความเข้มข้น 1600 และ 2400 พีพีเอ็ม ที่เติมลงในน้ำมันถั่วเหลืองมีผลทำให้ค่า PV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

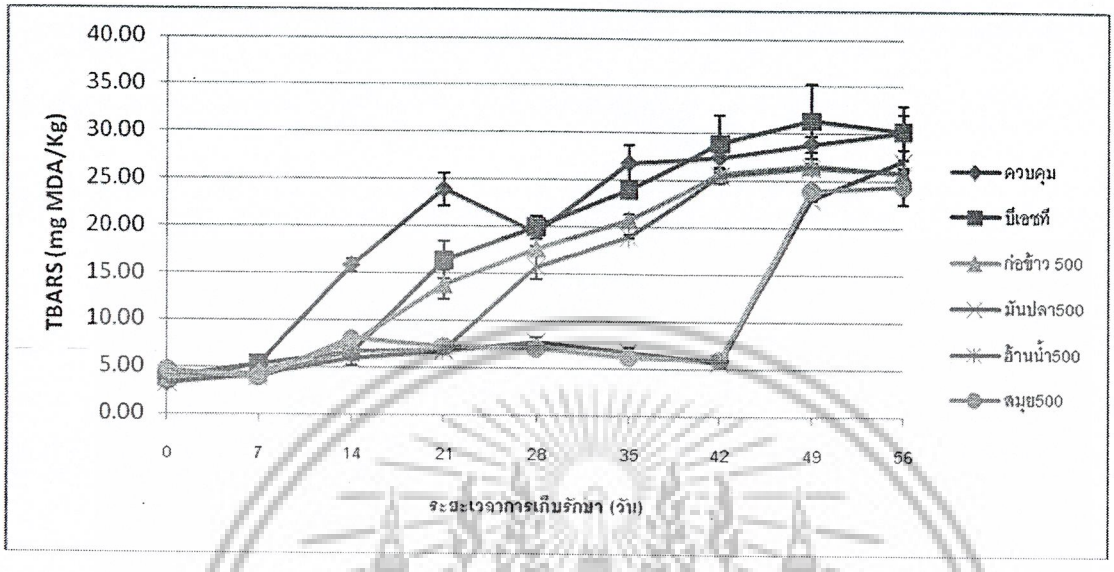
ผลการทดลองนี้พบว่าสารสำคัญที่พบในสารสกัดพืชแต่ละชนิดส่งผลต่อการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันสอดคล้องกับวิธี CD คือ สารสกัดสมุยและฮ้านน้ำมีค่า PV ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยสารสกัดทั้ง 2 ชนิดมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า PV ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนสารสกัดมันปลาค่า PV มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 42 และในส่วนของสารสกัดก่อข้าวค่า PV มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงกว่าสารสกัดพืชชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD

3) TBARS

วิธีการนี้เป็นที่นิยมสำหรับการประเมินคุณภาพของอาหารประเภทไขมันหรือน้ำมันโดยเป็นการวัดสารประกอบที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาขั้นที่สองของการออกซิเดชัน ได้แก่ อัลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ทำได้โดยการวัดสารประกอบสีชมพูที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของมาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde, MDA) กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid) ที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร (Shahidi และ Wanasundara, 2007) โดย พบว่า ค่า TBARS เริ่มต้นในทุกตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืช รวมทั้งที่เติมบีเอชทีและตัวอย่างควบคุม ความแตกต่างกันเล็กน้อยแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.3 ค่า TBARS ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอทานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

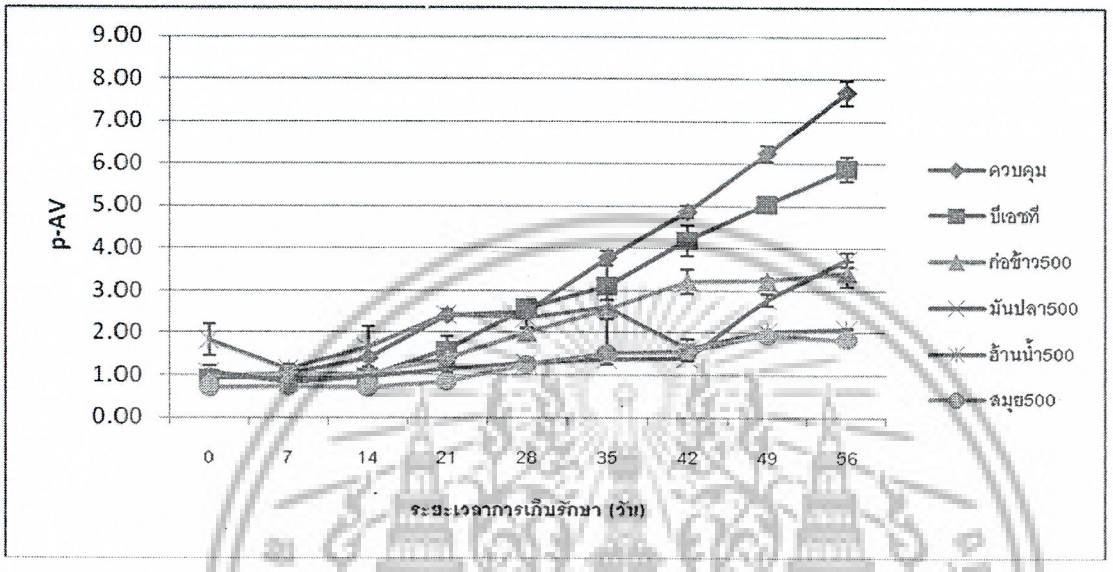
จากภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่า TBARS ของตัวอย่างที่เติมบีเอชทีหลังจากการเก็บรักษาในวันที่ 14 จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่า TBARS (30.22 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับตัวอย่างควบคุม(30.08 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม) นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันแตกต่างไปจากวิธีการวิเคราะห์ของ 2 วิธีก่อนหน้า โดย ในวันที่ 56 ค่า TBARS ของทุกตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งใน 42 วันแรกของการเก็บรักษาสารสกัดมันปลาและสมุยมีแนวโน้มของค่า TBARS ค่อนข้างคงที่และหลังจากนั้นค่า TBARS จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนสารสกัดก่อข้าวและฮ้านน้ำมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS อย่างต่อเนื่อง ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ อาจเนื่องมาจากวิธีการวิเคราะห์ซึ่งวิธี TBARS เป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเฉพาะมาลอนอัลดีไฮด์ ซึ่งแม้ว่าสารสกัดฮ้านน้ำ มันปลาและก่อข้าวจะมีค่า TBARS ไม่แตกกันทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิด มีแนวโน้มต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งสาระสำคัญที่พบในพืชทั้ง 4 ชนิดอาจมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันตั้งแต่ขั้นแรกของการเกิดออกซิเดชันรวมทั้งเป็นการป้องการการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่จะสามารถพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต่อเนื่องของการเกิดออกซิเดชัน

4) p-AV

เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชัน โดยการวิเคราะห์หาปริมาณอัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้เป็นแอลดีไฮด์หลัก 2 ชนิด คือ 2-อัลคีนอล (2-alkenal) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2,4-ไดอีนนอล (2,4-dienal) เมื่อทำปฏิกิริยากับพารา-อะนิสิดีนที่เป็นรีเอเจนต์ในสภาวะที่มีกรดอะซิติก จะก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเหลือง ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ 350 นาโนเมตร การเพิ่มขึ้นของสารกลุ่มอัลดีไฮด์แสดงว่าตัวอย่างน้ำมันมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา, 2548 และ White, 1995) ซึ่งค่า p-AV เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยเนื่องจากวัดเป็นค่าการดูดกลืนแสง



ภาพที่ 4.4 ค่า p-AV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอทานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

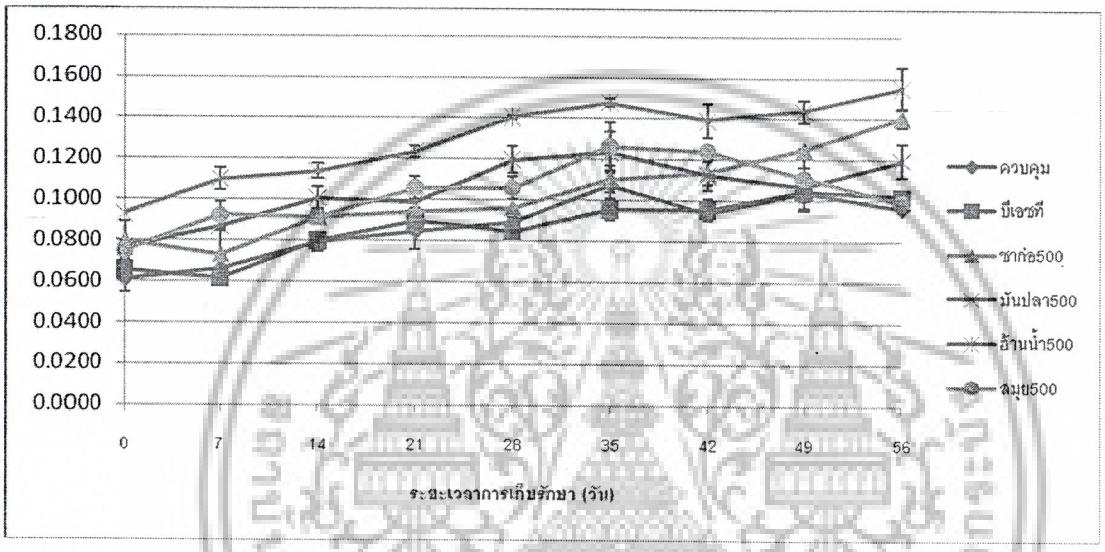
ประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี p-AV ของสารสกัดพืชแต่ละชนิดให้ผลสอดคล้องกับวิธี CD และ PV คือ ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน ตัวอย่างที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันดีกว่าสารสกัดก่อข้าวและมันปลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ถึงแม้ว่าในช่วง 21 วันแรกของการเก็บรักษาค่า p-AV ของตัวอย่างที่เติมสกัดฮ้านน้ำจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่า p-AV ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาแสดงค่า p-AV ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุย นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากพืชทั้ง 4 ชนิด มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองด้วยวิธี p-AV ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของบีเอชทีในน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี p-AV พบว่ามีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS ซึ่งเป็นวิธีการหาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชันเช่นเดียวกัน โดยพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า p-AV เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาโดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.97 เป็น 7.66 และอัตราการเพิ่มขึ้นมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชที (5.88) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.4) ซึ่งความแตกต่างที่พบอาจเนื่องจากจาก วิธี TBARS เป็นการหาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ส่วนวิธี p-AV เป็นวิธีการหาปริมาณแอลดีไฮด์โดยเป็นการวิเคราะห์ปริมาณ อัลคีนอล เป็นหลัก (Shahidi และ Zhong, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) FFA

ระหว่างการเกิดออกซิเดชันของไขมัน จะเกิดกรดไขมันชนิดสายสั้นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากออกซิเดชันขั้นที่สองของไขมัน นอกจากนี้ กรดไขมันอาจเกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอรอล (Pokorny, 2005) การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถทำได้โดย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการไทเทรตกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม มีค่าพีเอชเป็นกลาง ซึ่งค่าที่ได้บ่งชี้ว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในน้ำมันถูกทำลายเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า Acid value สูง แสดงถึงโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก หรือเกิด hydrolytic rancidity เกิดขึ้นในน้ำมันนั้น (นิธิยา, 2548)



ภาพที่ 4.5 ค่า FFA ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

จากผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 0 ค่า FFA ของตัวอย่างควบคุม(0.0608 เปอร์เซ็นต์) และตัวอย่างที่เติมบีเอชที (0.0653 เปอร์เซ็นต์) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.5) ส่วนสารสกัดจากพืชทั้ง 4 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 0.0745-0.0928 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที ทั้งนี้อาจเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ FFA ไม่ได้เป็นการไตเตรทเฉพาะเจาะจงต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอลเท่านั้น แต่เป็นการไตเตรทหาปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำมัน ซึ่งรวมทั้ง acids leached ที่เกิดจากการฟอกสี, สารต้านการหืนนที่มีคุณสมบัติเป็นกรด และวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดต่างๆ เป็นต้น (O'Brien, Richard D., 2009) ซึ่งสารสำคัญของพืชที่เติมในน้ำมันถั่วเหลืองอาจมีคุณสมบัติเป็นกรด ที่สามารถไปทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างได้ จึงเป็นเหตุให้ค่า FFA ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม

ภายหลังจากการเก็บรักษาตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 56 (0.0960 เปอร์เซ็นต์) มีค่า FFA สูงกว่าวันที่ 0 (0.0608 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ อาจเกิดจากการแตกตัวของไตรกลีเซอรอลไปเป็นกรดไขมันอิสระ (Pokorny, 2005) ที่มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับ Zia-ur-Rehman (2003) ที่รายงานว่า ภายหลังจากการเก็บรักษาน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่เติมสารกันหืนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 วัน พบว่า ค่า FFA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่าวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จากภาพที่ 4.5 ยังพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม

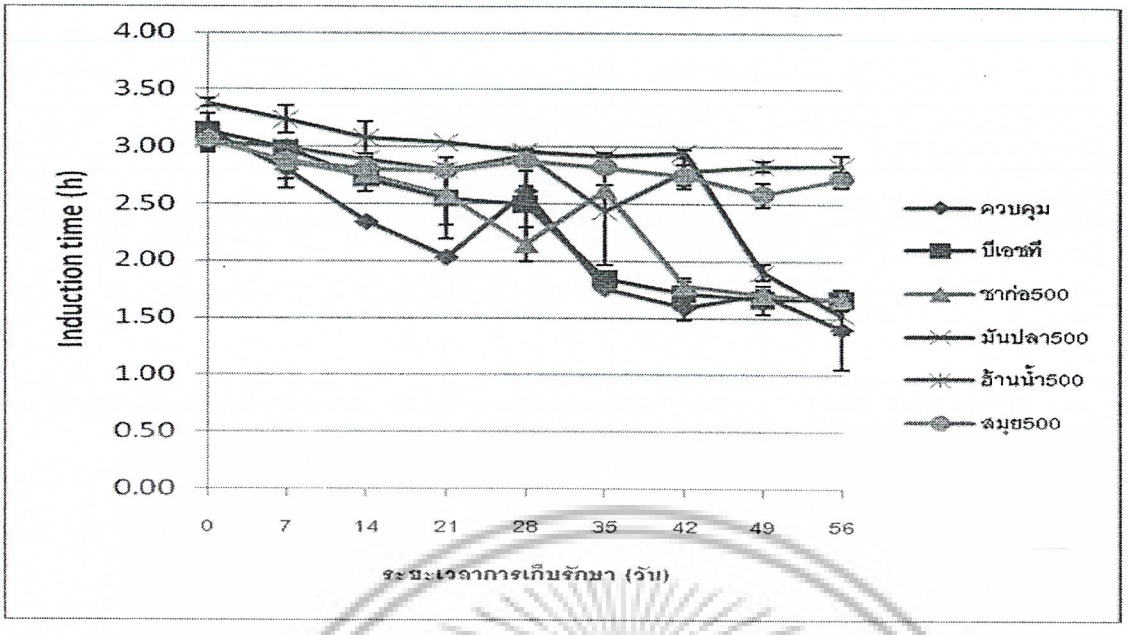
เมื่อเปรียบเทียบค่า FFA ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากพืชพบว่าในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ค่า FFA มีค่าสูงกว่า วันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาค่า FFA ของสารสกัดจากพืชทั้ง 4 ชนิดมีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) ดังที่กล่าวไว้แล้ว คือ สารสำคัญของพืชที่ใช้อาจมีคุณสมบัติเป็นกรด จึงเป็นเหตุให้ค่า FFA ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารสกัดฮ้านน้ำมีค่า FFA สูงที่สุดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งนี้อาจเนื่องจากสารสกัดฮ้านน้ำอาจจะมีสารสำคัญที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าพืชชนิดอื่นจึงทำให้มีค่า FFA ที่สูง

6) ความคงตัวของน้ำมัน (the oil stability index (OSI))

วิธีการนี้สามารถวิเคราะห์ค่าความคงตัวของน้ำมันได้โดยใช้เครื่อง Rancimat ซึ่งเป็นการตรวจสอบสารประกอบที่ระเหยได้ โดยการให้ความร้อนและอากาศภายใต้สภาวะที่กำหนดกับตัวอย่างน้ำมัน ซึ่งจะก่อให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ โดยส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์สายสั้น ได้แก่ กรดฟอร์มิคและกรดอะซีติก สารประกอบที่ระเหยได้เหล่านี้จะถูกส่งผ่านไปในน้ำ และสามารถวัดอัตราการเกิดสารระเหยได้โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า โดยจุดสิ้นสุดหรือ induction time คือค่าความคงตัวของน้ำมัน (the oil stability index (OSI)) (Wan, 1995) น้ำมันที่มีค่า induction time ที่ยาวนานกว่าแสดงถึงความคงตัวต่อการออกซิเดชันสูงกว่าน้ำมันที่มีค่า induction time ที่น้อยกว่า

จากการทดลองพบว่า น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดมันปลามีค่าความคงตัวสูงที่สุด ($p<0.05$) ในวันที่ 0 โดยมีค่า induction time เท่ากับ 3.38±0.03 ชั่วโมง ในขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีค่า induction time อยู่ในช่วง 3.05-3.14 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารโพลีฟีนอล รวมทั้งสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในสารที่พบในสารสกัดมันปลา (นราพร, 2552 และวาณี, 2554) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันตั้งแต่ขั้นเริ่มต้นโดยการให้ไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระหรือสามารถการกำจัดออกซิเจนได้ดีจึงสามารถยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่จะพัฒนาต่อไปเป็นสารที่ระเหยได้ต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับ นิอร (2553) ที่รายงานว่า สารสกัดจากกากงาขาวและงาดำส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า induction time ของน้ำมันถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสารสกัดมันปลามีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันลดลงเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD, PV และ TBARS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ค่าความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

ส่วนสารสกัดสมุยและฮ้านน้ำมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันใกล้เคียงกัน และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาค่า induction time ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดทั้ง 2 ชนิด มีค่าลดลงอย่างช้าๆ และในวันที่ 56 มีค่า เท่ากับ 2.72 และ 2.84 ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

7) การเปลี่ยนแปลงค่าสี

จากตารางที่ 4.7 พบว่าตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยของ L* (ค่าความสว่าง) a* (ค่าสีแดง-เขียว) และ b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) เท่ากับ 98.07±0.04, -5.40±0.04 และ 27.72±0.25 ตามลำดับ และพบว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชทีมีค่า L*, a* และ b* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) แต่น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดส่งผลให้ค่า L*, a* และ b* เปลี่ยนแปลงไป ($p<0.05$) โดยการเติมสารสารสกัดฮ้านน้ำมีค่าความสว่างลดลงมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สมุย ก่อข้าว และมันปลา ตามลำดับ ทั้งนี้สอดคล้องกับการสังเกตุด้วยตาเปล่าที่พบว่าสารสกัดฮ้านน้ำมีสีที่ค่อนข้างเข้มที่สุด รองลงมาได้แก่ สมุย ก่อข้าว และมันปลา ตามลำดับ ส่วนค่า a* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชแสดงค่า a* ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และพบว่าสารสกัดฮ้านน้ำแสดงค่า a* ต่ำที่สุด สำหรับค่า b* ตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีผลทำให้ค่า b* มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าสารสกัดจากสมุยส่งผลให้น้ำมันถั่วเหลืองมีค่า b* สูงที่สุด ทั้งนี้ ความแตกต่างค่าของค่า L*, a* และ b* ที่เกิดขึ้นอาจเกิดจาก รงควัตถุหรือสารสี (pigments) ที่มีอยู่ในพืช ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการสกัดรงควัตถุหรือสารสีที่อยู่ในพืชออก โดยสารสีที่สำคัญได้แก่ คลอโรฟิลล์ ซึ่งให้สีเขียว, แคโรทีนอยด์ซึ่งให้สีเหลือง-แดง และแอนโทไซยานินซึ่งให้สีแดง-น้ำเงิน ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณรงควัตถุหรือสารสีที่เป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์สีของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พารามิเตอร์สี		
		L*	a*	b*
ควบคุม	-	98.07±0.04 ^{e}	-5.40±0.04 ^{d}	27.72±0.25 ^{a}
บีเอชที	75	98.17±0.16 ^{e}	-5.41±0.02 ^{d}	27.92±0.03 ^{a}
ก่อข้าว	500	89.15±0.07 ^{c}	-6.93±0.02 ^{b}	65.08±0.10 ^{c}
มันปลา	500	94.44±0.18 ^{d}	-6.28±0.49 ^{c}	40.67±0.21 ^{b}
ฮ้านน้ำ	500	64.45±0.16 ^{a}	-11.28±0.07 ^{a}	92.46±0.03 ^{d}
สมุย	500	77.29±0.34 ^{b}	-6.30±0.07 ^{c}	97.76±0.21 ^{e}

หมายเหตุ : พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ค่าความสว่างของตัวอย่างควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับวันที่ 0 ของการเก็บรักษา และพบว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.8) ส่วนตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชพบว่า ภายหลังการเก็บรักษาสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องจากสีเขียวของคลรอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบของพืชอาจเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟทิน (pheophytin) โดยการแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจน จึงเป็นเหตุให้ค่าความสว่างของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยเกิดการเปลี่ยนแปลงไป (นิธิยา, 2549) โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อน การแช่แข็ง และระหว่างการเก็บรักษา (Kidmose และคณะ, 2002) อย่างไรก็ตามค่าความสว่างของสารสกัดก่อข้าวและมันปลามีแนวโน้มค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
		0	28	56
ควบคุม	-	98.07±0.04 ^{eA}	98.01±0.01 ^{eA}	98.33±0.01 ^{eB}
บีเอชที	75	98.17±0.16 ^{eA}	97.89±0.17 ^{eA}	98.09±0.11 ^{eA}
ก่อข้าว	500	89.15±0.07 ^{cA}	88.73±0.04 ^{cA}	89.09±0.21 ^{cA}
มันปลา	500	94.44±0.18 ^{dAB}	93.94±0.29 ^{dA}	94.95±0.20 ^{dB}
ฮ้านน้ำ	500	64.45±0.16 ^{aA}	65.98±0.70 ^{aB}	66.51±0.40 ^{aB}
สมุย	500	77.29±0.34 ^{bA}	77.57±0.06 ^{bA}	79.05±0.00 ^{bB}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)		
		0	28	56
ควบคุม	-	-5.40±0.04 ^{dA}	-5.60±0.01 ^{bA}	-5.42±0.14 ^{dA}
บีเอชที	75	-5.41±0.02 ^{dA}	-5.72±0.19 ^{bA}	-6.11±0.34 ^{cA}
ก่อข้าว	500	-6.93±0.02 ^{bB}	-7.26±0.00 ^{aA}	-7.31±0.07 ^{aA}
มันปลา	500	-6.28±0.49 ^{cA}	-6.39±0.39 ^{abA}	-6.68±0.10 ^{bA}
ฮ้านน้ำ	500	-11.28±0.07 ^{aA}	-2.70±1.22 ^{cB}	-1.94±0.23 ^{eB}
สมุย	500	-6.30±0.07 ^{cA}	-2.02±0.16 ^{cB}	-1.00±0.00 ^{fC}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a* พบว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าคงที่ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.9) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นตัวอย่างที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยค่า a* มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากการแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจน จึงทำให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลของ pheophytin (นิธิยา, 2549) ส่วนสารสกัดก่อข้าวมีค่า a* ลดลงเล็กน้อยมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมสารสกัดมันปลามีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.10 ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน) 0	28	56
ควบคุม	-	27.72±0.25 ^{aC}	27.09±0.13 ^{aB}	25.89±0.00 ^{aA}
บีเอชที	75	27.92±0.03 ^{aA}	28.31±1.68 ^{aA}	30.68±0.01 ^{bA}
ก่อข้าว	500	65.08±0.10 ^{cC}	61.91±0.17 ^{cB}	61.45±0.09 ^{dA}
มันปลา	500	40.67±0.21 ^{bC}	39.41±0.17 ^{bB}	37.30±0.33 ^{cA}
ฮ้านน้ำ	500	92.46±0.03 ^{dA}	92.77±0.42 ^{dAB}	93.41±0.25 ^{fB}
สมุย	500	97.76±0.21 ^{eC}	92.10±0.54 ^{dB}	85.81±0.03 ^{eA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ค่า b* ของทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยค่า b* ของตัวอย่างควบคุมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน ส่วนตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีคา b*เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนสารสกัดก่อข้าว, มันปลา และสมุยมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่สารสกัดฮ้านน้ำมีค่า b* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำมันถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน แสดงดังตารางที่ 4.11 โดยค่า ΔE เป็นค่าที่คำนวณจากความแตกต่างของค่าสี L*, a* และ b* ซึ่งหากค่า ΔE สูงแสดงถึง ตัวอย่างน้ำมันปาล์มมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษามาก จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอช และน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชทุกตัวอย่าง มีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยจะเห็นได้ว่าในวันที่ 56 ค่า ΔE ของน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชมีค่า ΔE สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลจากสารสีที่เป็นองค์ประกอบของพืช เช่น สีเขียวจากคลอโรฟิลเกิดการสลายตัวก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างน้ำมัน จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าน้ำมันที่เติมสารกัดสมุยมีค่า ΔE สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ฮ้านน้ำ มันปลา และก่อข้าว ตามลำดับ

เอกสารนี้ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ผลการทดสอบปรากฏว่า การเติมสารสกัดพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในเรื่องของสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และแม้ว่าในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืชจะมีค่า ΔE สูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที แต่ผลการทดสอบทางเคมีด้วยวิธี CD, PV, TBARS, p-AV และความคงตัวของน้ำมัน พบว่า สารสกัดจากพืชทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วันได้ โดย สารสกัดฮ้านน้ำและสารสกัดสมุยมีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองได้ดีที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างกันในทุกวิธีการทดสอบ ($p>0.05$) ส่วนสารสกัดมันปลาและก่อข้าว แม้ว่าค่า TBARS และค่าความคงตัวจะไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม แต่ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD, PV, TBARS, p-AV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดมันปลาและก่อข้าวมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แสดงว่าสารสกัดมันปลาและก่อข้าวมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาได้ ส่วนการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วันภายหลังจากการให้ความร้อน พบว่า ตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืช ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างควบคุม ค่า L*, a*, b* และ ΔE มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืชเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าสีวันที่ 0			ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)							
		L*	a*	b*	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	98.07±0.04	-5.40±0.04	27.72±0.25	0.60±0.21 ^{A}	1.07±0.23 ^{AB}	0.53±0.03 ^{A}	0.66±0.37 ^{A}	0.68±0.21 ^{A}	1.46±0.35 ^{BC}	1.79±0.13 ^{C}	1.85±0.25 ^{C}
บีเอชที	75	98.17±0.16	-5.41±0.02	27.92±0.03	0.49±0.01 ^{A}	0.99±0.16 ^{AB}	0.58±0.39 ^{AB}	1.29±0.63 ^{BC}	1.96±0.43 ^{C}	3.83±0.05 ^{E}	3.17±0.04 ^{DE}	2.86±0.10 ^{D}
ก่อข้าว	500	89.15±0.07	-6.93±0.02	65.08±0.10	1.66±0.29 ^{A}	2.09±0.11 $^{A-C}$	1.73±0.85 ^{AB}	3.22±0.08 $^{A-D}$	3.36±1.26 $^{A-D}$	4.09±1.21 ^{D}	3.46±0.15 $^{B-D}$	3.66±0.18 ^{CD}
มันปลา	500	94.44±0.18	-6.28±0.49	40.67±0.21	1.71±1.27 ^{AB}	1.04±0.30 ^{A}	2.06±1.26 ^{AB}	1.36±0.40 ^{A}	2.43±1.72 ^{AB}	4.00±0.44 ^{B}	3.19±0.78 ^{AB}	3.45±0.64 ^{AB}
ฮ้านน้ำ	500	64.45±0.16	-11.28±0.07	92.46±0.03	4.85±0.36 ^{B}	6.67±0.72 ^{B}	2.37±0.26 ^{A}	8.72±1.35 ^{C}	9.99±1.74 ^{C}	8.97±0.00 ^{C}	9.59±0.14 ^{C}	9.61±0.08 ^{C}
สมุย	500	77.29±0.34	-6.30±0.07	97.76±0.21	2.69±0.76 ^{A}	5.59±0.82 ^{B}	3.68±0.04 ^{A}	7.10±0.71 ^{BC}	7.35±0.96 ^{C}	8.07±0.54 ^{C}	13.48±1.00 ^{D}	13.19±0.14 ^{D}

หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

4.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

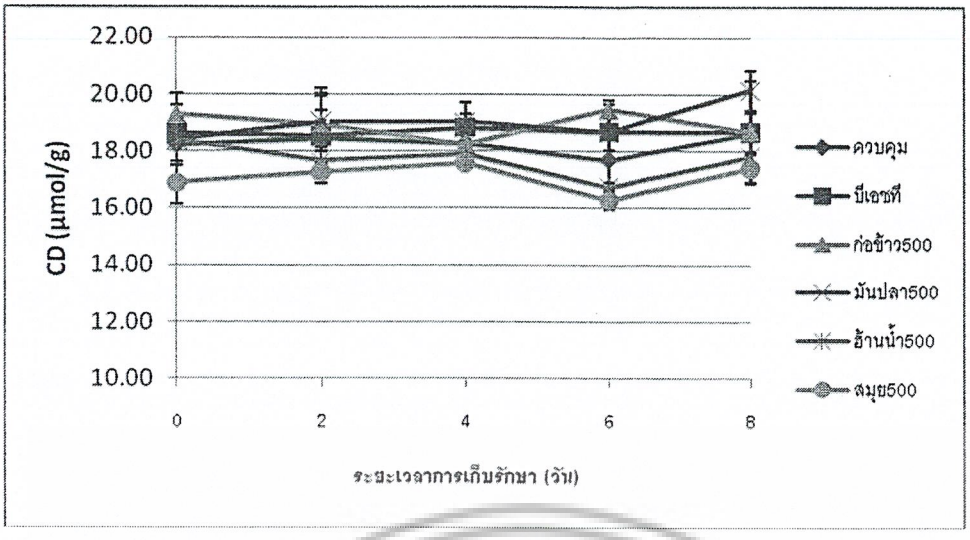
การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาทีของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และสมุย ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม โดยทำการสุ่มตัวอย่างทุกวันที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 และทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ได้แก่ ตัวอย่างที่ไม่เติมสารสกัดจากพืชและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม

1) CD

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ค่า CD ในวันที่ 0 ภายหลังจากการให้ความร้อนแก่น้ำมันถั่วเหลืองควบคุม น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืช ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า สารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิด ที่มีค่า CD อยู่ในช่วง 16.88-19.27 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม และตัวอย่างที่เติมบีเอชที (18.61 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม) มีค่า CD ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับตัวอย่างควบคุม (18.22 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานานจะเป็นการเร่งให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ รวมทั้งอุณหภูมิที่สูงอาจทำลายสาระสำคัญที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งออกซิเดชัน แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า สารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่า CD เท่ากับ 16.88 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งคล้ายคลึงกับการทดลองของ Ramalho และ Jorge (2008) ที่พบว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD สารสกัดจากโรสแมรี่ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองภายหลังจากการให้ความร้อน 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้สารสำคัญที่มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันที่พบในสมุยอาจมีประสิทธิภาพในการทนความร้อนได้ดีกว่าบีเอชทีและสารสกัดจากพืชนิดอื่นๆ

จากภาพที่ 4.7 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่า CD ของทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย แต่การเปลี่ยนแปลงของแต่ละตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วันที่อุณหภูมิห้องภายหลังจากการให้ความร้อนไม่ทำให้ค่า CD เปลี่ยนแปลงไป อาจเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆเมื่อเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ.นอกจากนี้ พบว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่า CD ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งนี้อาจเนื่องจากบีเอชทีอาจจะสลายตัวโดยการระเหยระหว่างการให้ความร้อน (ศิวาพร, 2546) จึงเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ค่า CD ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดจากพืชแต่ละชนิดภายหลังจากการเก็บรักษา พบว่า ค่า CD ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากสมุยมีแนวโน้มต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 8 สารสกัดสมุยมีค่า CD เท่ากับ 17.14±0.49 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับสารสกัดฮ้านน้ำและก่อข้าว แต่สารสกัดสมุยให้ค่าต่ำกว่าสารสกัดมันปลาอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามค่า CD ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากพืชทุกชนิดมีแนวโน้มไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

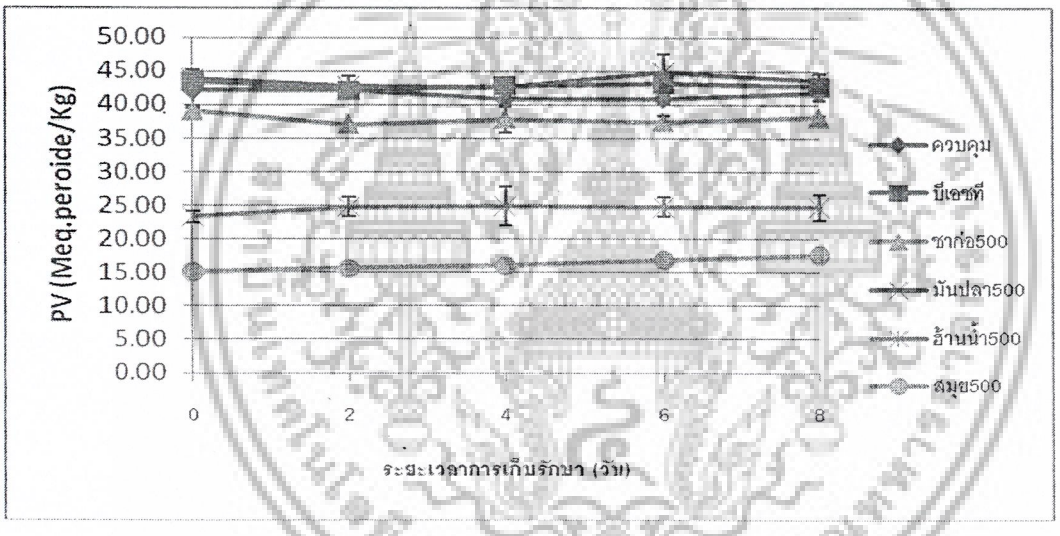
2) PV

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดพืช 4 ชนิด ต่อการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ภายหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดฮ้านน้ำและก่อข้าว ซึ่งมีค่า PV เท่ากับ 15.15, 23.24 และ 39.07 มิลลิกรัมเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8) และสารสกัดพืชทั้ง 3 ชนิดแสดงค่า PV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (42.10 มิลลิกรัมเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังที่กล่าวไว้แล้ว คือ สารสำคัญที่พบในสารสกัดพืชทั้ง 3 ชนิด อาจมีคุณสมบัติในการจับกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกิดจากการเร่งด้วยความร้อนรวมทั้งอาจจะกำกัดออกซิเจนที่จะมาทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่จะพัฒนาต่อไปเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นสารสกัดสมุยพบว่าในการเก็บรักษาวันที่ 8 (17.66 มิลลิกรัมเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม มีค่า PV สูงกว่าวันที่ 0 (15.15 มิลลิกรัมเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม) เล็กน้อย แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในสมุยอาจถูกใช้ในการทำลายอนุมูลอิสระหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ตลอดจนการเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษา จนทำให้ความสามารถในการต้านการหืนลดลงแต่อย่างไรก็ตาม สารสกัดสมุยยังคงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด ($p<0.05$) ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารสกัดพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งแตกต่างจากวิธี CD ที่เป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นแรกของการเกิดออกซิเดชันเช่นเดียวกัน แต่การวิเคราะห์ค่า CD เป็นการวิเคราะห์ เป็นการวิเคราะห์คอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งระหว่างการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ส่วนการวิเคราะห์ค่า PV เป็นการหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวและหลายตำแหน่ง โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV สารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด ตามมาด้วยสารสกัดฮ้านน้ำ ก่อข้าวและมันปลาตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดมันปลาและบีเอชทีมีค่า PV ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุมทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก บีเอชที และสารสำคัญที่พบในมันปลา เช่น สารประกอบฟีนอลที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันเกิดการสลายตัวและระเหยกลายเป็นไอภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้สารประกอบฟีนอลจึงสูญเสียสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันไป (วิวัฒน์, 2545 และ ศิวาพร, 2546)



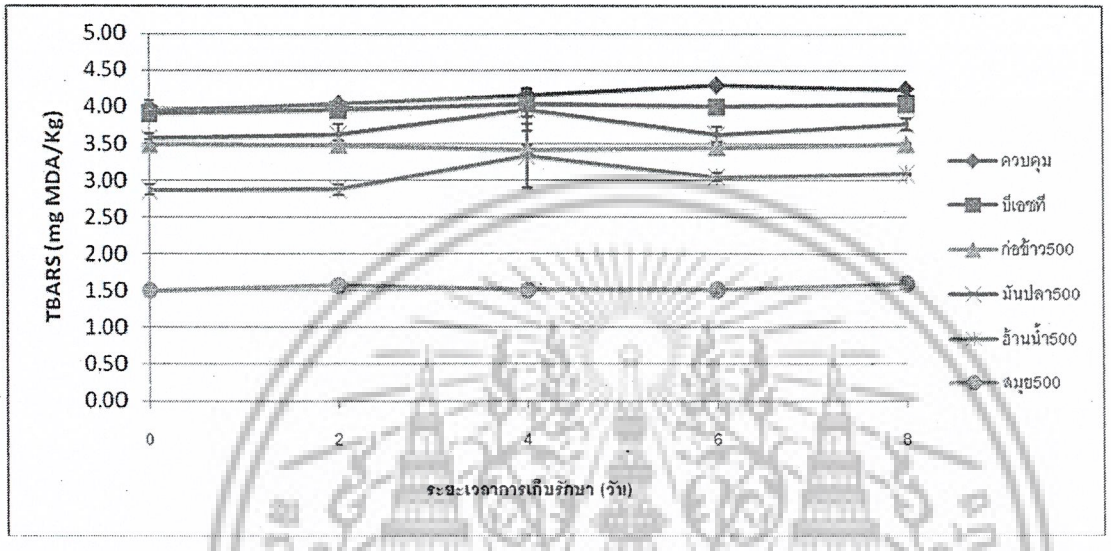
ภาพที่ 4.8 ค่า PV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD ยกเว้นสารสกัดสมุยพบว่าในการเก็บรักษาวันที่ 8 (17.66 มิลลิกรัมเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม มีค่า PV สูงกว่าวันที่ 0 (15.15 มิลลิกรัมเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม) เล็กน้อย แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในสมุยอาจถูกใช้ในการทำลายอนุมูลอิสระหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันตลอดจนการเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษา จนทำให้ความสามารถในการต้านการหืนลดลง แต่อย่างไรก็ตาม สารสกัดสมุยยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด ($p<0.05$) ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) TBARS

การวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ด้วยวิธี TBARS พบว่า การเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาภายหลังจากการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าผลการทดลอง คล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV โดย ทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และสารสกัด สมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด



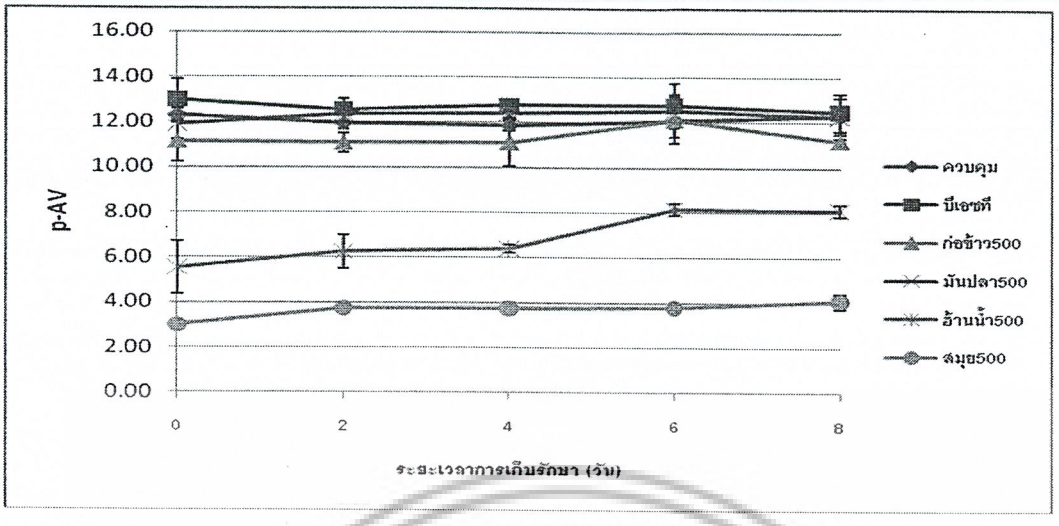
ภาพที่ 4.9 ค่า TBARS ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

จากตารางที่ 4.9 สารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี โดยมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จะเห็นได้ว่าผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV ยกเว้นน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดมันปลาที่พบว่า ค่า TBARS มีแนวโน้มต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมแต่มีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี PV ความแตกต่างอาจเนื่องมาจากทั้งสองวิธีเป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ดังที่กล่าวไว้แล้ว

4) p-AV

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอัลดีไฮด์หลัก 2 ชนิด ได้แก่ 2-อัลคีนอล (2-alkenal) และ 2,4-ไดอีนนอล (2,4-dienal) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และสมุย รวมทั้งน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที และตัวอย่างควบคุม แสดงดังภาพที่ 4.10 โดยพบว่า ภายหลังจากการให้ความร้อนและเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ค่า p-AV มีค่าเท่ากับ 11.20, 12.26, 8.11, 4.09, 12.48 และ 12.30 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสารสกัดจากพืชทุกชนิดให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS คือ มีค่า p-AV ต่ำกว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชทีและตัวอย่างควบคุม ซึ่งสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงและสามารถลดสารประกอบอัลดีไฮด์ของน้ำมันถั่วเหลืองได้ดีที่สุด ($p<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามสารสกัดก่อข้าวและมันปลาแม้จะมีค่าต่ำกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$)

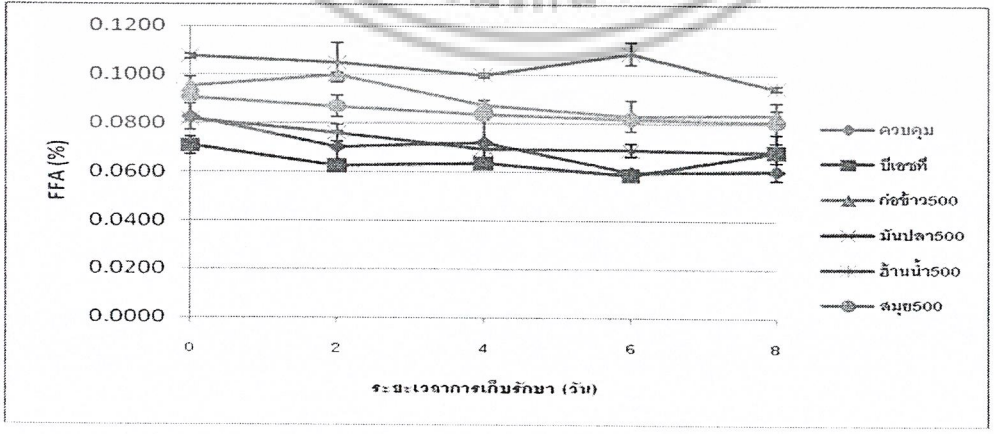
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 ค่า p-AV ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

5) FFA

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ในวันที่ 0 พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า FFA เท่ากับ 0.083 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที ($p>0.05$) ส่วนสารสกัดจากสมุย ฮ้านน้ำและก่อข้าวที่เติมในน้ำมันถั่วเหลืองให้ค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาระสำคัญที่พบในพืชอาจมีคุณสมบัติเป็นกรด เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า FFA จึงสูงกว่าตัวอย่างควบคุม โดยวิธีการวิเคราะห์ FFA ไม่ได้เป็นการไตเตรทเฉพาะเจาะจงต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอลเท่านั้น แต่เป็นการไตเตรทหาปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำมัน ซึ่งรวมทั้ง acids leached ที่เกิดจากการฟอกสี, สารต้านการหืนที่มีคุณสมบัติเป็นกรด และวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดต่างๆ ดังที่กล่าวไว้แล้ว เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นพบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับวิธีอื่นๆ คือ ค่า FFA มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

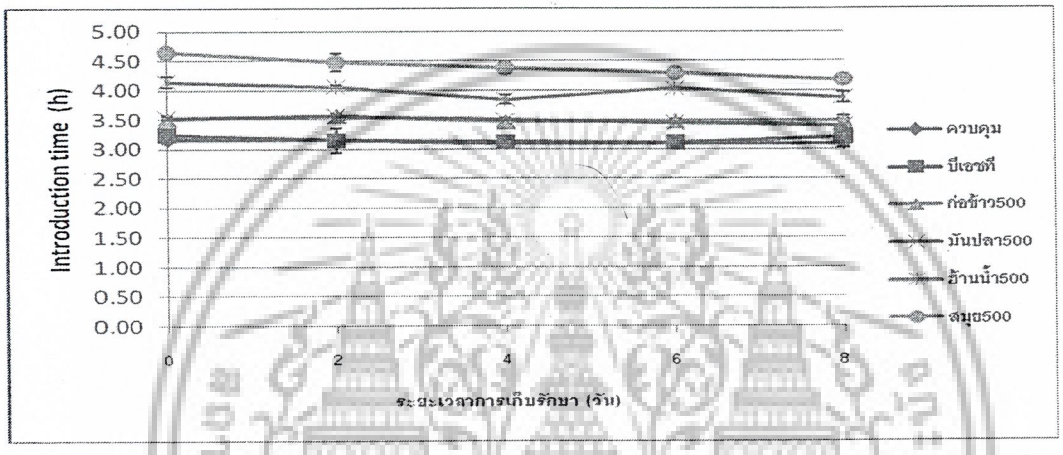


ภาพที่ 4.11 ค่า FFA ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ค่าความคงตัว

จากภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ค่าความคงตัวของตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองด้วยเครื่อง Rancimat พบว่า วัตถุกันหืนจากธรรมชาติและวัตถุกันหืนสังเคราะห์มีแนวโน้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในการยับยั้งการหืนในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากบีเอชทีเกิดการสลายตัวในระหว่างการให้คามร้อนจึงทำให้มีค่า induction time ต่ำกว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืช รวมทั้งไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับ Ramalho และ Jorge (2008) ที่พบว่า ค่าความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากโรสแมรี่ภายหลังจากการให้ความร้อน 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง มีค่าความคงตัวสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.12 ค่า Induction time ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

เพื่อพิจารณาค่าความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า สารสกัดสมุยที่มีแนวโน้มของค่า induction time ลดลงเล็กน้อยในระหว่างเก็บรักษา โดยมีค่าลดลงจาก 4.65 เป็น 4.18 ชั่วโมงในวันที่ 8 แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าคงตัวสูงที่สุดในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8วัน ตามมาด้วยสารสกัดฮ้านน้ำซึ่งสารสกัดทั้งสองนี้ มีค่าความคงตัวสูงกว่าสารสกัดก่อข้าวและมันปลาที่มีค่า induction time ใกล้เคียงกัน ($p>0.05$)

7) การเปลี่ยนแปลงค่าสี

หลังจากการให้ความร้อนแก่น้ำมันถั่วเหลือง พบว่าตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยของ L* (ค่าความสว่าง) a* (ค่าสีแดง-เขียว) และ b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) เท่ากับ 98.53±0.36, -4.96±0.17 และ 21.61±1.48 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ทั้งนี้น้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชทีมีค่า L*, a* และ b* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดค่า L*, a* และ b* แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเติมสารสกัดฮ้านน้ำมีค่าความสว่างต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ สมุย ก่อข้าว และมันปลา ตามลำดับ ทั้งนี้สอดคล้องกับการสังเกตุด้วยตาเปล่าก่อนที่จะทำการให้ความร้อน พบว่า สารสกัดฮ้านน้ำมีสีที่ค่อนข้างเข้มที่สุด รองลงมาได้แก่ สมุย ก่อข้าว และมันปลา ตามลำดับ ส่วนค่า a* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืช พบว่า สารสกัดก่อข้าวและมันปลามีค่า a* เท่ากับ -7.70 และ-5.87 ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสารสกัดสมุยส่งผลให้ค่า a* สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) ในขณะที่สารสกัดฮ้านน้ำมีค่า a* ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ส่วนค่า b* ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่า มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดย สารสกัดฮ้านน้ำมีค่า b* สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ สมุย ก่อข้าว และมันปลา ตามลำดับ โดย ความแตกต่างค่าของค่า L*, a* และ b* ที่เกิดขึ้นอาจเกิดจาก ความแตกต่างของรงควัตถุหรือสารสี (pigments) ที่มีอยู่ในพืชแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.12 พารามิเตอร์สีของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พารามิเตอร์สี		
		L*	a*	b*
ควบคุม	-	98.53±0.36 ^{e}	-4.96±0.17 ^{c}	21.61±1.48 ^{a}
บีเอชที	75	98.42±0.47 ^{e}	-4.98±0.16 ^{c}	21.84±1.31 ^{a}
ก่อข้าว	500	88.82±0.13 ^{c}	-7.70±0.12 ^{a}	53.15±0.16 ^{c}
มันปลา	500	92.38±0.94 ^{d}	-5.87±0.60 ^{b}	32.89±0.19 ^{b}
ฮ้านน้ำ	500	64.09±0.23 ^{a}	-4.23±0.32 ^{c}	83.83±0.66 ^{e}
สมุย	500	76.00±0.37 ^{b}	-2.20±0.25 ^{d}	75.73±0.50 ^{d}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางเคมี คือ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความต่างกันเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดมีค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภายหลังจากการให้ความร้อนและระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นสีเขียวของคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนแปลงเป็นสีเขียวอมน้ำตาลของฟีโอไฟตินมากขึ้น (นิธิยา, 2549) จึงทำให้ตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชมีความสว่างมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)				
		0	2	4	6	8
ควบคุม	-	98.53±0.36 ^{eA}	98.54±0.22 ^{eA}	98.56±0.25 ^{eA}	98.53±0.31 ^{eA}	98.56±0.24 ^{eA}
บีเอชที	75	98.42±0.47 ^{eA}	98.39±0.50 ^{eA}	98.44±0.30 ^{eA}	98.62±0.52 ^{eA}	98.64±0.12 ^{eA}
ก่อข้าว	500	88.82±0.13 ^{cA}	89.23±0.32 ^{cAB}	89.19±0.44 ^{cAB}	89.61±0.17 ^{cB}	89.40±0.03 ^{cAB}
มันปลา	500	92.38±0.94 ^{dA}	94.14±0.27 ^{dAB}	94.49±0.70 ^{dB}	94.70±1.11 ^{dB}	95.01±0.25 ^{dB}
ฮ้านน้ำ	500	64.09±0.23 ^{aA}	64.70±0.48 ^{aAB}	65.09±0.35 ^{aB}	65.15±0.20 ^{aB}	65.23±0.29 ^{aB}
สมุย	500	76.00±0.37 ^{bA}	76.76±0.02 ^{bB}	77.49±0.17 ^{bC}	77.53±0.15 ^{bC}	77.47±0.16 ^{bC}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a* พบว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที รวมทั้งตัวอย่างที่เติมสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยมีค่าคงที่ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.14) ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมสารสกัดมันปลาและก่อข้าวมีลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.14 ค่า (a*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)				
		0	2	4	6	8
ควบคุม	-	-4.96±0.17 ^{cA}	-4.99±0.09 ^{cA}	-5.13±0.15 ^{cA}	-5.19±0.13 ^{cA}	-5.18±0.08 ^{cA}
บีเอชที	75	-4.98±0.16 ^{cA}	-5.09±0.09 ^{cA}	-5.16±0.18 ^{cA}	-5.13±0.24 ^{cA}	-5.11±0.03 ^{cA}
ก่อข้าว	500	-7.70±0.12 ^{aB}	-8.08±0.11 ^{aAB}	-7.99±0.27 ^{aAB}	-8.24±0.01 ^{aA}	-8.13±0.11 ^{aA}
มันปลา	500	-5.87±0.60 ^{bB}	-6.66±0.31 ^{bAB}	-6.95±0.32 ^{bA}	-6.98±0.32 ^{bA}	-7.17±0.05 ^{bA}
ฮ้านน้ำ	500	-4.23±0.32 ^{cA}	-4.50±0.64 ^{cA}	-4.47±0.53 ^{cA}	-4.24±0.33 ^{dA}	-4.06±0.62 ^{dA}
สมุย	500	-2.20±0.25 ^{dA}	-2.29±0.07 ^{dA}	-2.54±0.02 ^{dA}	-2.43±0.23 ^{eA}	-2.39±0.06 ^{eA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ค่า (b*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาการเก็บรักษา (วัน)				
		0	2	4	6	8
ควบคุม	-	21.61±1.48 ^{aA}	21.65±1.24 ^{aA}	22.16±1.24 ^{aA}	22.52±1.04 ^{aA}	22.81±1.00 ^{aA}
บีเอชที	75	21.84±1.31 ^{aA}	22.16±1.31 ^{aA}	22.50±1.22 ^{aA}	22.78±1.09 ^{aA}	22.89±0.88 ^{aA}
ก่อข้าว	500	53.15±0.16 ^{cAB}	53.03±0.06 ^{cA}	53.30±0.03 ^{cBC}	53.50±0.13 ^{cCD}	53.59±0.03 ^{cD}
มันปลา	500	32.89±0.19 ^{bA}	33.20±0.05 ^{bAB}	33.41±0.13 ^{bBC}	33.71±0.17 ^{bCD}	33.90±0.18 ^{bD}
ฮ้านน้ำ	500	83.83±0.66 ^{eA}	84.28±0.83 ^{eA}	84.62±0.45 ^{eA}	84.54±0.92 ^{eA}	84.60±0.54 ^{eA}
สมุย	500	75.73±0.50 ^{dA}	76.37±0.69 ^{dA}	76.74±0.66 ^{dA}	76.93±0.91 ^{dA}	76.87±0.40 ^{dA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.15 พบว่า ค่าของทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้น ตัวอย่างที่เติมสารสกัดก่อข้าวและมันปลาที่พบว่า มีค่า b* เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยแต่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ค่า ΔE ของทุกตัวอย่างพบว่าสอดคล้องกับค่า L*, a* และ b* หลังจากให้ความร้อนและเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 8 วัน ค่า ΔE ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองควบคุมและน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมบีเอชที 75 พีพีเอ็ม มีค่า ΔE เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยแต่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารสกัดสมุย ฮ้านน้ำ ก่อข้าวและมันปลา 500 พีพีเอ็ม ค่า ΔE ของแต่ละตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทอดสอบทางกายภาพภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสีของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิดเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ในระหว่างการเก็บรักษาค่า L*, a*, b*และ ΔE ของทุกตัวอย่างที่ทดสอบมีค่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น และพบว่า สารสกัดพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้แตกต่างกันถึงแม้ว่าในการทดสอบด้วยวิธี CD ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดพืชทั้ง 4 ชนิด จะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม แต่เมื่อทดสอบด้วยวิธี PV, TBARS, p-AV และค่าความคงตัว พบว่า สารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดฮ้านน้ำ ซึ่งสารสกัดทั้ง 2 ชนิดนี้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันดีกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนสารสกัดก่อข้าว พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมเมื่อทดสอบด้วยวิธี PV และค่าความคงตัว ในขณะที่สารสกัดมันปลามีประสิทธิภาพดีเมื่อทดสอบด้วยวิธี TBARS และ ค่าความคงตัวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชเมื่อให้ความร้อน180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าสีวันที่ 0			ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
		L*	a*	b*	2	4	6	8
ควบคุม	-	98.53±0.36	-4.96±0.17	21.61±1.48	0.21±0.05 ^{A}	0.59±0.23 ^{AB}	0.94±0.44 ^{AB}	1.23±0.49 ^{B}
บีเอชที	75	98.42±0.47	-4.98±0.16	21.84±1.31	0.34±0.02 ^{A}	0.70±0.08 ^{AB}	0.98±0.21 ^{B}	1.13±0.35 ^{B}
ก่อข้าว	500	88.82±0.13	-7.70±0.12	53.15±0.16	0.57±0.31 ^{A}	0.55±0.50 ^{A}	1.03±0.09 ^{A}	0.88±0.05 ^{A}
มันปลา	500	92.38±0.94	-5.87±0.60	32.89±0.19	1.96±0.70 ^{A}	2.43±0.32 ^{A}	2.71±0.03 ^{A}	3.11±0.81 ^{A}
ฮ้านน้ำ	500	64.09±0.23	-4.23±0.32	83.83±0.66	0.82±0.39 ^{A}	1.32±0.01 ^{A}	1.29±0.12 ^{A}	1.41±0.05 ^{A}
สมุย	500	76.00±0.37	-2.20±0.25	75.73±0.50	1.02±0.43 ^{A}	1.84±0.57 ^{A}	1.97±0.42 ^{A}	1.88±0.12 ^{A}

หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

4.2.2 น้ำมันปาล์ม

จากการวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นพบว่า สารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม, เชียงดา 500 พีพีเอ็ม, สมุย 350 พีพีเอ็ม และสมุย 500 พีพีเอ็ม มีศักยภาพในการกันหืนในน้ำมันปาล์มได้ดี ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชที่คัดเลือกมา ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน และการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที

4.2.2.1 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

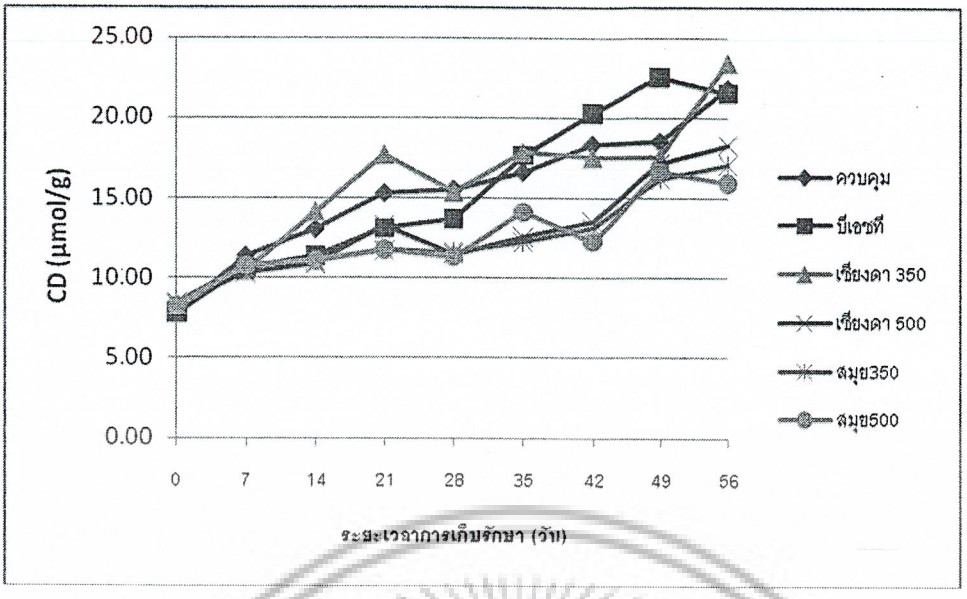
การวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดพืชที่คัดเลือกมาในน้ำมันปาล์ม ภายใต้สภาวะเร่ง คือ มีการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็มลงในตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารสกัดพืช จากนั้นนำตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน เป็นเวลา 56 วันโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันปาล์มควบคุม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ไม่เติมสารสกัดจากพืช และตัวอย่างที่เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) เพื่อนำมาวิเคราะห์การการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

1) CD

ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี CD พบว่าในวันที่ 0 ค่า CD น้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช มีค่าใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า CD อยู่ระหว่าง 7.79-8.45 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม (ภาพที่ 4.13) ทั้งนี้อาจเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของวิธีการวิเคราะห์ ดังที่กล่าวไว้แล้ว

เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 56 วันพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่า CD เท่ากับ 21.81 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ในวันที่ 56 (ภาพที่ 4.13) แสดงว่าวิธีการนี้สามารถใช้ตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มได้ นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกอิออน มีค่า CD เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.69 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม เป็น 11.92 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งค่าการเพิ่มขึ้นต่ำกว่าน้ำมันปาล์มควบคุม (เติมสารสกัดพืชที่เติมเฟอร์ริกอิออน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่า การเติมเฟอร์ริกอิออน ในน้ำมันปาล์มสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว คือ เฟอร์ริกอิออน ซึ่งเป็นโลหะทรานซิชันซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ (โอภา, 2550) สำหรับน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีในช่วง 28 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและพบว่าในวันที่ 56 ตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเท่ากับ 21.51ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องจาก บีเอชทีอาจถูกใช้ไปในการทำลายอนุมูลอิสระหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันตลอดจนการเสื่อมสลายไประหว่างการเก็บรักษาจนทำให้ความสามารถในการกันหืนลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 ค่า CD ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.13) พบว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันคล้ายคลึงกัน โดยน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทุกตัวอย่างมีค่า CD ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้น น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม ที่มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน พบว่า ที่ความเข้มข้นเดียวกันสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดาอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สารสำคัญที่พบในสมุย ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน น้ำมันหอมระเหย รวมทั้งสเตอร์รอยด์และเทอร์ปีน (นราพร, 2552) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ อาจทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมทั้งอาจมีคุณสมบัติในการเป็นสารคีเลต โดยเฉพาะสารโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างเป็นออร์โธไดไฮดรอกซีฟีนอลิก ทำหน้าที่จับหรือฟอร์มพันธะโคออร์ดิเนตกับโลหะหนัก (อนุชิตา , 2555)

ผลการเปรียบเทียบค่า CD ของการเติมสารสกัดพืชในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม มีผลทำให้ค่า CD แตกต่างกัน โดยพบว่า ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาน้ำมันที่เติมสารสกัดเชียงดาความเข้มข้น 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม มีค่า CD เท่ากับ 23.41 และ 18.29 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนสารสกัดสมุยมีค่า CD เท่ากับ 17.06 และ 15.91 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชมีผลต่อการชะลอการเกิดออกซิเดชัน โดยทำให้ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาค่า CD ของน้ำมันปาล์มมีค่าลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังที่กล่าวไว้แล้ว คือ การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารสกัดทำให้สารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ณัฏฐินี, 2546)

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทุกตัวอย่างค่า CD มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่า CD ของสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม, สมุย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

350 พีพีเอ็ม และสมุย 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ในช่วง 49 วันแรกของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้นค่า CD มีค่าแตกต่างกัน โดยสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีค่า CD ต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม และสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมสารสกัดพืชทั้งสามตัวอย่างมีผลแตกต่างจากน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ส่วนสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม เริ่มมีค่า CD สูงกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชชนิดอื่นๆ ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา

2) PV

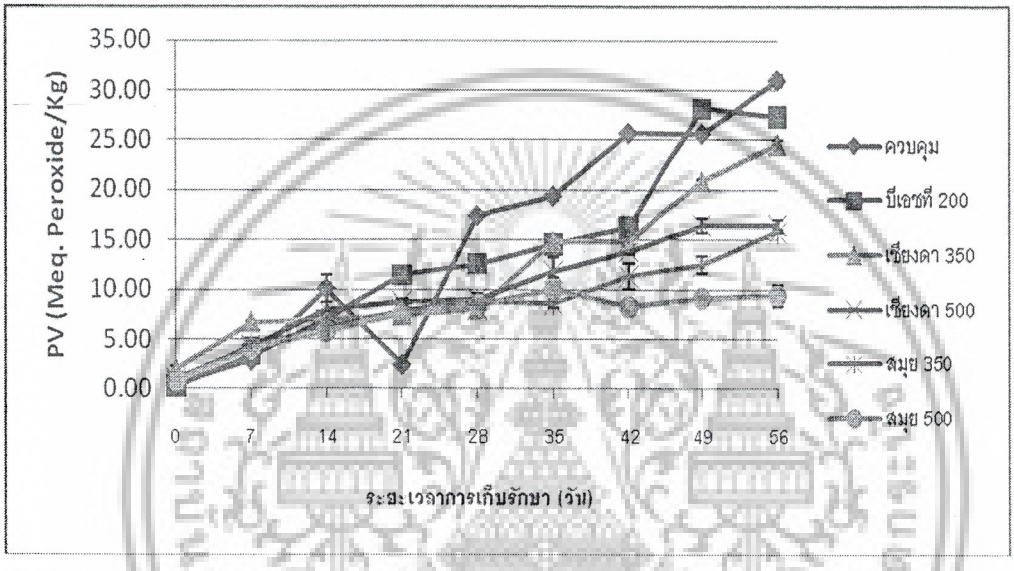
ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มด้วยวิธี PV แสดงดังภาพที่ 4.14 โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีผลสอดคล้องกับวิธี CD คือ ทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.22-1.93 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกอิออน มีค่า PV เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.05 เป็น 5.15 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าการเพิ่มขึ้นต่ำกว่าน้ำมันปาล์มควบคุม (เติมเฟอร์ริกอิออน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ค่า PV ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD โดยตัวอย่างควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.52 เป็น 30.94 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาค่า PV ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ปฏิกิริยากลับไปสู่ขั้นเริ่มต้น (initiation) ของการเกิดออกซิเดชัน หรือไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดการสลายตัวจึงทำให้ค่าPV ลดต่ำลง ดังที่กล่าวไว้แล้วในข้อ 4.2.1.1 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีแนวโน้มต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่า PV เท่ากับ 27.34 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน สารสกัดจากพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มได้ โดยมีค่า PV อยู่ในช่วง 9.93-24.58 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสำคัญที่พบในสมุย ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน น้ำมันหอมระเหย รวมทั้งสเตอร์รอยด์และเทอร์ปีน (นราพร, 2552) ส่วนสารสกัดเชียงดาพบว่ามี สาระสำคัญ คือ แคโรทีน แซนโทฟิลล์ วิตามินซี วิตามินอี และแทนนิน (Chanwitheesuk และคณะ, 2005) ดังที่กล่าวไว้แล้ว คือ สารสำคัญจากพืชทั้งสองชนิดอาจทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมทั้งอาจมีคุณสมบัติในการเป็นสารคีเลต โดยเฉพาะสารโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างเป็นออร์โธไดไฮดรอกซีฟีนอลิก ทำหน้าที่จับหรือฟอร์มพันธะโคออร์ดิเนตกับโลหะหนัก (อนุชิตา, 2555) อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าผลการทดลองแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD เล็กน้อยคือ ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของวิธีการวิเคราะห์ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นการวิเคราะห์สารที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกัน แต่วิธี CD เป็นการวัดคอนจูเกตไดอีนที่มีลักษณะเป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ ส่วนวิธี PV เป็นการหาปริมาณเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้ผลการทดลองที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดพืชแต่ละชนิด พบว่า ให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD คือ ที่ความเข้มข้นเดียวกันสารสกัดจากสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดาอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาสารสกัดเชียงดามีค่า PV เท่ากับ 24.58 และ 16.47 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนสารสกัดสมุยมีค่า PV เท่ากับ 15.76 และ 9.39 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชมีผลต่อการลดลงของค่า PV อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD



ภาพที่ 4.14 ค่า PV ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

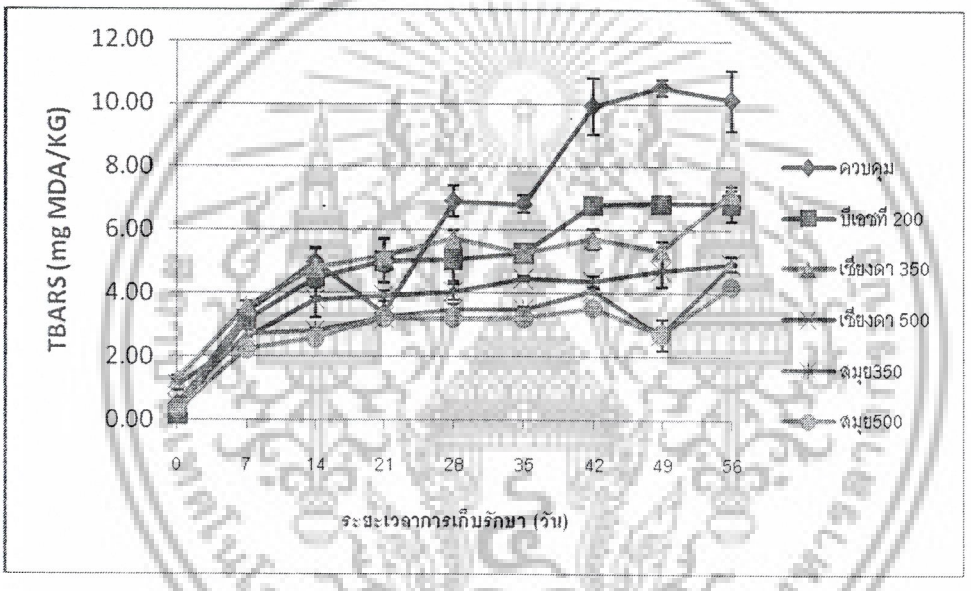
จากการทดลอง พบว่า ใน 28 วันแรกของการเก็บรักษาสารสกัดพืชมีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี PV ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่า สารสกัดสมุยทั้งสองความเข้มข้นมีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี PV ต่ำกว่าสารสกัดเชียงดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นในวันที่ 56 ของการเก็บรักษา สารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม มีค่า PV เท่ากับ 15.76 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่าง ($p>0.05$) กับสารสกัดชียงดา 500 พีพีเอ็ม ที่มีค่า PV เท่ากับ 16.47 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา สารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีค่า PV ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาได้แก่ สารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม, เชียงดา 500 พีพีเอ็ม และ เชียงดา 350 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

แม้ว่าสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีค่า PV ต่ำที่สุด แสดงว่า การเติมสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การเติมสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม ก็เพียงพอต่อการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี PV ได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม และน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที โดยมีค่า PV ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีถึง 1.26 และ 1.11 เท่า ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) TBARS

ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS พบว่า ค่า TBAR ของตัวอย่างควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช ทุกตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา โดยพบว่ามีค่า TBARS อยู่ในช่วง 0.12-1.28 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.15) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV นอกจากนี้ พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกอิออนมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.27 เป็น 1.17 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าการเพิ่มขึ้นต่ำกว่าน้ำมันปาล์มควบคุม (เติมเฟอร์ริกอิออน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยในวันที่ 56 น้ำมันปาล์มควบคุม(เติมเฟอร์ริกอิออน) มีค่า TBARS เท่ากับ 10.13 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ ถึง 8.66 เท่า



ภาพที่ 4.15 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

การเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาจาก 0 เป็น 56 วัน พบว่า ค่า TBARS ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.48 เป็น 10.13 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาค่า TBARS ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มลดลง ซึ่งคล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV นอกจากนี้ จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า ในช่วง 14 วันแรกของการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า TBARS ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) หลังจากการเก็บรักษาวันที่ 21 พบว่า ตัวอย่างที่เติมบีเอชที มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) แสดงว่า หลังจากวันที่ 21 ตัวอย่างที่เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่า TBARS ไม่แตกต่างกันทางสถิติในระหว่างวันที่ 0-21 กับตัวอย่างควบคุม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($p>0.05$) แต่หลังจากนั้น ค่า TBARS ของตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงกว่าและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุยและเชียงดา นอกจากนี้ยังพบว่าภายหลังจากการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่า TBARS ต่ำกว่าและมีความแตกต่างกันทางสถิติกับน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที แสดงให้เห็นว่า การเติมสารสกัดพืชในน้ำมันปาล์มสามารถชะลอการหืนได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม ค่า TBARS มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยและเชียงดา พบว่า ที่ความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม สารสกัดเชียงดามีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดการหืนได้ต่ำกว่าสารสกัดสมุย โดยพบว่า สารสกัดเชียงดามีค่า TBARS ต่ำกว่าสารสกัดสมุย ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้สารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันอาจทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันแตกต่างกัน ส่วนที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม สารสกัดเชียงดามีค่า TBARS สูงกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม ซึ่งผลการทดลองแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV เป็นการหาปริมาณสารที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนการวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS เป็นการหาปริมาณสารที่ระเหยได้ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในขั้นที่สองของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เมื่อเพิ่มความเข้มจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม มีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนในน้ำมันปาล์มได้ดีขึ้น โดย พบว่าค่า TBARS ของสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม ต่ำกว่าสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาสารสกัดเชียงดา 350 และ 500 พีพีเอ็ม มีค่า TBARS เท่ากับ 7.18 และ 4.93 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม การเพิ่มสารสกัดสมุยจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ค่า TBARS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.15) จะเห็นได้ว่าสารสกัดสมุยและสารสกัดเชียงดามีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันไม่แตกต่างกัน ($p<0.05$) ยกเว้นสารสกัดเชียงดาความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่า TBAR สูงกว่าสารสกัดพืชตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม สารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม มีค่า TBARS ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที ($p<0.05$) และภายหลังจากการเก็บรักษาในวันที่ 21 สารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม มีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แสดงว่า สารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนได้ภายหลังจากการเก็บรักษาวันที่ 21

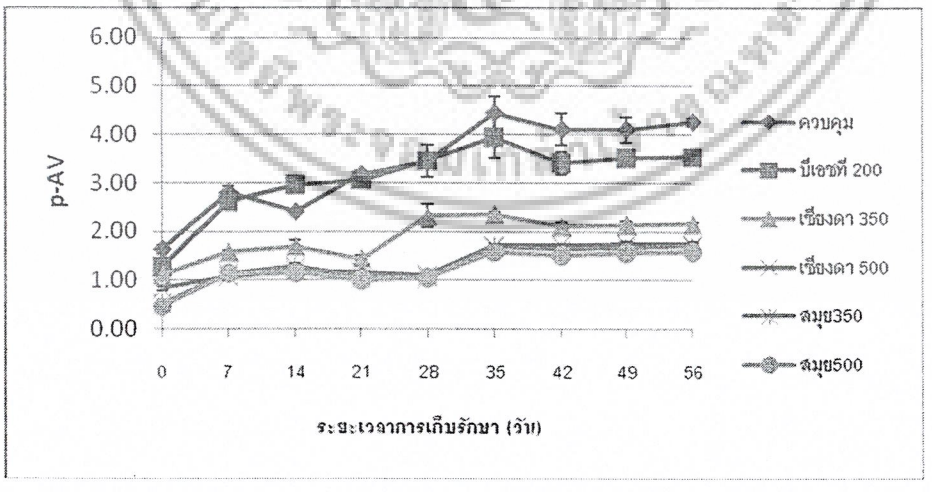
4) p-AV

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.16) พบว่า การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี p-AV ในวันที่ 0 พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD, PV และ TBARS ซึ่งผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยน้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีและน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่า p-AV อยู่ในช่วง 0.46 ถึง 1.63 นอกจากนี้ พบว่า น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ มีค่า p-AV ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(เติมเฟอริกอิออน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับ Augustin (1988) ที่รายงานว่า น้ำมันปาล์มที่เติม iron (III) palmitate มีค่า p-AV สูงกว่าน้ำมันปาล์มที่ไม่เติม iron (III) palmitate ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 57 วันที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ตัวอย่างควบคุมมีค่า p-AV เพิ่มขึ้นและสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่า p-AV เท่ากับ 4.46±0.08 ในวันที่ 56 (ภาพที่ 4.16) แสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้ใช้ตรวจสอบการหืนในตัวอย่างน้ำมันปาล์มในระหว่างการเก็บรักษาได้ ในขณะเดียวกัน น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีความสามารถในการชะลอการหืนได้ โดยมีค่า p-AV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมในวันที่ 42 ส่งผลให้มีแนวโน้มการยับยั้งการหืนได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุยมีความสามารถในการชะลอการหืนได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที โดยพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์มควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sikwese และ Duodu (2007) ที่รายงานว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี p-AV พบว่า การเติมสารสกัดจาก sorghum bran ลงในน้ำมันดอกทานตะวันที่เติมเฟอร์ริกไอออน มีผลทำให้ค่า p-AV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (น้ำมันดอกทานตะวันที่เติมเฟอร์ริกไอออน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้แตกต่างกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS ที่พบว่า สารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการชะลอการหืนไม่แตกต่างกับน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่แตกต่างกัน ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเพิ่มจำนวนเหมือนกัน โดยวิธี TBARS เป็นการหาสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ ส่วนวิธี p-AV วิเคราะห์สารกลุ่มอัลดีไฮด์ จำพวก 2-อัลคีนอล (2-alkenal) และ 2,4-ไดอีนอล (2.4-dienal) ซึ่งความเฉพาะเจาะจงกว่า อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.16 ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

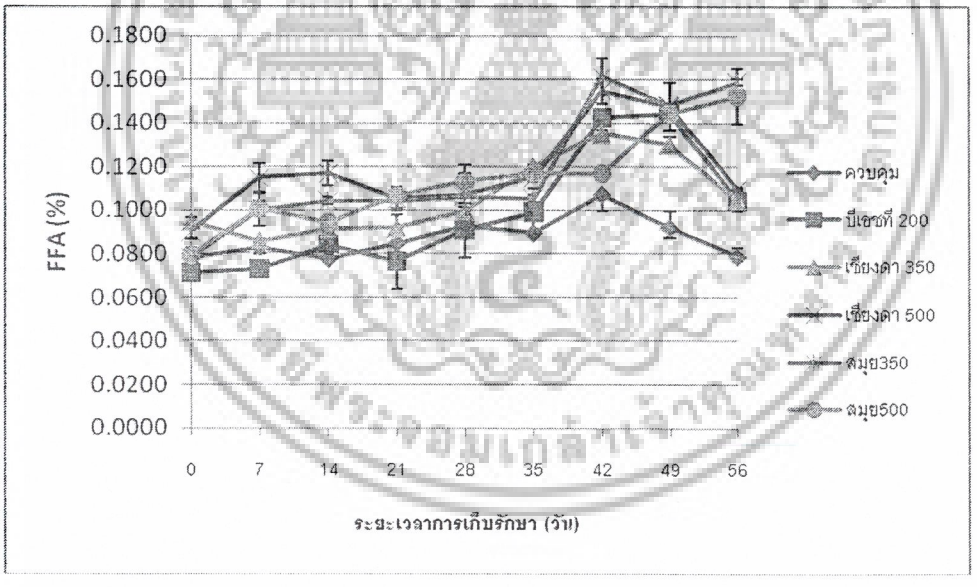
จากภาพที่ 4.16 การเติมสารสกัดเชียงดาและสมุยลงในน้ำมันปาล์มสามารถชะลอการหืนได้ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น การเติมสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็มที่มีอัตราการเพิ่มขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่า p-AV สูงกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มปริมาณสารสกัดจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีขึ้น แต่การเติมสารสกัดสมุย 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่าการเติมสารสกัดจากสมุยมีผลทำให้เส้นแนวโน้มการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าการติมสารสกัดเชียงดาที่ความเข้มข้นเดียวกัน และการเติมสารสกัดเชียงดาที่ระดับ 500 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้เทียบเท่ากับการเติมสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็มในน้ำมันปาล์ม

5) FFA

การวิเคราะห์หารปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา น้ำมันปาล์มควบคุม และน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที มีค่า FFA เท่ากับ 0.0783 และ 0.0712 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า FFA มีแนวโน้มต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชที่มีค่า FFA อยู่ในช่วง 0.0783-0.0949 เปอร์เซ็นต์ ดังที่กล่าวไว้แล้ว คือ การวิเคราะห์ค่า FFA ไม่ได้เป็นการไตรเตรทเฉพาะเจาะจงต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอลเท่านั้น แต่เป็นการหาปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำมัน ซึ่งรวมทั้ง acid leached ที่เกิดจากการฟอกสี, สารต้านการหืนที่มีคุณสมบัติเป็นกรด และวัตถุดิบต่างๆที่มีความเป็นกรด (Richerd D. O' Brien, 2009) ทั้งนี้ สารสำคัญของพืชที่เติมลงในน้ำมันปาล์มอาจมีคุณสมบัติเป็นกรด จึงเป็นเหตุให้ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุม



ภาพที่ 4.17 ค่า FFA ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นตัวอย่างควบคุมมีค่า FFA เพิ่มขึ้นจาก 0.0783 เป็น 0.1073 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 42 ของการเก็บรักษาและหลังจากนั้น ค่า FFA มีแนวโน้มลดลง ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า FFA ในช่วง 35 วันแรกของการเก็บรักษาไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.17 การเติมสารสกัดพืชตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีแนวโน้มของค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม พบว่า ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสกัดเชียงดามีแนวโน้มต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม พบว่า ในช่วง 14 วันแรกของการเก็บรักษาสารสกัดสมุยมีค่า FFA ต่ำกว่าสารสกัดชียงดา แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสารสกัดสมุยมีค่า FFA เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่า FFA เท่ากับ 0.1524 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 56 ในขณะที่สารสกัดเชียงดามีค่า FFA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่า FFA เท่ากับ 0.1548 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 42 และหลังจากนั้นค่า FFA มีแนวโน้มลดลง โดยในวันสุดท้ายของการกเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดามีค่า FFA เท่ากับ 0.1097 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชแต่ละชนิดจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า ค่า FFA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

6) ค่าความคงตัว

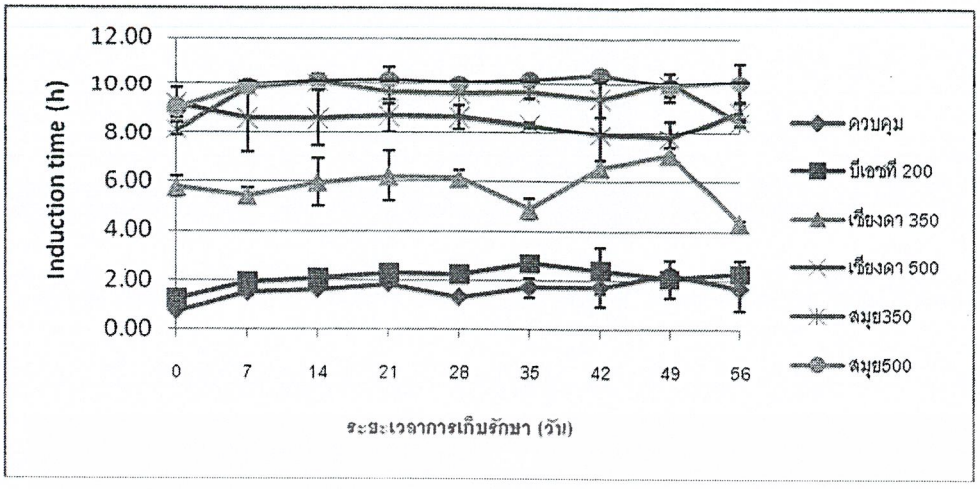
ผลการวิเคราะห์ค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช (ภาพที่ 4.18) พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาค่า Induction time น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่าเท่ากับ 5.77-9.03 ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีที่มีค่า Induction time เท่ากับ 0.75 และ 1.25 ชัวโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดพืชมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางเคมีวิธีอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกอิออน กับน้ำมันปาล์มควบคุม (เติมเฟอร์ริกอิออน) พบว่า ในวันที่ 56 น้ำมันปาล์มที่ไม่เติมเฟอร์ริกอิออน มีค่า Induction time เท่ากับ 11.36 ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าน้ำมันปาล์มควบคุมที่เติมเฟอร์ริกอิออน 6.88 เท่า แสดงให้เห็นว่าการเติมเฟอร์ริกอิออน ซึ่งเป็นโลหะชนิดหนึ่งมีผลต่อการลดความคงตัวของน้ำมันปาล์ม

ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำมันปาล์มควบคุมมีค่า Induction time เปลี่ยนแปลงจาก 0.75 ชั่งโมง เป็น 1.65 ชั่วโมง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะเดียวกันน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีแนวโน้มในการชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม โดยพบว่าค่า Induction time ของน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 1.25 เป็น 2.27 ชั่วโมง แต่ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ (ภาพที่ 4.18) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดกัดพืชแต่ละชนิดมีค่า Induction time คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ แสดงให้เห็นว่า การเติมสารสกัดพืชลงในน้ำมันปาล์มมีผลต่อการยับยั้งการเกิดการหืนในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 56 วัน อย่างไรก็ตาม ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็มมีค่า Induction time ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบถูกใช้ไปในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันตลอดจนการเสื่อมสลายไประหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความสามารถในการกันหืนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ความเข้มข้นเดียวกันสารสกัดสมุยมีความสามารถในการชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากเชียงดาอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 ค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน

การเพิ่มปริมาณสารสกัดสมุยจาก 350 พีพีเอ็ม เป็น 500 พีพีเอ็ม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของค่า Induction time เล็กน้อยโดยมีค่า Induction time ในวันที่ 56 เท่ากับ 8.48 และ 10.11 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนสารสกัดเชียงดาที่เติมลงในน้ำมันปาล์ม พบว่าการเพิ่มปริมาณสารสกัดจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Induction time ของน้ำมันปาล์ม โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม มีค่า Induction time สูงกว่าสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม การเติมสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็มหรือสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม ในน้ำมันปาล์ม สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม

7) การเปลี่ยนแปลงค่าสี

จากผลการทดลอง พบว่า น้ำมันปาล์มควบคุม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์) มีค่าเฉลี่ย L*(ความสว่าง) a* (ค่าสีแดง-เขียว) และ b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) เท่ากับ 81.78±0.38, -0.03±0.08 และ 52.01±0.24 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกับน้ำมันปาล์มไม่เติมเฟอร์ริกอิออน โดยน้ำมันปาล์มไม่เติมเฟอร์ริกอิออน มีค่า L*(ความสว่าง) a* (ค่าสีแดง-เขียว) และ b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) เท่ากับ 94.05±0.02, -7.75±0.01 และ 48.75±0.11 ตามลำดับ แสดงว่าการเติมเฟอร์ริกอิออน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันปาล์ม ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่าที่ พบว่าน้ำมันปาล์มควบคุม (เติมเฟอร์ริกอิออน) มีสีเหลืองเข้มกว่าน้ำมันปาล์มไม่เติมเฟอร์ริกอิออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 พารามิเตอร์สีของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พารามิเตอร์สี		
		L*	a*	b*
ควบคุม	-	81.78±0.38 ^{e}	-0.03±0.08 ^{f}	52.01±0.24 ^{a}
บีเอชที	200	83.21±0.38 ^{f}	-1.17±0.14 ^{e}	50.91±0.01 ^{a}
เชียงดา	350	68.28±0.71 ^{b}	-4.14±0.18 ^{b}	92.11±3.01 ^{bc}
เชียงดา	500	64.07±0.33 ^{a}	-2.82±0.13 ^{d}	99.39±0.75 ^{d}
สมุย	350	76.49±0.07 ^{d}	-5.16±0.17 ^{a}	89.62±0.07 ^{bc}
สมุย	500	71.92±0.35 ^{c}	-3.61±0.11 ^{c}	94.67±0.12 ^{c}

หมายเหตุ : พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีกับตัวอย่างควบคุมพบว่า การเติมบีเอชทีทำให้ค่าความสว่างสูงกว่าตัวอย่างควบคุม และมีผลทำให้ค่า a* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สำหรับการเติมสารสกัดพืชในน้ำมันปาล์มส่งผลให้ค่าความสว่าง a* และ b* เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในทุกๆความเข้มข้น โดยพบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสกัดเชียงดาความเข้มข้น 500 พีพีเอ็มมีค่าความสว่างต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดเชียงดา 350 พีพเอ็ม, สมุย 500 พีพีเอ็ม และ สมุย 350 พีพีเอ็ม นอกจากนั้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ส่งผลให้ค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

การเติมสารสกัดพืชลงในน้ำมันปาล์ม พบว่า ส่งผลให้ค่า a* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดพืชทั้ง 2 ชนิด จะส่งผลให้ค่า a* ลดลง ในส่วนของค่า b* พบว่า สารสกัดจากพืชทั้งสองชนิดมีผลทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นออย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และการเพิ่มปริมาณสารสกัดจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ค่า b* จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีสีเขียวคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุม โดยน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดามีสีคล้ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่างและค่า a*ที่ลดลงในขณะที่ค่า b* เพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ความเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	(พีพีเอ็ม)	0	28	56
ควบคุม	-	81.78±0.38 ^{eA}	87.97±0.65 ^{eBC}	89.33±1.12 ^{eBC}
บีเอชที	200	83.21±0.38 ^{fA}	85.78±1.20 ^{eBC}	86.54±0.00 ^{dC}
เชียงดา	350	68.28±0.71 ^{bA}	72.15±1.01 $^{cB-D}$	74.21±0.11 ^{cE}
เชียงดา	500	64.07±0.33 ^{aAB}	64.79±0.30 ^{aAB}	65.94±1.21 ^{aC}
สมุย	350	76.49±0.07 ^{dB}	74.99±0.15 ^{dA}	75.89±0.38 ^{cAB}
สมุย	500	71.92±0.35 ^{cB}	69.24±1.67 ^{bA}	71.130±.09 ^{bB}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ค่าความสว่างของตัวอย่างควบคุม บีเอชที มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน (ตารางที่ 4.18) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาส่งผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน น้ำมันที่เติมสารสกัดเชียงดา พบว่า ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วันค่าความสว่างเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรงควัตถุคลอโรฟิลล์ในพืชเกิดปฏิกิริยา pheophytination ของคลอโรฟิลล์ โดยแมกนีเซียมไอออนซึ่งอยู่ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ สีเขียวของพืชจึงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟติน (นิธิยา, 2545) ส่วนน้ำมันที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าความสว่างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้สาระสำคัญที่พบในสารสกัดสมุยอาจทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งความสามารถดังกล่าว อาจช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อันเป็นสาเหตุหนึ่งของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ หรือยับยั้งการเกิดสารประกอบที่มีสีอื่นๆได้

ตารางที่ 4.19 ค่า a* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	(พีพีเอ็ม)	0	28	56
ควบคุม	-	-0.03±0.08 ^{fA}	1.16±0.79 ^{aA}	1.54±0.80 ^{aA}
บีเอชที	200	-1.17±0.14 ^{eA}	1.55±0.17 ^{aC}	1.55±0.29 ^{aC}
เชียงดา	350	-4.14±0.18 ^{bA}	1.38±1.78 ^{aCD}	2.07±0.27 ^{aCD}
เชียงดา	500	-2.82±0.13 ^{dA}	6.98±0.60 ^{cC}	7.01±0.45 ^{cC}
สมุย	350	-5.16±0.17 ^{aA}	1.38±0.27 ^{aC}	1.56±0.27 ^{aC}
สมุย	500	-3.61±0.11 ^{cA}	4.09±0.48 ^{bCD}	3.85±0.20 ^{bCD}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่า a* พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วันตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.19) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสารสกัดพืชทั้งสองชนิดส่งผลให้ ค่า a* ของน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า ค่าความเป็นสีเขียวลดลง อาจเนื่องมาจากสีเขียวของคลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟติน (pheophytin) (นิธิยา, 2549)

หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน ค่า b* ของตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่า b* จาก 52.01±0.24 เป็น 59.97±7.54 ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยมีค่า b* จาก 50.91±0.01 เป็น 88.40±1.52 ซึ่งค่า b* ที่สูงขึ้นอย่างมากอาจเกิดจากการทำปฏิกิริยาของบีเอชทีกับเหล็กเกิดเป็นสารประกอบ stilbenequinone ซึ่งมีสีเหลือง (ศิวาพร, 2546) (ตารางที่ 4.20) ส่วนน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชพบว่ามีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม โดย การเติมสารสกัดสมุยส่งผลให้ค่า b* มีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ($p<0.05$) ในขณะที่สารสกัดเชียงดามีค่า b* คงที่ในระหว่างการเก็บรักษา ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.20 ค่า b* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) 0	28	56
ควบคุม	-	52.01±0.24^{aA}	64.41±1.69^{aB}	59.97±7.54^{aAB}
บีเอชที	200	50.91±0.01^{aA}	86.69±2.34^{cDE}	88.40±1.52^{bE}
เชียงดา	350	92.11±3.01^{bcAB}	90.54±0.92^{dAB}	85.45±3.11^{bA}
เชียงดา	500	99.39±0.75^{dA}	99.70±0.18^{eA}	99.56±0.70^{cA}
สมุย	350	89.62±0.07^{bcE}	82.16±0.28^{bAB}	81.33±0.36^{bA}
สมุย	500	94.67±0.12^{cD}	86.94±0.98^{cAB}	86.60±0.64^{bA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.21 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์มในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 56 วัน แสดงดังตารางที่ 4.21 โดยค่า ΔE เป็นค่าที่คำนวณได้จากความแตกต่างของค่าสี L*, a* และ b* ซึ่งค่า ΔE มีค่าสูง แสดงว่า ตัวอย่างน้ำมันปาล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการเก็บรักษามาก จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า ΔE คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$) โดยมีค่า ΔE ในวันที่ 0 และ 56 เท่ากับ 10.11±0.82 และ 11.97±4.59 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 28.73±0.31 เป็น 37.73±1.46 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า ΔE มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตุด้วยตาเปล่า ที่พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีสีเหลืองเข้มกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างชัดเจน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของค่า b* ที่อาจเกิดจาก การทำปฏิกิริยาของบีเอชทีกับเหล็กเกิดเป็นสารประกอบ stilbenequinone ซึ่งมีสีเหลือง (ศิวาพร, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการเติมสารสกัดพืชลงในน้ำมันปาล์มพบว่ามีค่า ΔE ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แต่พบว่า ค่า ΔE ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่า ΔE คงที่ระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสารสีหรือรงควัตถุที่เป็นส่วนประกอบของพืชจึงเป็นเหตุให้ค่า ΔE ของน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชมีค่าเพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดจากพืชที่เติมลงในน้ำมันปาล์มในสภาวะเร่งคือ การเติมเฟอร์ริกคลอไรด์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 เซียสเซียสเป็นเวลา 56 วัน โดย ผลการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธี CD, PV, TBARS, p-AV และ ค่าความคงตัว พบว่า สารสกัดจากพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้น สารสกัดจากเชียงดา 350 พีพีเอ็ม เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD, PV, TBARS, p-AV และ ค่าความคงตัว พบว่า สารสกัดสมุยความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สารกัดสมุย 350 พีพีเอ็มและสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม โดยสารสกัดพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ มีค่าการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันใกล้เคียงกันในเกือบทุกวิธีที่ทดสอบ ส่วนสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนได้ต่ำกว่าสารสกัดพืชตัวอย่างอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าสีวันที่ 0			ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)							
		L*	a*	b*	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	81.78±0.38	-0.03±0.08	52.01±0.24	10.11±0.82^{A}	13.41±1.15^{A}	9.06±0.38^{A}	13.95±1.53^{A}	10.94±2.52^{A}	11.95±4.83^{A}	8.71±0.14^{A}	11.97±4.59^{A}
บีเอชที	200	83.21±0.38	-1.17±0.14	50.91±0.01	28.73±0.31^{A}	30.56±0.90^{AB}	33.39±0.06^{BC}	35.98±2.38^{CD}	34.89±0.26^{CD}	37.13±2.32^{D}	37.66±0.93^{D}	37.73±1.46^{D}
เชียงดา	350	68.28±0.71	-4.14±0.18	92.11±3.01	4.14±0.36^{A}	5.54±1.09^{AB}	6.73±1.70^{A-C}	7.05±2.16^{BC}	9.23±0.17^{CD}	6.51±0.11^{AB}	7.02±0.11^{BC}	10.87±0.13^{D}
เชียงดา	500	64.07±0.33	-2.82±0.13	99.39±0.75	5.59±0.89^{A}	9.81±1.16^{B}	9.53±1.43^{B}	9.87±0.65^{B}	10.16±0.67^{B}	10.33±0.75^{B}	10.40±0.61^{B}	10.12±0.25^{B}
สมุย	350	76.49±0.07	-5.16±0.17	89.62±0.07	6.55±0.84^{A}	9.03±0.49^{B}	9.45±0.17^{BC}	10.04±0.19^{CD}	10.25±0.31^{CD}	10.23±0.11^{CD}	10.37±0.02^{CD}	10.70±0.30^{D}
สมุย	500	71.92±0.35	-3.61±0.11	94.67±0.12	6.94±0.38^{A}	9.83±0.28^{B}	10.02±0.41^{B}	11.26±1.31^{B}	10.71±0.36^{B}	10.29±0.43^{B}	10.73±0.61^{B}	11.02±0.56^{B}

หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

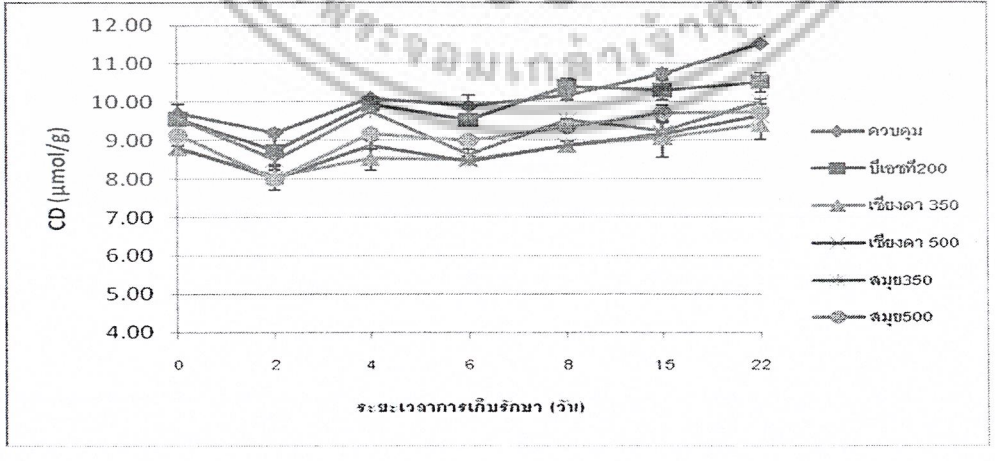
4.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชที่คัดเลือกมา โดยทำการให้ความร้อนแก่น้ำมันจนถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ลดอุณหภูมิลง และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการสุ่มตัวอย่างวันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 15 และ 22 โดยจะทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ได้แก่ ตัวอย่างที่ไม่เติมสารสกัดจากพืช และตัวอย่างที่เติมบีเอชทีความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม

1) CD

ผลการวิเคราะห์หาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี CD ภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างควบคุมมีค่า CD เท่ากับ 9.71 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที ที่มีค่า CD เท่ากับ 9.56 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชพบว่า มีค่า CD ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดพืชที่เติมลงในน้ำมันปาล์มมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในระหว่างการให้ความร้อนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Nor และคณะ (2009) ที่พบว่า สารสกัดจากใบขมิ้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม สารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม มีค่า CD เท่ากับ 9.56 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$)

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่าตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยในวันที่ 22 มีค่า CD เท่ากับ 11.51 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม นอกจากนี้พบว่าตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า CD ไม่แตกต่างกันในช่วง 0-15 วัน และหลังจากวันที่ 15 ตัวอย่างควบคุมมีค่า CD สูงกว่าบีเอชที แสดงว่า การเติมบีเอชทีมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มได้ดีหลังจากการเก็บรักษาวันที่ 15 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.19 ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า การเติมสารสารสกัดเชียงดาและสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) โดยมีค่า CD เท่ากับ 9.40-10.01 ในวันที่ 22 ของการเก็บรักษา ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สารสำคัญที่พบในสมุย ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน น้ำมันหอมระเหย รวมทั้งสเตอร์รอยด์และเทอร์ปีน (นราพร, 2552) และสาระสำคัญที่พบในเชียงดาได้แก่ แคโรทีน แซนโทฟิลล์ วิตามินซี วิตามินอี และแทนนิน (Chanwitheesuk และคณะ, 2005) ซึ่งสารดังกล่าวนี้อาจทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจึงทำให้ค่าการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิด พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่า CD เท่ากับ 9.40 และ 10.01 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม แต่จะเห็นได้ว่าในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็มเริ่มมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีเมื่อน้ำมันปาล์มมีอายุการเก็บรักษา 4 วันเป็นต้นไป และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม พบว่า สารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีค่า CD ไม่แตกต่างกันและประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้ง 22 วัน

การเพิ่มปริมาณสารสกัดพืชจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของค่า CD ในระหว่างการเก็บรักษา 22 วัน (ภาพที่ 4.19) แสดงว่า การเพิ่มสกัดพืชทั้งสองความเข้มข้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันเท่ากัน แสดงว่า การเติมสารสกัดพืช 350 พีพีเอ็ม นั้นเพียงพอต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเพิ่มปริมาณสารสกัดจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ไม่ทำให้สารสกัดจากพืชแสดงสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันขึ้นกับความเข้มข้นและประสิทธิภาพของสารต้านการหืนด้วย (Juntachot และคณะ, 2006)

ภายหลังจากการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 22 วัน พบว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุย มีค่า CD อยู่ในช่วง 9.40-10.01 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดเชียงดาและสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี CD ได้ไม่แตกต่างกัน

2) PV

การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชัน ด้วยวิธี PV พบว่า ภายหลังจากการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 0 ผลการทดลองคล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD คือ น้ำมันปาล์มควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่า PV เท่ากับ 4.75 และ 4.48 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันปาล์มควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า PV สูงกว่าน้ำมันที่เติมสารสกัดจากเชียงดาและสมุยอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

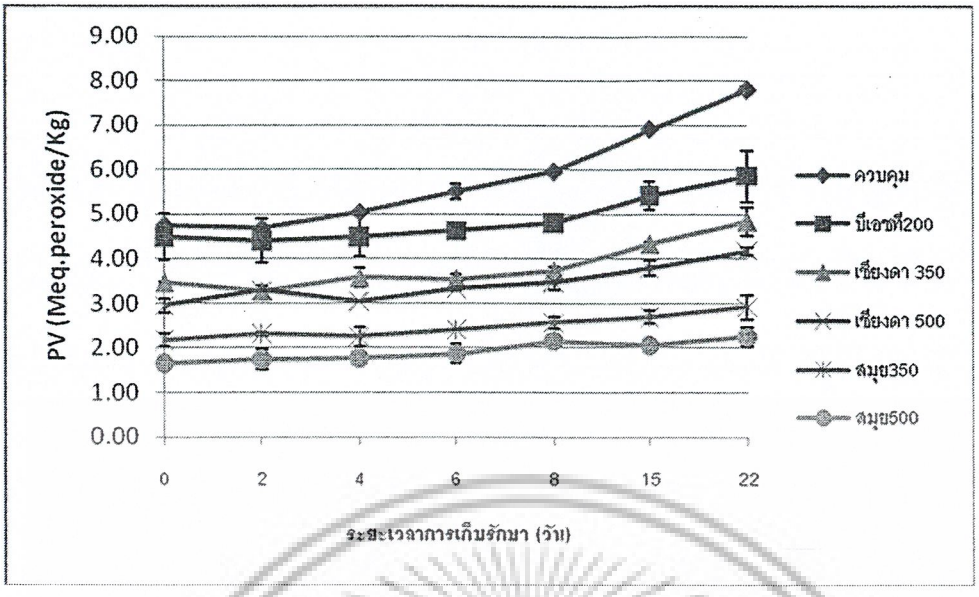
แสดงให้เห็นว่า ภายใต้สภาวะการเร่งด้วยความร้อน สารสกัดพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและบีเอชที

ภายหลังจากการเก็บรักษาค่า PV ของน้ำมันปาล์มควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีค่า PV เพิ่มขึ้นจาก 4.75 เป็น 7.79 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีพบว่า ใน 4 วันแรกของการเก็บรักษามีค่า PV ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม แต่หลังจากวันที่ 4 ตัวอย่างควบคุมมีค่า PV สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าบีเอชทีมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี PV ได้ดี ภายหลังจาก วันที่ 4 ของการเก็บรักษา

สำหรับผลการเติมสารสกัดเชียงดาและสมุยในน้ำมันปาล์ม ที่มีต่อค่า PV แสดงดังภาพที่ 4.20 พบว่า การเติมสารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีผลทำให้ค่า PV ของน้ำมันปาล์มต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้ง 22 วัน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า การเติมสารสกัดพืชความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า PV ต่ำกว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา แสดงให้เห็นว่า ที่ความเข้มข้น 350 พีพีเอ็มสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่ผ่านความร้อนได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดา ส่วนการเติมสารสกัดพืชที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็มลงในน้ำมันปาล์ม พบว่า ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย มีค่า PV ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จากผลการทดลองนี้ พบว่า แตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD คือ สารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันไม่แตกต่างกัน ($p>0.0$) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ความแตกต่างของวิธีการวิเคราะห์ โดยวิธี CD เป็นการวัดคอนจูเกตไดอีนที่มีลักษณะเป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ ส่วนวิธี PV เป็นการหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้ผลการทดลองที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน ดังที่กล่าวไว้แล้ว

การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเชียงดาที่เติมในน้ำมันปาล์ม จาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า PV คือ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาความเข้มข้น 350 และ 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มีค่า PV เท่ากับ 4.85 และ 4.18 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดสมุยพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม ค่า PV มีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม แต่ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 350 และ 500 พีพีเอ็ม มีค่า PV เท่ากับ 2.91 และ 2.25 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 22 วัน ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของการสกัดพืชทั้งสองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



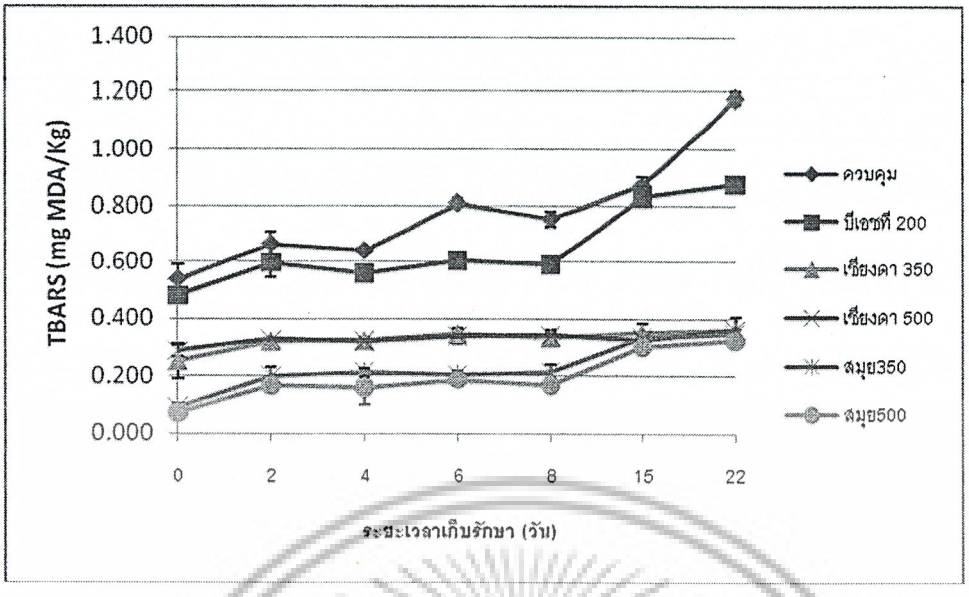
ภาพที่ 4.20 ค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

จากตารางที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชแต่ละชนิดค่า PV เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า PV อยู่ในช่วง 2.25-2.91 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาที่มีค่า PV 4.18-4.85 แสดงให้เห็นว่า สารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มด้วยวิธี PV ได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดา

3) TBARS

ผลการวิเคราะห์หาสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชันของตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS ภายหลังจากให้ความร้อน 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ในวันที่ 0 ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับวิธี PV คือ ตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า TBARS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดย มีค่า TBARS เท่ากับ 0.54 และ 0.48 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 4.21) นอกจากนั้น พบว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีค่า TBARS อยู่ในช่วง 0.07-0.25 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.5$) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชที เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ โดยมีค่า TBARS เท่ากับ 1.18 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.21) ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดยมีค่า TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมภายหลังจากการเก็บรักษาวันที่ 4 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV โดยในวันที่ 22 น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอช มีค่า TBARS เท่ากับ 0.87 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ ยังพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่า TBARS อยู่ในช่วง 0.32-0.36 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเชียงดาที่เติมในน้ำมันปาล์มจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า ค่า TBARS ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) และการเพิ่มปริมาณสารสกัดสมุยที่เติมลงในน้ำมันปาล์มให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ค่า TBARS ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.21) จะเห็นได้ว่าค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทุกชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดย ในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย มีค่า TBARS ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า TBARS สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา ($p>0.05$) โดยการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ของค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยอาจเนื่องมาจาก สารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญถูกใช้ไปในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันตลอดจนการเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดการหืนในน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดาในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) p-AV

ภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีกับตัวอย่างควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 22 วัน เมื่อทำการวิเคราะห์หาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี p-AV พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาผลการทดลองสอดคล้องกับวิธี PV และ TBARS คือ น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในระหว่างการให้ความร้อนได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.22)

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่า ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืช มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา(ภาพที่ 4.22) ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS ที่มีแนวโน้มของค่า TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยทั้งวิธี TBARS และ p-AV เป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชันเช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยวิธี TBARS เป็นการหาสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ ส่วนวิธี p-AV วิเคราะห์สารกลุ่มอัลดีไฮด์ จำพวก 2-อัลคีนอล (2-alkenal) และ 2,4-ไดอีนอล (2.4-dienal) ซึ่งความเฉพาะเจาะจงกว่า อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความแตกต่างกัน

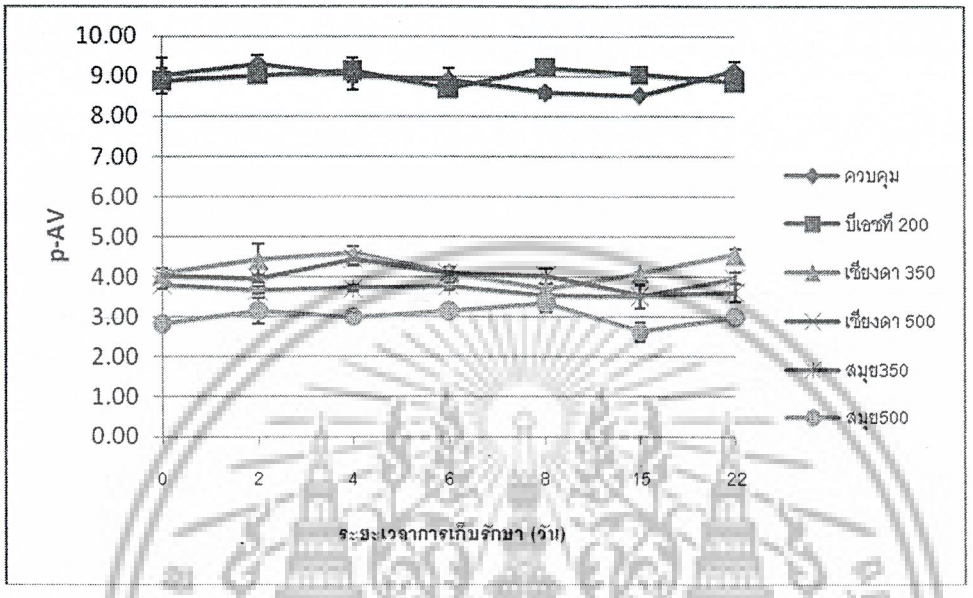
จากผลการวิเคราะห์ (ภาพที่ 4.22) พบว่าตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า p-AV ไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า p-AV เท่ากับ 9.13 และ 8.85 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเติมสารสกัดพืชลงในน้ำมันปาล์มมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี โดยมีค่า p-AV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p<0.05$) โดยมีค่า p-AV ในวันที่ 22 อยู่ในช่วง 2.29-4.56

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนของพืช พบว่า ที่ความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม ในวันที่ 0 ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุย มีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยส่งผลให้ค่า p-AV มีแนวโน้มต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 22 น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา และสมุย มีค่า p-AV เท่ากับ 4.56 และ 3.97ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดสมุยความเข้มข้น 350 พีพีเอ็มมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดาความเข้มข้น 350 พีพีเอ็มหลังจากการเก็บรักษาวันที่ 0 ในส่วนของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช 500 พีพีเอ็ม พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาสารสกัดสมุยส่งผลต่อการยับยั้งการหืนในน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดา โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาสารสกัดสมุยมีค่า p-AV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV ที่ความเข้มข้นแต่ละระดับสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดการหืนได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดา

ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารสกัดเชียงดา (350-500 พีพีเอ็ม) พบว่า ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า p-AV ในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้น พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็มมีค่า p-AV สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดสมุย (350-500 พีพีเอ็ม) พบว่า ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาแนวโน้มของค่า p-AV ของน้ำมันปาล์มที่เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Nor และคณะ (2009) ที่รายงานว่า การเติมสารสกัดขมิ้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนของไขมันได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำมันปาล์มที่ผ่านความร้อน



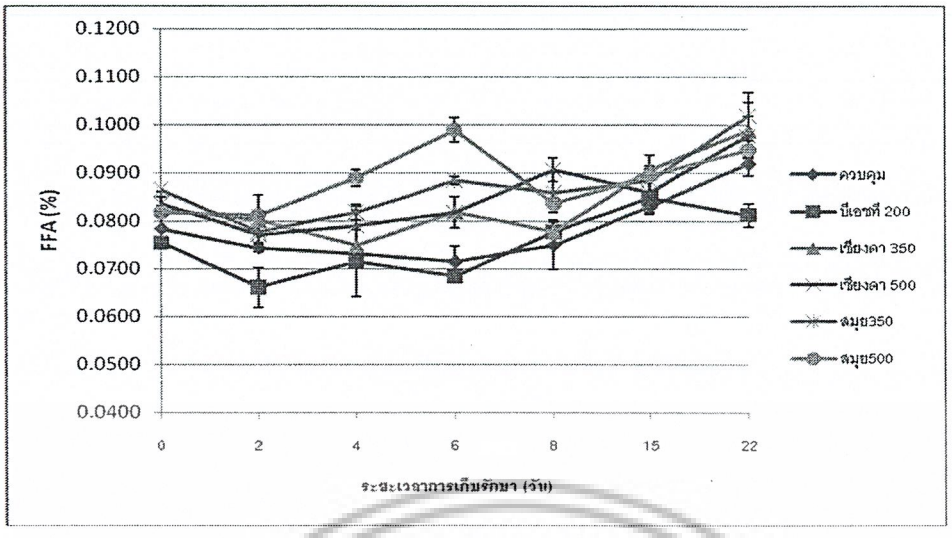
ภาพที่ 4.22 ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

จากภาพที่ 4.22 จะเห็นได้ชัดเจนว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีค่า p-AV ต่ำที่สุด แสดงว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเกิดสารอัลดีไฮด์ในน้ำมันปาล์มที่ผ่านความร้อนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ได้ดีที่สุด ซึ่งรองลงมาได้แก่ สารสกัดเซียงดา 500 พีพีเอ็ม, สารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม และสารสกัดเซียงดา 350 พีพีเอ็ม ตามลำดับ แม้ว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสารสกัดเซียงดา 500 พีพีเอ็ม จะมีค่า p-AV เท่ากับ 3.62 ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสารสกัดเซียงดา 350 พีพีเอ็ม (3.97) แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

5) FFA

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในวันที่ 0 ภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (ภาพที่ 4.23) พบว่า ตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า FFA เท่ากับ 0.0784 และ 0.0755 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะเดียวกันพบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีแนวโน้มของค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุมและน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า FFA อยู่ในช่วง 0.0819-0.0866 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชที่สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอาจเนื่องมาจาก สารสำคัญของพืชที่เติมลงในน้ำมันปาล์มอาจมีคุณสมบัติเป็นกรด จึงเป็นเหตุให้ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ภายหลังจากการเก็บรักษาตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มของค่า FFA เพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 22 มีค่า FFA เท่ากับ 0.0919 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.23) นอกจากนี้ พบว่า ในช่วง 15 วันแรกของการเก็บรักษา น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีแนวโน้มของค่า FFA ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม แต่หลังจากนั้น ค่า FAA ของน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีแนวโน้มต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า บีเอชทีมีประสิทธิภาพในการยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้หลังจากวันที่ 15 เป็นต้นไป ส่วนน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชพบว่าค่า FFA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน และพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบการยับยั้งการเกิด FFA ของสารสกัดพืชแต่ละชนิด ที่ความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม สารสกัดเชียงดาและสมุยมีค่า FFA ใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นในวันที่ 4-6 ที่น้ำมันที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า FFA สูงกว่าที่น้ำมันที่เติมสารสกัดเชียงดา ในขณะเดียวกันที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม สารสกัดสมุยและเชียงดาที่เติมลงในน้ำมันปาล์มมีแนวโน้มของค่า FFA ใกล้เคียงกัน ($P>0.05$) ตลอดระระเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นวันที่ 6 ที่สารสกัดสมุยมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ พบว่า การเพิ่มปริมาณสารสกัดจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า FFA ($p>0.05$)

จากภาพที่ 4.23 จะเห็นได้ว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีแนวโน้มของค่า FFA สูงกว่าสารสกัดเชียงดาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสกัดสมุยมีคุณสมบัติที่มีความเป็นกรดสูงกว่าสารสกัดเชียงดา แต่อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากพืชทั้งสองชนิดที่เติมในน้ำมันปาล์มส่งผลให้ค่า FFA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

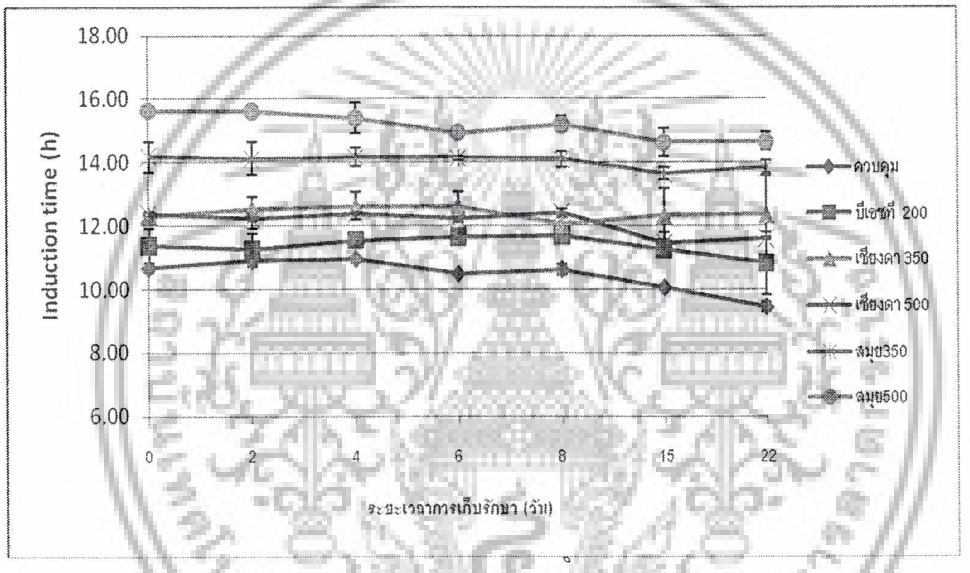
6) ค่าความคงตัว

ผลการวิเคราะห์ค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์มที่ผ่านความร้อน 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และเก็บรักษาเป็นเวลา 22 วัน พบว่า ในวันที่ 0 ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PV, TBARS และ p-AV คือ สารสกัดพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดออกซิเดชันภายใต้สภาวะที่เร่งด้วยความร้อนได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที โดยพบว่ามีค่า น้ำมันที่เติมสารสกัดจากพืชในวันที่ 0 มีค่า Induction time อยู่ในช่วง 12.31-15.63 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.24) ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ผลการทดลอง (ภาพที่ 4.24) ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 22 วัน พบว่า ค่า Induction time ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) โดยมีค่าลดลงจาก 10.66 ชั่วโมง เป็น 9.44 ชั่วโมง ในวันที่ 22 ของการเก็บรักษา โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม โดยมีค่า Induction time สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า Induction time เท่ากับ 10.81 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า Induction time สูงกว่าตัวอย่างควบคุมแต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.24 ค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของพืชแต่ละชนิด พบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าสารสกัดเชียงดาในทุกระดับความเข้มข้น ดังภาพที่ 4.24 โดยจะเห็นได้ว่า การเติมสารสกัดสมุยมีค่า Induction time ในระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าการเติมสารสกัดเชียงดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การเพิ่มความเข้มข้นสารสกัดพืชที่เติมในน้ำมันปาล์มจาก 350 เป็น 500 พีพีเอ็ม พบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Induction time ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา แต่พบว่า ในช่วงวันที่ 0-8 ของการเก็บรักษา ปริมาณสารสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Induction time ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีค่า Induction time สูงกว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม ($p<0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มสูงขึ้น น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยทั้งสองความเข้มข้นมีค่า Induction time ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่า Induction time ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชพบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุยความเข้มข้น 350 พีพีเอ็ม มีค่า Induction time คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$) ในขณะที่ น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุยความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ค่า Induction time มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบ ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า Induction time สูงที่สุด โดยมีค่า เท่ากับ 14.66 ชั่วโมง และยังพบว่า สารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม, สารสกัดเชียงดา 500 พีพีอ็ม สารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกวิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) โดยมีค่า Induction time สูงกว่าตัวอย่างควบคุม 1.31, 1.26 และ 1.47 เท่า ตามลำดับ

6) การเปลี่ยนแปลงค่าสี

จากการวัดสีของน้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 91.84±0.00 , -5.13±0.02 และ 55.04±0.18 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.22) และพบว่าการเติมบีเอชทีทำให้ค่าความสว่างและค่า b* มีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ในขณะที่ค่า a* ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อยแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับการเติมสารสกัดพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่า L*, a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งความแตกต่างอาจเกิดจากสารสกัดพืชที่เติมในน้ำมันปาล์มมีรงควัตถุหรือสารสีเป็นองค์ประกอบจึงทำให้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่าสีเปลี่ยนแปลงไป โดยการเติมสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็มทำให้ค่าความสว่างลดลงมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม, สารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม และสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม ส่วนค่า a* และ b* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช พบว่า มีค่า เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสอดคล้องกับการสังเกตุด้วยตาเปล่าที่ พบว่า สารสกัดเชียงดามีสีเขียวอมเหลืองคล้ำกว่าสารสกัดสมุยที่ระดับเดียวกัน และการเพิ่มปริมาณสารสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่าน้ำมันปาล์มจะมีสีเข้มขึ้น

ตารางที่ 4.22 พารามิเตอร์สีของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พารามิเตอร์ค่าสี		
		L*	a*	b*
ควบคุม	-	91.84±0.00 ^{e}	-5.13±0.02 ^{b}	55.04±0.18 ^{a}
บีเอชที	200	92.03±0.00 ^{e}	-5.43±0.06 ^{a}	54.43±0.30 ^{a}
เชียงดา	350	71.36±0.36 ^{b}	4.01±0.14 ^{e}	88.42±1.81 ^{b}
เชียงดา	500	65.13±0.25 ^{a}	7.27±0.05 ^{f}	91.97±0.49 ^{a}
สมุย	350	78.13±0.26 ^{d}	0.36±0.14 ^{c}	77.14±0.08 ^{d}
สมุย	500	72.66±0.15	3.56±0.17 ^{d}	81.81±0.06 ^{c}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสว่างของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 22 วัน (ตารางที่ 4.22) ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทุกตัวอย่างมีค่าความสว่างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.23 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
		0	6	15	33
ควบคุม	-	91.84±0.00 ^{eAB}	91.96±0.02 ^{eBC}	92.05±0.10 ^{dCD}	92.45±0.20 ^{eE}
บีเอชที	200	92.03±0.00 ^{eB}	92.05±0.01 ^{eB}	92.09±0.09 ^{dBC}	92.42±0.02 ^{eD}
เชียงดา	350	71.36±0.36 ^{bAB}	71.080±.30 ^{bAB}	71.32±0.09 ^{bAB}	72.06±0.08 ^{bB}
เชียงดา	500	65.13±0.25 ^{aA}	64.96±0.01 ^{aA}	64.81±1.03 ^{aA}	65.20±0.32 ^{aA}
สมุย	350	78.13±0.26 ^{dAB}	77.94±0.16 ^{dAB}	78.40±0.14 ^{cAB}	78.47±0.07 ^{dB}
สมุย	500	72.66±0.15 ^{cAB}	72.26±0.15 ^{cA}	72.36±0.48 ^{bAB}	72.85±0.19 ^{cB}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของน้ำมันปาล์มในระหว่างการเก็บรักษาภายหลังจากการให้ความร้อน พบว่า น้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอลทีและน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทุกตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.24 ค่า a* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
		0	6	15	22
ควบคุม	-	-5.13±0.02 ^{bBC}	-5.13±0.01 ^{bBC}	-5.10±0.04 ^{bCD}	-5.28±0.05 ^{bA}
บีเอชที	200	-5.43±0.06 $^{aA-C}$	-5.40±0.05 $^{aA-C}$	-5.36±0.04 ^{aBC}	-5.54±0.06 ^{aA}
เชียงดา	350	4.01±0.14 ^{eA}	4.14±0.14 ^{A}	4.19±0.14 ^{eA}	4.01±0.08 ^{eA}
เชียงดา	500	7.270±.05 ^{fA}	7.360±.01 ^{fAB}	7.50±0.09 ^{fB}	7.51±0.19 ^{fB}
สมุย	350	0.36±0.14 ^{cA}	0.36±0.08 ^{cA}	0.420±.12 ^{cA}	0.41±0.06 ^{cA}
สมุย	500	3.56±0.17 ^{dA}	3.69±0.16 ^{dA}	3.76±0.11 ^{dA}	3.65±0.08 ^{dA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ค่า b* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
		0	6	15	22
ควบคุม	-	55.04±0.18 ^{aA}	55.10±0.14 ^{aA}	55.18±0.13 ^{aA}	55.30±0.19 ^{aA}
บีเอชที	200	54.43±0.30 ^{aA}	54.470±.36 ^{aA}	54.50±0.22 ^{aA}	54.67±0.24 ^{aA}
เชียงดา	350	88.421±.81 ^{bA}	88.51±1.71 ^{bA}	88.91±1.45 ^{bA}	89.12±1.75 ^{bA}
เชียงดา	500	91.97±0.49 ^{aA}	92.01±0.41 ^{aA}	92.06±1.33 ^{aA}	91.95±0.24 ^{aA}
สมุย	350	77.14±0.08 ^{dAB}	77.07±0.16 ^{dA}	77.48±0.09 ^{dBC}	77.75±0.02 ^{dC}
สมุย	500	81.81±0.06 ^{cA}	81.830±.09 ^{cA}	82.11±0.56 ^{cA}	82.24±0.01 ^{cA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ส่วนค่า b* พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับค่า a* คือ ทุกตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา 22 วัน อย่างไรก็ตาม พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม ค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์มหลังจากให้ความร้อนและเก็บรักษาเป็นเวลา 22 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4.26 โดยค่า ΔE เป็นค่าที่คำนวณได้จากความแตกต่างของค่าสี *L**, *a** และ *b** ซึ่งหากค่า ΔE มีค่าสูง แสดงว่า ตัวอย่างน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างเก็บรักษามาก จากการทดลอง พบว่า น้ำมันปาล์มตัวอย่างควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในทุกตัวอย่างการทดลอง โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาค่า ΔE มีค่าอยู่ในช่วง 0.55-1.01 แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่า ΔE ของแต่ละตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดจากพืชที่เติมในน้ำมันปาล์มภายหลังจากการให้ความร้อน 180 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 22 วัน พบว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD, PV, TBARS, p-AV และ ค่าความคงตัว สารสกัดจากพืชมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมทั้ง 5 วิธีการทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดพืชแต่ละทรีตเมนต์พบว่า สารสกัดพืชมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ TBARS อย่างไรก็ตาม พบว่าสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม ยับยั้งการเกิดออกซิสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ สกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี p-AV และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี PV และ ค่าความคงตัว ส่วนสารสกัดเชียงดาพบว่ามีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่าสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีทั้ง 2 สภาวะการทดสอบ ส่วนสารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม และสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม และสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสถียรของน้ำมันทอดซ้ำในการทดลองถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าสีวันที่ 0			ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
		L*	a*	b*	2	4	6	8	15	22
ควบคุม	-	91.84±0.00	-5.13±0.02	55.04±0.18	0.41±0.05 ^{BC}	0.47±0.03 ^{CD}	0.14±0.03 ^{A}	0.20±0.07 ^{AB}	0.26±0.03 $^{A-C}$	0.68±0.13 ^{D}
บีเอชที	200	92.03±0.00	-5.43±0.06	54.43±0.30	0.28±0.10 ^{BC}	0.40±0.01 ^{CB}	0.06±0.02 ^{A}	0.29±0.00 ^{BC}	0.14±0.01 ^{AB}	0.47±0.04 ^{D}
เชียงดา	350	71.36±0.36	4.01±0.14	88.42±1.81	0.32±0.10 ^{A}	0.67±0.14 ^{AB}	0.34±0.02 ^{A}	0.58±0.08 ^{AB}	0.59±0.20 ^{AB}	1.01±0.17 ^{B}
เชียงดา	500	65.13±0.25	7.27±0.05	91.97±0.49	0.30±0.06 ^{A}	0.84±0.01 ^{B}	0.30±0.14 ^{AB}	0.60±0.27 ^{AB}	0.89±0.15 ^{B}	0.55±0.03 ^{AB}
สมุย	350	78.13±0.26	0.36±0.14	77.14±0.08	0.09±0.04 ^{A}	0.49±0.07 ^{BC}	0.23±0.04 ^{AB}	0.29±0.08 ^{AB}	0.44±0.05 ^{BC}	0.70±0.13 ^{C}
สมุย	500	72.66±0.15	3.56±0.17	81.81±0.06	0.20±0.00 ^{A}	0.46±0.06 ^{BC}	0.42±0.00 ^{B}	0.40±0.09 ^{B}	0.63±0.07 ^{C}	0.48±0.01 ^{BC}

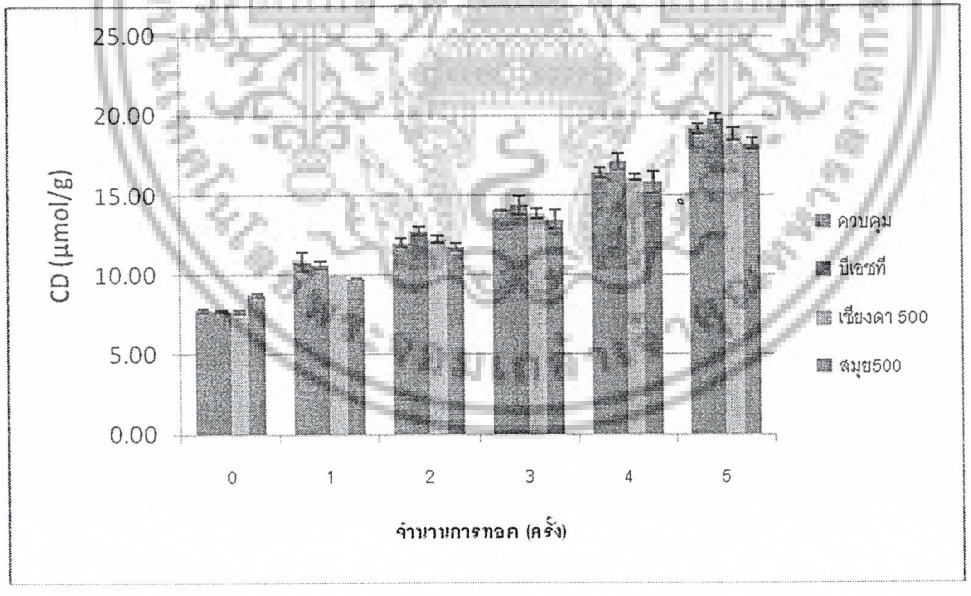
หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C ตามแนวนอนในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

4.3 ผลการศึกษาความเสถียรของน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่เติมสารสกัดจากพืชที่คัดเลือก

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า สารสกัดเชียงดาและสมุย ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็มมีศักยภาพเป็นแหล่งสารกันหืนในน้ำมันปาล์มได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเสถียรของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุย โดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันจนถึง 180 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการทอดข้าวเกรียบกุ้ง และเก็บตัวอย่างน้ำมันไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้วยวิธี CD, TBARS, FFA, PV และ *p*-AV น้ำมันที่เหลือทิ้งไว้ให้เย็น บรรจุลงภาชนะ และทำการทดลองความเสถียรของน้ำมันด้วยวิธีเดียวกันนี้เป็นเวลาติดต่อกัน 5 วัน สำหรับตัวอย่างข้าวเกรียบธัญพืชที่ได้จากการทอดในวันที่ 1, 3 และ 5 นำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-points Hedonic scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ในด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม เป็นต้น โดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับน้ำมันปาล์มที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากพืช และตัวอย่างที่เติมบีเอชที 200 พีพีเอ็ม

4.3.1 CD

ผลการวิเคราะห์คอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี CD พบว่า น้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช มีค่า CD เริ่มต้นก่อนการทอดข้าวเกรียบกุ้งใกล้เคียงกัน โดยมีค่า CD เท่ากับ 7.79-8.74 ไมโครโมลาร์ต่อกรัม



ภาพที่ 4.25 ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

เมื่อนำน้ำมันมาทำการทอดข้าวเกรียบกุ้ง พบว่า ค่า CD ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งค่า CD จะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนครั้งของการทอด โดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะทำให้เกิดออกซิเดชันได้ เนื่องจากความชื้นและออกซิเจนเคลื่อนที่ออกมาจากอาหารระหว่างการทอด (วิไล, 2547) จากผลการทดลอง พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า CD เพิ่มขึ้นจาก 7.79 เป็น 19.17 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัมในการทอดครั้งที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับ Che Men และ Jaswir (2000) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานว่า น้ำมันปาล์มควบคุมที่นำมาใช้ในการทอดมันฝรั่งแผ่นบาง ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 232 นาโนเมตร ของน้ำมันที่ใช้ทอดมันฝรั่งจะมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทำการทอด ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในระหว่างการทอดข้าวเกรียบกุ้งได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การทอดโดยใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้บีเอชทีเกิดการสลายตัวโดยการระเหย (ศิวาพร, 2546) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันลดลง

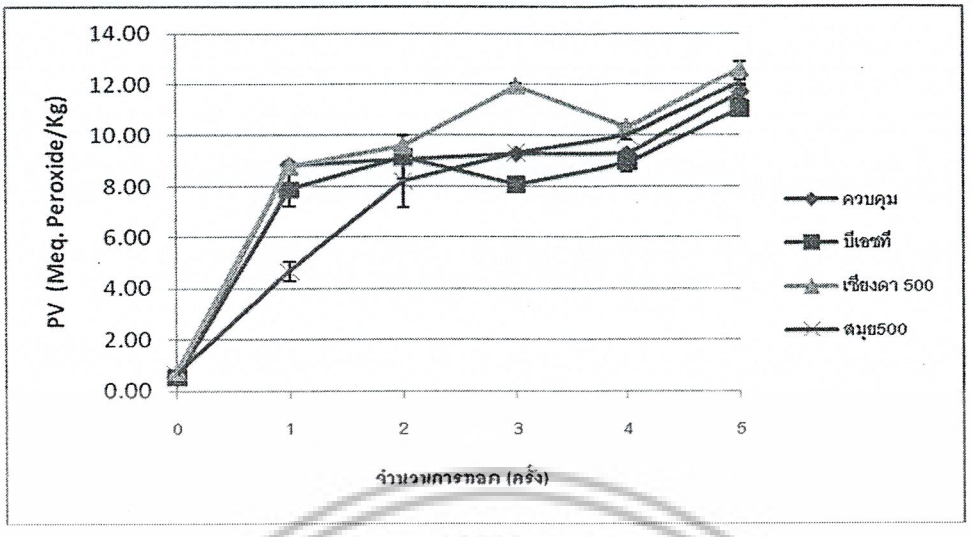
จากภาพที่ 4.25 พบว่าภายหลังจากการทอด ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตามจำนวนครั้งของการทอดเช่นเดียวกับตัวอย่างควบคุม และจะเห็นได้ว่าสารสกัดเชียงดาและสมุยส่งผลให้ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม โดยหลังจากการทอดครั้งที่ 5 น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุย มีค่า CD เท่ากับ 18.83 และ 18.21 ไมโครโมลลาร์ต่อกรัม แสดงให้เห็นว่า สารสำคัญที่พบในเชียงดาและสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในระหว่างการทอดข้าวเกรียบกุ้ง ซึ่งสอดคล้องกับ Che Men และ Jaswir (2000) ที่รายงานว่า ค่า CD ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเสจและโรสแมรี่ที่ใช้ในการทอดมันฝรั่งแผ่นบางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่าการเพิ่มขึ้นของค่า CD ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมตลอดระยะเวลาในการทอด 6 วัน อย่างไรก็ตาม น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า CD ต่ำสุดเมื่อผ่านการทอดครั้งที่ 1-5 แม้ว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดาและสมุย มีค่า CD ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมแต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

4.3.2 PV

ผลการวิเคราะห์ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี PV พบว่า ค่า PV เริ่มต้นก่อนการทอดข้าวเกรียบกุ้ง ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับวิธี CD คือ ค่า PV ตัวอย่างน้ำมันทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า PV อยู่ในช่วง 0.48-0.76 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.26)

จากภาพที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า หลังจากทำการทอดครั้งที่ 1 ค่า PV ของน้ำมันปาล์มควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่า PV เพิ่มขึ้นจาก 0.48 เป็น 8.83 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ต่อกิโลกรัม และตัวอย่างควบคุมมีค่าคงที่หลังจากการทอดครั้งที่ 1-4 ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นสารที่ไม่คงตัวจึงเกิดปฏิกิริยาต่อไป โดยการสลายตัวหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ (นิธิยา, 2548) ซึ่งในระหว่างการทอดด้วยความร้อนอาจทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ขึ้นอย่างรวดเร็วและในขณะเดียวกันไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เกิดสมดุลของปฏิกิริยาขึ้น จึงทำให้ค่า PV ของตัวอย่างควบคุมมีค่าคงที่หลังจากการทอดครั้งที่ 1-4 ส่วนการทอดครั้งที่ 5 พบว่า มีค่า PV เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีแนวโน้มของค่า PV ต่ำกว่าแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.26 ค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 4.26) จะเห็นได้ว่า ค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช ค่า PV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามจำนวนครั้งของการทอด โดยการเพิ่มขึ้นของค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีแนวโน้มต่ำกว่าสารสกัดเชียงดาตลอดระยะเวลาการทอดทั้ง 5 ครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม ในการทอดครั้งที่ 4 และ 5 ค่า PV ของน้ำมันที่เติมสารสกัดทั้งสองชนิดมีค่า PV ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

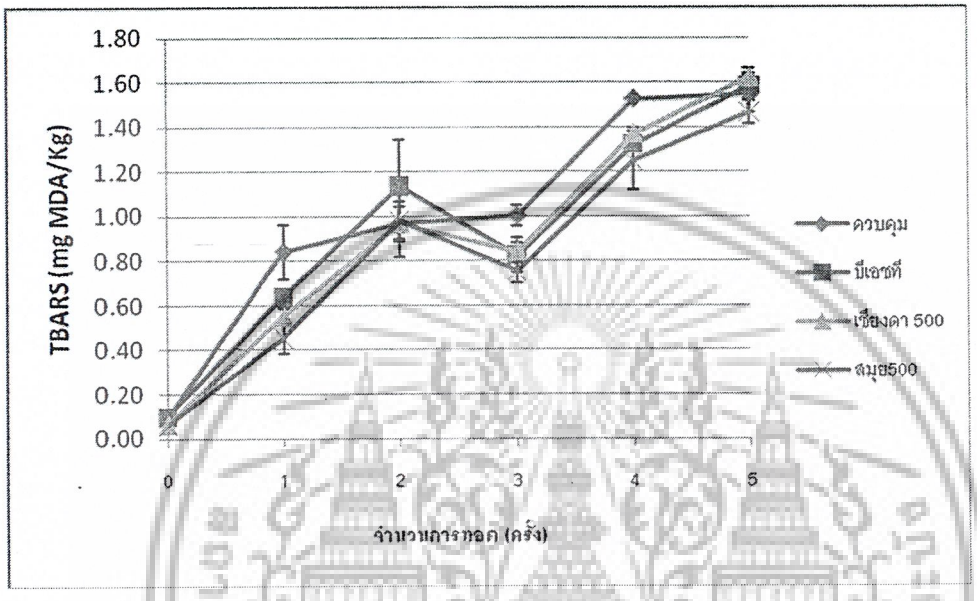
จากตารางที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า ค่า PV ภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้งครั้งที่ 1 ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุย มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อจำนวนครั้งในการทอดข้าวเกรียบกุ้งเพิ่มขึ้นค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดสมุยที่เติมในน้ำมันปาล์มมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในการทอดครั้งที่ 1 ได้ดี ในขณะเดียวกันค่า PV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดามีแนวโน้มใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมตลอดการทอดครั้งที่ 1-5 จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD คือ การวิเคราะห์ด้วยวิธี CD มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาที่ใช้ทอด ความแตกต่างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจาก ความแตกต่างของวิธีการวิเคราะห์ โดยวิธี CD เป็นการวัดคอนจูเกตไดอีนที่มีลักษณะเป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ ส่วนวิธี PV เป็นการหาปริมาณไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เหมาะสำหรับการประเมินคุณภาพของน้ำมันทอดซ้ำ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่เสถียรต่ออุณหภูมิที่ใช้ทอด (Warner ,2007) ซึ่งจะสลายตัวอย่างรวดเร็วไปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชัน

4.3.3 TBARS

ผลการวิเคราะห์ค่า TBARS ซึ่งเป็นวิธีที่วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชัน โดย ค่า TBARS เริ่มต้นก่อนการทอดของน้ำมันปาล์มที่ทำการทดสอบทุกตัวอย่างมีค่า TBARS อยู่ในช่วง 0.06-0.10 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.27)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้งครั้งที่ 1 พบว่า ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มของค่า TBARS เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและค่า TBARS เพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งของการทอด (ภาพที่ 4.27) โดย ครั้งสุดท้ายที่ทำการทอด ตัวอย่างควบคุมมีค่า TBARS เท่ากับ 1.55 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ในขณะที่น้ำมันที่เติมบีเอชทีมีค่า TBARS เท่ากับ 1.58 มิลลิกรัมมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี CD และ PV



ภาพที่ 4.27 ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

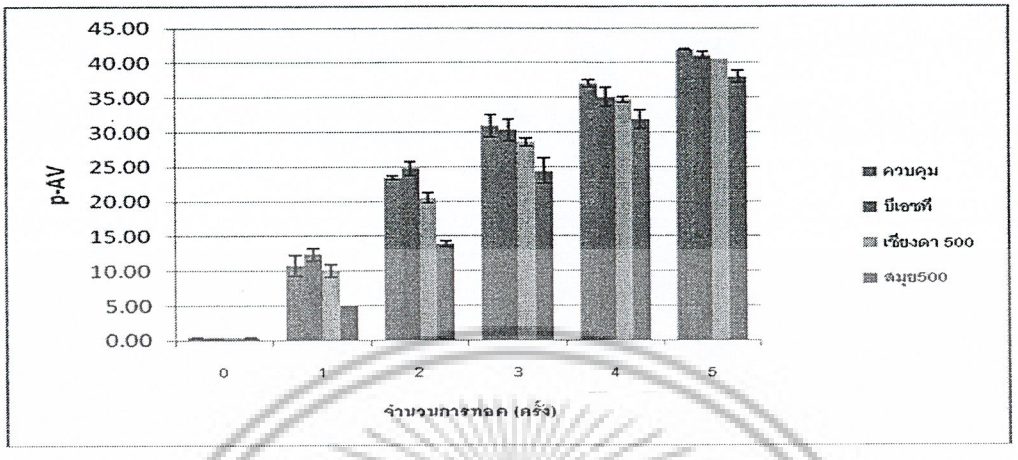
ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากเชียงดาและสมุย พบว่าภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้งทั้ง 5 ครั้ง ค่า TBARS ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีแนวโน้มต่ำกว่าสารสกัดเชียงดาแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ภายหลังจากการทอดใน 4 ครั้งแรก น้ำมันปาล์มที่เติมสารกัดพืชทั้งสองชนิดส่งผลให้ค่า TBARS มีแนวโน้มต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) แต่ภายหลังจากการทอดครั้งที่ 5 พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมเติมสารกัดพืชทั้งสองชนิดมีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดการหืนด้วยวิธี TBARS ได้ดีในช่วง 4 วันแรกของการทอด ซึ่งผลการทดลองนี้ต่างจากวิธี CD และ PV ทั้งนี้อาจเนื่องจากวิธี CD และ PV เป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชัน ส่วนวิธี TBARS เป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชัน

4.3.4 p-AV

ค่า p-AV เริ่มต้นของน้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที สารสกัดสมุย และสารสกัดเชียงดา มีค่าเท่ากับ 0.39, 0.39, 0.44 และ 0.35 ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบเป็นจำนวน 5 ครั้ง พบว่า ค่า p-AV ของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามจำนวนครั้งของการทอด โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำมันปาล์มทั้งสองตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งในการทอดครั้งที่ 5 ของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีเอชที มีค่า p-AV เท่ากับ 41.95 และ 41.11 ตามลำดับ และพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



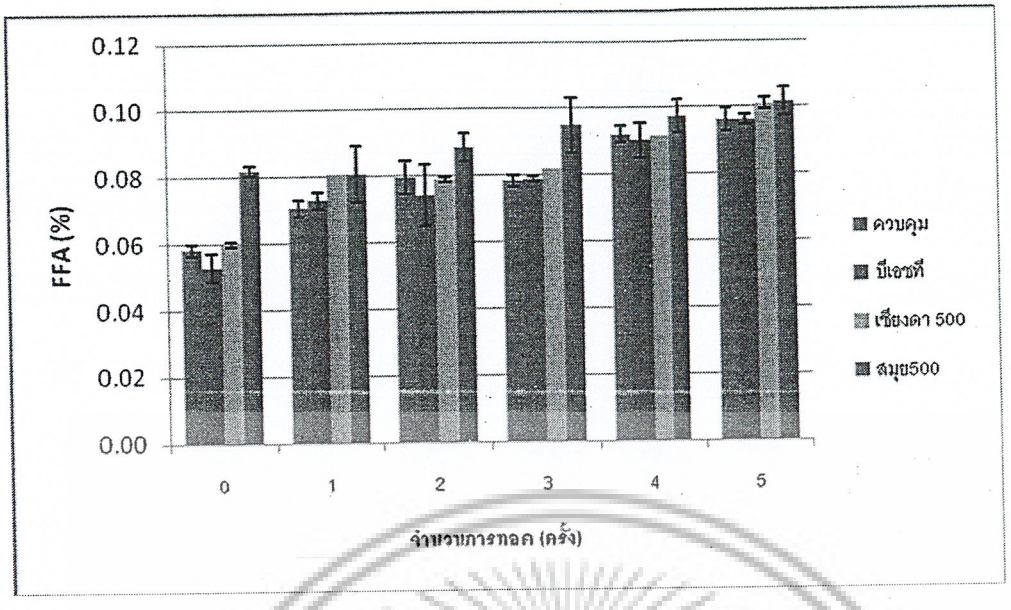
ภาพที่ 4.28 ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

จากภาพที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าสารสกัดสมุยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดการหืนได้ดี โดยพบว่า ภายหลังจากการทอดทั้ง 5 ครั้ง น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า p-AV ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมบีเอชที และตัวอย่างที่เติมสารสกัดเชียงดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Nor และคณะ (2008) ที่รายงานว่า ค่า p-AV ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดใบเตย 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ในการทอดมันฝรั่งมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมตลอดระยะเวลาในการทอด 5 วัน และต่อมา Nor และคณะ (2009) ได้พบว่า สกัดใบขมิ้น 2 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดการหืนของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดมันฝรั่งได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี p-AV อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้สารสกัดเชียงดาที่เติมในน้ำมันปาล์มมีค่า p-AV ต่ำกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม

4.3.5 FFA

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ พบว่า ค่า FFA เริ่มต้นก่อนการทอดข้าวเกรียบกุ้งของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืชมีค่า FFA สูงกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมบีเอชที อาจเนื่องจากสารสำคัญที่พบในพืชอาจมีคุณสมบัติเป็นกรด เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า FFA จึงสูงกว่าตัวอย่างควบคุม โดยวิธีการวิเคราะห์ FFA ไม่ได้เป็นการไตเตรทเฉพาะเจาะจงต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอลเท่านั้น แต่เป็นการไตเตรทหาปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำมัน ซึ่งรวมทั้ง acids leached ที่เกิดจากการฟอกสี, สารต้านการหืนที่มีคุณสมบัติเป็นกรด และวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดต่างๆ ดังที่กล่าวไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

ภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้งตัวอย่างน้ำมันควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่า FFA เพิ่มสูงขึ้น โดย หลังการทอดครั้งที่ 5 น้ำมันควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า FFA อาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เร่งโดยความร้อนที่ใช้ทอดและปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหาร ดังนั้น ภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้งน้ำมันควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่า FFA เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Che Men และ Jaswir (2000) ที่รายงานว่า ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มภายหลังการทอดมันฝรั่ง พบว่า มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างจากน้ำมันปาล์มก่อนทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืช พบว่า ภายหลังจากการทอดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยการเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้ นอกจากกรดไขมันจะเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วยังอาจเกิดจากสารประกอบที่พบในสารสกัดพืช จึงทำให้ค่า FFA ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม

4.3.6 ค่าความคงตัว

ผลการวิเคราะห์ค่าความคงตัวของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืช (ตารางที่ 4.27) พบว่าก่อนการทอดข้าวเกรียบกุ้ง ค่า Induction time ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดา บีเอชที และตัวอย่างควบคุม โดยมีค่า Induction time เท่ากับ 16.65, 14.88, 13.18 และ 12.99 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 ค่าความคงตัว (Induction time, h) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	จำนวนการทอด (ครั้ง)		
		0	1	5
ควบคุม	-	12.99±0.03 ^{cA}	10.15±0.23 ^{dB}	2.08±0.08 ^{cC}
บีเอชที	200	13.18±0.51 ^{cA}	10.69±0.09 ^{cB}	3.27±0.29 ^{bC}
เชียงดา	500	14.88±0.04 ^{bA}	11.43±0.08 ^{bB}	2.40±0.01 ^{cC}
สมุย	500	16.65±0.09 ^{aA}	15.14±0.04 ^{aB}	4.99±0.41 ^{aC}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.27 ภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้ง 1 ครั้ง ตัวอย่างควบคุมมีค่า Induction time ลดลง และค่า Induction time ลดลงอย่างมากในการทอดครั้งที่ 5 โดยมีค่า Induction time เท่ากับ 2.08 ชั่วโมง สำหรับน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที แม้ว่าค่า Induction time เริ่มต้น จะไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม แต่ภายหลังจากการทอด พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่า Induction time สูงกว่าตัวอย่างควบคุม โดย หลังจากการทอดครั้งที่ 5 มีค่า Induction time เท่ากับ 3.27 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า บีเอชทีมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดการหืนในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดข้าวเกรียบเมื่อวิเคราะห์ความคงตัวด้วยเครื่อง Rancimat

เมื่อเปรียบเทียบค่าความคงตัวของสารสกัดเชียงดาและสมุยที่เติมในน้ำมันที่ใช้ทอดข้าวเกรียบกุ้ง พบว่า ค่า Induction time ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีค่าลดลงตามจำนวนครั้งของการทอดเช่นเดียวกัน และจากตารางที่ 4.27 จะเห็นได้ว่า ภายหลังจากการทอดสารสกัดสมุยที่เติมลงในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดส่งผลให้มีค่า Induction time สูงกว่าสารสกัดเชียงดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยมีค่า Induction time สูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Nor และคณะ (2008) ที่รายงานว่าภายหลังจากการทอดมันฝรั่ง น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากใบเตยมีค่าความคงตัวสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากการทอดครั้งที่ 1 น้ำมันที่เติมสารสกัดเชียงดามีค่า Induction time สูงกว่าตัวอย่างควบคุม แต่หลังจากการทอดครั้งที่ 5 พบว่าค่า Induction time ของน้ำมันที่เติมสารสกัดเชียงดามีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงในระหว่างการทอดมีผลทำให้สารสำคัญที่พบในเชียงดาระเหยกลายเป็นไอจึงทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนลดลง

4.3.7 การเปลี่ยนแปลงค่าสี

จากการวัดสีของน้ำมันปาล์มควบคุม น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชที และน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชก่อนการทอดข้าวเกรียบกุ้ง พบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 95.43±0.08, -8.43±0.01 และ 45.68±0.03 ตามลำดับ และในขณะเดียวกัน พบว่า น้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีมีค่าไม่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่าง ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม ส่วนน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากเชียงดาและสมุยมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยค่าความสว่างของน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีค่าลดลง ในขณะที่ค่า a* และ b* เพิ่มขึ้น ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว คือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจเกิดจาก รงควัตถุหรือสารสี (pigments) ที่มีอยู่ในพืช ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการสกัดรงควัตถุหรือสารสีที่อยู่ในพืชออกจึงทำให้ค่า L*, a* และ b* เปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4.28 พารามิเตอร์สีของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชก่อนการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พารามิเตอร์ค่าสี		
		L*	a*	b*
ควบคุม	-	95.43±0.08 ^{c}	-8.43±0.01 ^{a}	45.68±0.03 ^{a}
บีเอชที	200	95.40±0.02 ^{c}	-8.44±0.01 ^{a}	45.65±0.01 ^{a}
เชียงดา	500	65.77±0.45 ^{a}	-2.29±0.17 ^{b}	103.09±0.43 ^{c}
สมุย	500	75.73±0.27 ^{b}	-2.34±0.03 ^{b}	97.05±0.05 ^{b}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภายหลังจากการทอดเป็นจำนวน 5 ครั้ง พบว่า ค่าความสว่างของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าลดลง โดยในวันที่ 5 มีค่าความสว่างเท่ากับ 92.86±0.16 และ 92.73±0.07 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าความสว่างเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้เกิดสารสระเหยประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโต และกรดอีพอกซี ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นเหม็น (วิไล, 2547) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ ฉัตรลดา (2552) ที่รายงานว่า ค่าความสว่างของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทอดมันเทศทั้งในสภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ จุติญาณี (2553) ที่รายงานว่าค่าความความสว่างของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่ใช้ในการทอดมันฝรั่งมีค่าลดลงเมื่อระระเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น และการทอดที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าความสว่างลดลงมากกว่าการทอดในอุณหภูมิต่ำ ในส่วนของสารสกัดเชียงดา พบว่า ภายหลังจากการทอด 5 ครั้งค่าความสว่างเท่ากับ 75.25 ซึ่งสูงกว่าค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากการสายตัวของอาจเนื่องจากสีเขียวของคลรอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบในพืชอาจเปลี่ยนไปอยู่ในรูปฟีโอไฟทิน (pheophytin) ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่าที่พบว่า สีเขียวที่เกิดจากการเติมสารสกัดพืชลงในน้ำมันจะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาที่ใช้ทอด แต่ในขณะเดียวกัน พบว่า น้ำมันที่เติมสารสกัดสมุยภายหลังจากการทอดครั้งที่ 1 ค่าความสว่างของน้ำมันมีค่าลดต่ำลงจากค่าเริ่มต้นแต่ภายหลังจากการเป็นจำนวน 5 ครั้งค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการทอดครั้งแรกเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้เกิดสารสระเหยประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโต และกรดอีพอกซี ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำ แต่แต่ภายหลังจากการเป็นจำนวน รงควัตถุหรือสารสีอาจเกิดการสลายตัวในระหว่างการทอดทำให้ค่าความสว่างของน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	จำนวนการทอด (ครั้ง)		
		0	1	5
ควบคุม	-	95.43±0.08 ^{cB}	92.94±0.05 ^{cA}	92.86±0.16 ^{cA}
บีเอชที	200	95.40±0.02 ^{cC}	93.22±0. 05 ^{cB}	92.73±0.07 ^{cA}
เชียงดา	500	65.77±0.45 ^{aA}	65.99±0.02 ^{aA}	75.25±0.39 ^{bB}
สมุย	500	75.73±0.27 ^{bC}	71.26±0.34 ^{bA}	72.68±0.25 ^{aB}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าค่า a* ของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีหลังจากทำการทอดข้าวเกรียบกุ้งครบ 5 ครั้ง พบว่า ค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ จุติญาณี (2553) ที่รายงานว่า ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวจากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อทอดครบ 5 วัน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าสีแดงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวก่อนทอด สำหรับน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่า a* แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดเชียงดาหลังจากการทอดครั้งที่ 1 มีค่า a* เพิ่มขึ้นจากน้ำมันเริ่มต้นแต่หลังจากการทอดครบ 5 ครั้งพบว่า ค่า a* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่น้ำมันที่เติมสารสกัดสมุยค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ทอด การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น อาจมาจากการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทอดของสารสีจากพืชที่เติมลงในน้ำมัน

ตารางที่ 4.30 ค่า a* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	จำนวนการทอด (ครั้ง)		
		0	1	5
ควบคุม	-	-8.43±0.01 ^{aA}	-5.44±0.11 ^{bB}	-5.65±0.16 ^{aB}
บีเอชที	200	-8.44±0.01 ^{aA}	-5.82±0.16 ^{aB}	-5.32±0.21 ^{aC}
เชียงดา	500	-2.29±0.17 ^{bA}	3.87±0.01 ^{dC}	1.01±0.43 ^{bB}
สมุย	500	-2.34±0.03 ^{bA}	2.56±0.16 ^{cB}	6.57±0.19 ^{cC}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 ค่า b* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชภายหลังการทอดข้าวเกรียบกุ้ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	จำนวนการทอด (ครั้ง)		
		0	1	5
ควบคุม	-	45.68±0.03 ^{aA}	55.08±1.09 ^{aB}	59.65±1.04 ^{aC}
บีเอชที	200	45.65±0.01 ^{aA}	54.31±0.36 ^{aB}	60.27±0.64 ^{aC}
เชียงดา	500	103.09±0.43 ^{cC}	94.71±0.16 ^{cB}	63.89±0.28 ^{bA}
สมุย	500	97.05±0.05 ^{bC}	83.77±1.10 ^{bB}	75.81±0.13 ^{cA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ส่วนค่า b* ของน้ำมันภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้งเป็นจำนวน 5 ครั้ง พบว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที ให้ผลเช่นเดียวกับค่า a* คือ ค่า b* เพิ่มสูงขึ้นจากค่าเริ่มต้นภายหลังจากการทอด ในขณะที่น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีค่า b* ลดลงเมื่อระยะเวลาในการทอดมากขึ้น

ตารางที่ 4.32 ค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืช เมื่อใช้ในการทอดข้าวเกรียบกุ้งซ้ำ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าสีเริ่มต้น			จำนวนการทอด (ครั้ง)	
		L*	a*	b*	1	5
ควบคุม	-	95.43±0.08	-8.43±0.01	45.68±0.03	10.19±1.00	14.48±1.02
บีเอชที	200	95.40±0.02	-8.44±0.01	45.65±0.01	9.31±0.40	15.19±0.68
เชียงดา	500	65.77±0.45	-2.29±0.17	103.09±0.43	10.41±0.57	40.47±0.00
สมุย	500	75.73±0.27	-2.34±0.03	97.05±0.05	14.85±1.06	23.24±0.20

จากตารางที่ พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า (ΔE) ของน้ำมันปาล์มควบคุม และน้ำมันปาล์มที่เติมบีเอชทีภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทอด โดยการเพิ่มขึ้นของค่า ΔE ของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ค่า ΔE ของน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชภายหลังจากการทอดข้าวเกรียบกุ้งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมาก โดยการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ของสารสกัดเชียงดามีค่าสูงกว่าสารสกัดสมุย ทั้งนี้อาจเกิดจากสารสีซึ่งเป็นองค์ประกอบของพืชเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของสีที่แตกต่างกันจึงทำให้ค่า ΔE แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้ง

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากพืชเปรียบเทียบกับการทอดโดยใช้น้ำมันควบคุมและน้ำมันที่เติมบีเอชที พบว่า ข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยน้ำมันที่ให้ความร้อนครั้งแรก (ตารางที่ 4.33) ค่าสีของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยน้ำมันควบคุม น้ำมันที่เติมบีเอชที และน้ำมันที่เติมสารสกัดจากพืชทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 4.60-4.90 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่า สีของสารสกัดพืชที่ทำให้ค่าสีของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่นำมาทอด นอกจากนี้ยัง พบว่า การเติมสารสกัดพืชไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรสชาติข้าวเกรียบ โดย คะแนนเฉลี่ยของรสชาติข้าวเกรียบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

เมื่อพิจารณาในด้านกลิ่นข้าวเกรียบ กลิ่นหืนข้าวเกรียบ กลิ่นน้ำมัน และความชอบโดยรวม พบว่า ข้าวเกรียบที่ทอดโดยน้ำมันที่เติมสารสกัดสมุยมีค่าเท่ากับ 3.68±1.50, 3.77±1.69, 3.82±1.69 และ 4.15±1.27 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สมุยเป็นพืชที่มีกลิ่นเฉพาะที่ค่อนข้างฉุน และนราพร (2552) ยังพบว่า สารสกัดสมุยมีน้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในน้ำมันหอมระเหยประกอบด้วยสารยูจีนอล และเจิรานิออล จึงอาจส่งผลให้น้ำมันมีกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และนอกจากนี้กลิ่นของสารสกัดสมุยออาจมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่นำมาทอดมีกลิ่นเปลี่ยนแปลงทำให้ผู้ที่ทำการทดสอบให้คะแนนการยอบรับของกลิ่นข้าวเกรียบ กลิ่นหืนข้าวเกรียบ และกลิ่นน้ำมันลดลง ดังนั้น จึงเป็นเหตุให้คะแนนของความชอบโดยรวม ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ ด้วย ในขณะที่การเติมสารสกัดเชียงดาลงในน้ำมันปาล์มผู้วิจัยได้ทดสอบโดยการดมกลิ่นพบว่า มีกลิ่นแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมแต่ไม่ฉุนเท่าน้ำมันที่เติมสารสกัดสมุย ด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้คะแนนด้านกลิ่นข้าวเกรียบ กลิ่นหืนข้าวเกรียบ กลิ่นน้ำมัน และความชอบโดยรวมมีค่าต่ำกว่าแต่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าหลังจากการทอดครั้งที่ 3 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งในเรื่องของสีและรสชาติมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ในทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทอดครั้งที่ 1 และเมื่อพิจารณาในด้านกลิ่นข้าวเกรียบพบว่าข้าวเกรียบที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีคะแนนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากข้าวเกรียบดูดซับกลิ่นเฉพาะของพืชที่อยู่ในน้ำมันก่อให้เกิดกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปของข้าวเกรียบกุ้ง สำหรับกลิ่นน้ำมันพบว่าคล้ายคลึงกับการทดสอบกลิ่นข้าวเกรียบ คือข้าวเกรียบที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทั้งสองชนิดมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แต่ข้าวเกรียบที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเชียงดามีค่าต่ำกว่าแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าคะแนนด้านกลิ่นหืนของข้าวเกรียบ พบว่า ในทุกตัวอย่างที่ทดสอบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

แม้ว่าข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากพืชจะมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสบางอย่างต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แต่เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และยังพบว่า คะแนนจากการทดสอบสูงกว่า 3.5 แสดงว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับตัวอย่างข้าวเกรียบที่ทอดโดยใช้น้ำมันที่เติมสารสกัดพืช

จากตารางที่ 4.35 พบว่า ผู้ทอสอบชิมให้การยอมรับข้าวเกรียบที่ทอดโดยน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทั้งสองตัวอย่างในทุกๆด้านของการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีคะแนนการยอมรับสูงกว่า 3.5 ในทุกๆด้าน รวมทั้งมีคะแนนไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจาก ความแรงของกลิ่นจากสารสกัดพืชอาจลดลงเมื่อได้รับความร้อน แสง อากาศ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น (นิธิยา, 2549) ประกอบกับที่น้ำมันเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดการออกซิชัน ของไขมันทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น อัลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งเกิดขึ้นในทุกตัวอย่างที่ทำการ ทดสอบ เมื่อพิจารณาค่าการวิเคราะห์ทางเคมีร่วมด้วยพบว่า สารสกัดจากสมุยมีแนวโน้มในการยับยั้งการ เกิดกลิ่นหืนได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดโดยน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดสมุยไม่พบ ความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดโดยน้ำมันปาล์มตัวอย่างอื่นๆ ในการทอดครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดจากพืช (การทอดครั้งที่1)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส					
		สี	(กลิ่นข้าวเกรียบ)	กลิ่นหืนข้าวเกรียบ	กลิ่นน้ำมัน	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ควบคุม	-	4.6±1.17 [a]	4.6±1.21 [a]	4.62±1.67 [a]	4.42±1.53 [ab]	4.78±1.3 [a]	4.8±1.25 [a]
บีเอชที	200	4.9±1.3 [a]	4.67±1.26 [a]	4.7±1.54 [a]	4.52±1.59 [a]	4.65±1.42 [a]	4.8±1.34 [a]
เชียงดา	500	4.83±1.15 [a]	4.45±1.27 [a]	4.52±1.62 [a]	4.35±1.62 [ab]	4.65±1.3 [a]	4.7±1.17 [a]
สมุย	500	4.72±1.14 [a]	3.68±1.5 [b]	3.77±1.69 [b]	3.82±1.69 [b]	4.28±1.45 [a]	4.15±1.27 [b]

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.34 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช (การทอดครั้งที่3)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส					
		สี	กลิ่นข้าวเกรียบ	กลิ่นหืนข้าวเกรียบ	กลิ่นน้ำมัน	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ควบคุม	-	4.85±1.18 [a]	4.43±1.38 [a]	4.15±1.57 [a]	4.28±1.55 [a]	4.47±1.36 [a]	4.4±1.46 [a]
บีเอชที	200	4.7±1.51 [a]	4.45±1.03 [a]	4.48±1.42 [a]	4.45±1.55 [ab]	4.72±1.49 [a]	4.78±1.14 [a]
เชียงดา	500	4.6±1.48 [a]	3.98±1.17 [b]	4.25±1.5 [a]	4.13±1.37 [ab]	4.52±1.32 [a]	4.47±1.17 [a]
สมุย	500	4.58±1.23 [a]	3.92±1.49 [b]	4.12±1.77 [a]	3.81±1.59 [b]	4.6±1.38 [a]	4.33±1.3 [a]

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.35 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืช (การทอดครั้งที่ 5)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส					
		สี	(กลิ่น(ข้าวเกรียบ)	กลิ่นหืนข้าวเกรียบ	กลิ่นน้ำมัน	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ควบคุม	-	4.77±1.17 [a]	4.43±1.58 [a]	4.7±1.72 [a]	4.8±1.63 [a]	4.7±1.2 [a]	4.57±1.05 [a]
บีเอชที	200	4.87±1.23 [a]	4.38±1.17 [a]	4.8±1.5 [a]	4.78±1.58 [a]	4.85±1.3 [a]	4.73±1.18 [a]
เชียงดา	500	4.65±1.4 [a]	4.32±1.37 [a]	4.65±1.73 [a]	4.52±1.8 [a]	4.7±1.29 [a]	4.4±1.14 [a]
สมุย	500	4.87±1.19 [a]	4.32±1.55 [a]	4.55±1.85 [a]	4.45±1.93 [a]	4.72±1.61 [a]	4.63±1.43 [a]

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ตามแนวคอลัมน์ในกลุ่มเดียวกันที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

สารสกัดพืชแต่ละชนิดมีศักยภาพแตกต่างกันในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งในน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์มในสภาวะเร่ง และการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดพืชในน้ำมันทั้ง 2 ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันดีขึ้น และ สารสกัดพืช 5 ที่มีประสิทธิภาพดีในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 วัน ได้แก่ สารสกัด มันปลา ฮ้านน้ำ และ สมุย 500 พีพีเอ็ม และสารสกัดก่อข้าวที่ 200 และ 500 พีพีเอ็ม จากนั้นคัดเลือกสารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และ เชียงดา ที่ความเข้มข้นเดียวกันสำหรับการทดลองขั้นต่อไป สำหรับน้ำมันปาล์มนั้น สารสกัดพืช 6 ทรีตเมนท์ ที่มีประสิทธิภาพดีในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันน้ำมันในสภาวะเร่งด้วยการเติมเฟอร์ริกอิออนและเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสนาน 28 วัน ได้แก่ สารสกัดเชียงดา, สมุย และผักปลังที่ความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ (350 และ 500 พีพีเอ็ม) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งของพืช ได้คัดเลือกพืช 2 ชนิด ได้แก่ สารสกัดเชียงดา และสมุย เพื่อใช้ในการการศึกษาความสามารถในการต้านการหืนในน้ำมันปาล์มต่อไป

การศึกษาผลของสารสกัดพืชในของน้ำมันถั่วเหลืองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 วัน พบว่า สารสกัดก่อข้าว มันปลา ฮ้านน้ำ และ สมุย ที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีผลต่อการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันในทุกๆ วิธีทดสอบ ยกเว้น FFA แต่น้ำมันที่เติมสารสกัดพืชมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์สีมากกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที โดยเฉพาะ สารสกัดสมุย และฮ้านน้ำ ที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สารสกัดฮ้านน้ำและ มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดมันปลาและก่อ ส่วนผลของสารสกัดพืชในน้ำมันถั่วเหลืองภายหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที และเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 วัน พบว่า ค่าพารามิเตอร์สีของทุกๆ ตัวอย่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มการเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และสารสกัดพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการยั้งการเกิดออกซิเดชันแตกต่างกัน โดยสารสกัดสมุยมีแนวโน้มชะลอการเกิดออกซิเดชันดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดฮ้านน้ำ ส่วนสารสกัดก่อข้าวและสารสกัดมันปลา ยับยั้งการเกิดออกซิชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม เฉพาะในบางวิธีการทดสอบความหืนเท่านั้น

เมื่อเก็บรักษา น้ำมันปาล์มที่เติมเฟอร์ริกอิออนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซียสเป็นเวลา 56 วัน พบว่าสารสกัดพืชให้ผลเช่นเดียวกับผลการทดลองในน้ำมันถั่วเหลือง โดยสารสกัดสมุยและเชียงดาสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างบีเอชทีในทุกๆ วิธีการทดสอบ ยกเว้น FFA ($p<0.05$) แต่ สารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด รองลงมา ได้แก่ สารสกัดสมุย 350 พีพีเอ็มและสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม ส่วนสารสกัดเชียงดา 350 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหืนได้ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม การเติมสารสกัดพืชส่งผลให้น้ำมันปาล์มทำให้ค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่น้ำมันที่เติมบีเอชที มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าพารามิเตอร์สี (b* และ ΔE) สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ($p<0.05$) ส่วนผลการทดลองภายหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิระดบการทอด แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 22 วัน พบว่าน้ำมันทุกตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อวิเคราะห์ค่าความหืน ให้ผลคล้ายคลึงกับการเก็บรักษาโดยไม่ผ่านความร้อน โดย สารสกัดสมุย ดา 500 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สกัดสมุย 350 พีพีเอ็ม และสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม จากผลการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดพืชทั้งสองสภาวะ จึงคัดเลือกสารสกัดสมุย และเชียงดาที่ความเข้มข้น 500 พีพี เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสถียรของน้ำมันทอดซ้ำต่อไป

เมื่อความเสถียรของน้ำมันปาล์มทอดซ้ำ พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความหืนด้วยวิธีต่างๆ ทั้ง 4 วิธี เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการทอด และ น้ำมันที่เติมสารสกัดสมุย 500 พีพีเอ็มมีแนวโน้มยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดข้าวเกรียบได้เพียง 1 ครั้ง ส่วนค่าความหืนต่างๆ ของน้ำมันที่เติมสารสกัดเชียงดา 500 พีพีเอ็ม และน้ำมันที่เติมบีเอชที มีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม และเมื่อทอดข้าวเกรียบด้วยน้ำมันทอดซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง มีผลให้ค่า b* ของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนการทอดเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมสารสกัดพืชมีค่า b* ลดลง และค่า ΔE ของสารสกัดเชียงดามีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ สารสกัดสมุย บีเอชที และตัวอย่างควบคุมตามลำดับ ส่วนผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้งที่ใช้น้ำมันทอดซ้ำนั้น ผู้ทดสอบให้การยอบรับข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยน้ำมันที่เติมสารสกัดพืชไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ยกเว้น ในการทอดครั้งที่ 1 ข้าวเกรียบกุ้งที่ทอดโดยน้ำมันที่เติมสารสกัดสมุย ที่มีคะแนนเฉลี่ยของการยอมรับในหลายๆ คุณลักษณะต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อันเนื่องจากกลิ่นเฉพาะตัวของสมุย

จากผลการทดลองแสดงว่า สารสกัดพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน สารสกัดจากสารสกัดฮ้านน้ำและสมุยมีประสิทธิภาพในการชะลอการหืนของน้ำมันถั่วเหลือง ในขณะที่ สารสกัดเชียงดาและสมุยมีประสิทธิภาพในการชะลอการหืนของน้ำมันปาล์ม แต่สารสกัดพืชทั้ง 2 รวมทั้ง BHT ไม่สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของค่าความหืนในน้ำมันที่อุณหภูมิการทอดได้ ดังนั้น สารสกัดสมุยเป็นสารสกัดพืชที่ศักยภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเติมสารสกัดพืชมีสีและกลิ่น ในการเติมในน้ำมันอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรส จนส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค จึงควรวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารสำคัญในพืชแต่ละชนิด และสารสำคัญที่มีประสิทธิภาพสูงสุด นำมาทำให้บริสุทธิ์ แล้วจึงเติมลงในน้ำมัน หรือ ควรหาวิธีการแยกสีและกลิ่นออกจากสารสกัดพืช

5.2.2 ถึงแม้ว่าพืชที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นพืชพื้นบ้าน และพืชป่าที่ใช้ในการบริโภคเป็นอาหาร อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีการที่มีความแตกต่างจากวิธีที่ใช้เป็นอาหาร จึงควรศึกษาผลทางพิษวิทยาควบคู่ไปด้วย จึงจะสามารถประยุกต์ใช้ในอาหารได้อย่างปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมการค้าภายใน. 2553. **ทางเลือกในการซื้อน้ำมันครั้งต่อไป**. [Online]. Available : http://www.dit.go.th/contentdetail.asp?typeid=11&catid=102&ID=91. (วันที่15 ธันวาคม 2553)

กองควบคุอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 2553. **พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 พร้อมกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง ปี 2553)**. http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/file_pdf/พรบ. อาหาร/พรบ. อาหาร 2553.pdf. (วันที่ 7 เมษายน 2556)

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2546. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่** 4. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 528 หน้า.

จุติญาณี จิตรสุวรรณ. 2553. **จลศาสตร์การเสื่อมเสียคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าวจากอุณหภูมิการทอด.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฉกรรจ์ สังข์ทอง. 2551. **ปาล์มน้ำมัน : พืชเศรษฐกิจสร้างรายได้สูงทั้งในปัจจุบันและอนาคต.** พิมพ์ครั้งที่2. สงขลา: เซาท์เทิร์นเพรสแอนด์พับลิเคชั่น. 384 หน้า.

ณัฏฐินี ใจสะอาด. 2546. **วัตถุกันหืนธรรมชาติจากเปลือกมันฝรั่ง: การสกัดและการใช้ประโยชน์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.** วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธารดาว ทองแก้ว. 2546. น้ำมันพืช : ใช้อย่างไรให้ถูกต้องและปลอดภัย.[Online]. Available: http://www.doctor.or.th/node/1662. (วันที่2 กุมภาพันธ์ 2554)

นราพร พรหมไกรวร. 2552. **"ความสามารถในการต้านออกซิเดชันและสาระสำคัญที่พบในสารสกัดจากพืชป่าบางชนิด."** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นันทวัน บุญยประภัศร และ อรนุช โชคชัยเจริญพร. (บรรณาธิการ.) 2542. **สมุนไพร: ไม้พื้นบ้าน (3)** สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ประชาชน. กรุงเทพฯ. 823 หน้า.

นิอร ชุมศรี. 2553. **การใช้ประโยชน์สารสกัดภากงาก่ำจัดไขมันเป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันบริโภค.** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์การอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 256 หน้า

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. **เคมีอาหาร**. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 504 หน้า

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ วิบูลย์ รัตนาปนนท์. 2553. **สารพิษในอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 344 หน้า

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2549. **คัมภีร์ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค.** กรุงเทพฯ: มติชน. 352 หน้า.

พิชญอร ไหมสุทธิสกุล และสุพรรณ จารุจงกลวงศ์. 2550. **ผลของสารสกัดจาก *Cratoxylum formosum* Dyer. และการ strip ที่มีต่อความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลือง.** เรื่องเต็มการประชุมทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 45: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. หน้า 765-772.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535. "คุณภาพของน้ำมันทอด Quqlity of Frying Fat and Oil." **อาหาร.** 22(2) : 8-12.

วรพล เองวาณิช (บรรณาธิการ). 2555. **อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ.** เชียงใหม่: สมาร์ท โคตรติ้ง แอนด์ เซอวิส: 450 หน้า.

วาณี ใจวิเสน. 2554. **"การประเมินการต้านการหืนของพืชพื้นบ้านที่บริโภคได้ในแพตตี้หมู."** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. **บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ.** วารสารอาหาร. 32(4): 245-253.

วิไล รางสาดทอง. 2547. **เทคโนโลยีการแปลรูปอาหาร.**พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : เทกซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. 500 หน้า.

ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง. 2530. **เคมีอาหารเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง. 211 หน้า.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2546. **วัตถุเจือปนในอาหาร.** นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 380 หน้า.

สันติ ทิพยางค์. 2535. "สารกันหืนสำหรับอาหาร Antioxidant for Food." **อาหาร.** 22(2) : 1-7.

สุธรรม อารีกุล, จำรัส อินทร, สุวรรณ ทาเขียว และอ่องเต็ง นันทแก้ว. 2552ก. **องค์ความรู้เรื่องพืชป่าที่ใช้ประโยชน์ทางภาคเหนือของไทย เล่ม ๑.** มูลนิธิโครงการหลวง. กรุงเทพฯ : อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

_____. 2552ข. **องค์ความรู้เรื่องพืชป่าที่ใช้ประโยชน์ทางภาคเหนือของไทย เล่ม ๒.** มูลนิธิโครงการหลวง. กรุงเทพฯ : อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

_____. 2552ค. **องค์ความรู้เรื่องพืชป่าที่ใช้ประโยชน์ทางภาคเหนือของไทย เล่ม ๓.** มูลนิธิโครงการหลวง. กรุงเทพฯ : อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

สุธี อุดมโชติพฤทธิ์. 2549. "ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของแซนโทนจากลำต้นติ้วเกลี้ยง *Cratoxylum cochinense*." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนุชิตา มุ่งงาม. 2555. **แอนติออกซิแดนซ์ในธัญพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 230 หน้า.

อัปสร วิทยประภารัตน์ม, พัชรวดี พรรณเนตร, เกรียงไกร เพาะเจริญ และกมลทิพย์ เรารัตน์. 2553. **พืชอาหารและสมุนไพรท้องถิ่นบนพื้นที่สูง บ้านโป่งคำ ต. ดู่พงษ์ อ. สันติสุข จ.น่าน.** เชียงใหม่: ทรีโ แอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์ มีเดีย. 396 หน้า.

โอภา วัชระคุปต์. (บรรณาธิการ.) 2550. **สารต้านอนุมูลอิสระ.** นนทบุรี : พี.เอส.พริ้นท์.

American Oil Chemist's Society. 1997. Official Methods and Recommened Practice of the AOCS. AOCS Press. Champaign, IL, USA.

AOAC. 2000. **Official methods of analysis of AOAC International**. 17th ed. Gaithersburg, Md: Association of Official Analytical Chemists.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Augustin, M.A. 1988. Effect of iron (III) Palmitate on the Oxidation of Palm oil. **Food Chemistry.** 27:123-129.

Augustin, M.A. and Berry, S.K. 1983. Effectiveness of antioxidants in refined, bleached and deodorized palm olein. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 60(1) : 105-108.

Bandonine, D., Pukalskas, A., Venskutonis, P. R. and Gruzdiene, D. 2000. Preliminary screening of antioxidant activity of some plant extracts in rapeseed oil. **Food Research International.** 33:785-791.

Benchamaporn, P., Duangkhae, K. and Sophon, B. 2009. Effect of Addition of Antioxidants on the Oxidative Stability of Refined Bleached and Deodorized Palm Olein. **Journal of Kasetsart (Nat. Sci).** 43: 370-377.

Bensmira, M., Jiang, B., Nsabimana, C. and Jian, T. 2007. Effect of lavender and thyme Incorporation in sunflower seed oil on its resistance to frying temperatures. **Food Research** International. **40:341-346.**

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

Chanwitheesuk,A., Teerawutgulrag,A. and Rakariyatham, N. 2005. Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand. **Food Chemistry.** 92 : 491–497

Che-Man, Y.B. and Jaswir, I. 2000. Effect of rosemary and sage extracts on fry performance of refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying. **Food Chemistry.** 69 : 301-307.

Fasoyiro, S. B., Adegoke, G. O., Obatolu, V.A., Ashaye, O. and Aroyeun S.O. 2001. The Antioxidant Property of Aframomum danelli Spice in Oils. **The Journal of Food Technology in Africa.** 6(4): 135-137.

Gámez-Meza, N., Noriega-Rodríguez, J.A., Medina-Juárez, L.A., Ortega-García, J., Cázarez-Casanova, R. and Angulo-Guerrero, O. 1999. Antioxidant Activity in Soybean Oil of Extracts from Thompson Grape Bagasse. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 76: 1445-1447.

Goli, A.H., Barzegar, M. and Sahari, M.A. 2005. Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (Pistachia vera) hull extracts. **Food chemistry.** 92:521-525.

Gunstone, F. D. 2011. Production and Trade of Vegetable Oils. p. 1-24. In Gunstone, F. D. (Ed), **Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses.** 2th ed. USA: Wiley-Blackwell. 353 p.

Iqbal, S. and Bhanger, M. I. 2007. Stabilization of sunflower oil by garlic extract during accelerated storage. **Food Chemistry.** 100: 246-254.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jamilah, B., Che-Man, Y.B. and Ching, T.L. 1998. Antioxidant activity of *Citrus hystrix* peel extract in RBD palm olein during frying of fish crackers. **Journal of Food Lipids**. 5(2): 149-157.

Jaswir, I., Che Man, Y.B. and Kitts, D.D. 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. **Food Research International.** 33:501-508.

Joshi, K. 2006. "Leaf flavonoid aglycone patterns, ethnobotany and conservation of *Schima wallichii.*" **An International Journal of Ecology**. 13(1) : 9-13.

Juntachote, T., Berghofer, E., Siebenhandl, S. and Bauer, F. 2006. "The antioxidative properties of Holy basil and Galangal in cooked ground pork." **Meat Science**. 72 : 446-456.

Kidmose, U., Edelenbos, M., Norbaek, R. and Christensen,.L.P. 2002. Colour stability in vegetables . p.179-232. In MacDougall, D.B. (Eds.), **Colour in food Improving quality**. Boca Raton : CRC Press. 378p.

Kiokias, S., Varzakas, T.H., Arvanitoyannis, I.S. and Labropoulos, A.E. 2010. Lipid Oxidation and Control of Oxidation. 383-408. Yildiz, F. (Ed.), **Advances in Food Biochemistry.** New York: CRC Press.

Lakshminarayana, R., Raju, M., Krishnakantha, T.P. and Baskaran, V. 2007. "Lutein and zeaxanthin in leafy greens and their bioavailability: Olive oil influences the absorption of dietary lutein and its accumulation in adult rats." **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55 : 6395-6400.

Lin, S. W. 2011. Palm Oil. p. . In Gunstone, F. D. (Ed), **Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses.** 2th ed., USA: Wiley-Blackwell. 353p.

Mcdonald, R.E. and Hutin, H.O. 1987. Some characteristics of the enzymic lipid peroxidation system in the microsomal fraction of flounder skeletal muscle. **Journal of Food Science**. 52: 15-21.

Mohdaly, A.A.A.; Smetanska, I.; Ramadan, M.F.; Sarhan, M.A.; Mahmoud, A. 2011. Antioxidant potential of sesame (Sesamum indicum) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. **Industrial Crops and Products.** 34 :952– 959.

Nanasombat, S. and Teckchuen, N. 2009. Antimicrobial,antioxidant and anticancer activities of Thai local vegetables. **Journal of Medicinal Plants Research**. 3(5): 443-449.

Nikolova, M., Berkov, S. and Ivancheva, S. 2004. A rapid TLC method for analysis of external flavonoid aglycones in plant exudates. **Acta Chromatographica**. 14:110-114.

Nor, F. M., Mohamed, S., Idris, N. A. and Ismail, R. 2008 . Antioxidative properties of *Pandanus amaryllifolius* leaf extracts in accelerated oxidation and deep frying studies. **Food Chemistry**. 110 : 319-327.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nor, F.M., Mohamed S., Idris, N.A., and Ismail, R. 2009. Antioxidant properties of *Curcuma longa* leaf extract in accelerated oxidation and deep frying studies. **Journal of the American Oil Chemists Society.** 86:141-147.

O'Brien, R.D. 2009. Fats and Oils Analysis. O'Brien, R.D. (Eds.), **Fat and oils : formulating and processing for applications .** 3th ed. Boca Raton : CRC Press. 744p.

Pan, Y., Zhu, J., Wang, H., Zhang, X., Zhang, Y., He, C., Ji, X. and Li, H. 2007. Antioxidant activity of ethanolic extract of Cortex fraxini and use in peanut oil. **Food Chemistry.** 103(3): 913-918.

Pan, Y., Zhang, X., Wang, H., Liang, Y., Zhu, J., Li, H., Zhang, Z. and Wu, Q. 2007. Antioxidant potential of ethanolic extract of Polygonum cuspidatum and application in peanut oil. **Food Chemistry.** 105: 1518–1524.

Pegg, R.B. 2002. Measurement of Primary Lipid Oxidation Products. D2.1.1-D2.1.15. **in Current Protocols in Food Analytical Chemistry** . John Wiley and Sons: New York.

Pokorny, J. 2005. Volumetric Analysis of Oxidized Lipids. p. 8-16. In Afaf Kamal-Eldin and Pokorny, J. (Eds.), **Analysis of Lipid Oxidation.** Urbana, IL : AOCS Press. 293p.

Pokorny, J. 2007. Antioxidants in Food Preservation. p. 259-286. In Rahman, M.S. (Eds.). **Handbook of Food Preservation,** 2th ed. CRC Press.

Ramalho, V. C. and Jorge, N. 2008. Antioxidant action of Rosemary extract in soybean oil submitted to thermoxidation. **Grasas y Aceites.** 59(2): 38-41.

Reische, D. W., Lillard, D.A. and Eitenmiller, R.R. 2007. Antioxidant. In Akoh, C.C. and Min, D.B. (Eds.), **Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology.** 3th ed. Boca Raton : CRC Press.

Shahidi, F. and Zhong, Y. 2005. Lipid Oxidation Measurement Methods.Vol 1. p. 357-385. In Shahidi, F.(Eds), **Bailey's Industrial Oil and Fat Products.** 6th ed. USA: Wily-Interscince.

Shahidi, F. and Wanasundara, U.N. 2007. Methods for Measuring Oxidative Rancidity in Fats and Oils. p. 387-408. In Akoh, C.C. and Min, D.B. (Eds.), **Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology.** 3th ed. Boca Raton : CRC Press.

Shyamala, B.N., Gupta, S., Lakshmi, A.J. and Prakash, J. 2005. Leafy vegetable extracts—antioxidant activity and effect on storage stability of heated oils. **Innovative Food Science and Emerging Technologies.** 6: 239-245.

Sikwese, F.E. and Duodu, K.G. 2007. Antioxidant effect of a crude phenolic extract from sorghum bran in sunflower oil in the presence of ferric ions. **Food Chemistry.** 104:324-331.

Singh, S., Singh, D.R., Banu, S., Salim, K.M. 2012. Determination of Bioactives and Antioxidant Activity in *Eryngium foetidum* L.: A Traditional Culinary and Medicinal Herb. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences.** 1-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sithisarn, P and Jarikasem, S. 2009. Antioxidant activity of Acanthopanax trifoliatus. **Medical Principles and Practice.** 18(5):393-398.

Suja, K.P., Abraham, J.T., Thamizh, S.N., Jayalekshmy, A. and Arumughan, C. 2004. Antioxidant efficacy of sesame cake extract in vegetable oil protection. **Food Chemistry.** 84: 393–400.

Soharb, M.H., Chowghury, R., Hasan, C.M. and Rashid, M.A. 2004. Chemotaxonomic significance of polyoxygenated flavonoids from the leaves of *Micromelum minutum*. **Biochemical systematics and Ecology.** 32: 829-831.

Wan, P. J. 1995. Accelerated Stability Methods. In Warner,K and Michael Eskin, N.A. (Ed), **Methods to Assess Quality and Stability of Oils and Fat-Containing Foods.** AOCS Press.

Wanasundara, P. K. J. P. D., and Shahidi, F. 2005. Antioxidants: Science, Technology, and Applications. Vol 1. p. 431-489. In Shahidi, F.(Eds), **Bailey's Industrial Oil and Fat Products.** 6th ed. USA: Wily-Interscince.

Warner, K. 2007. Chemistry of Frying Oils. In Akoh, C.C. and Min, D.B. (Eds.), **Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology.** 3th ed. Boca Raton : CRC Press.

White, P. J. 1995. Conjugated Diene, Anisidine Value, and Carbonyl Value Analyses. In Warner,K and Michael Eskin, N.A. (Ed), **Methods to Assess Quality and Stability of Oils and Fat-Containing Foods.** USA. AOCS Press.

Zia-ur-Rehman., Habib, F. and Shah, W.H. 2003. Utilization of potato peels extract as a natural antioxidant in soy bean oil. **Food Chemistry.** 85:215–220.

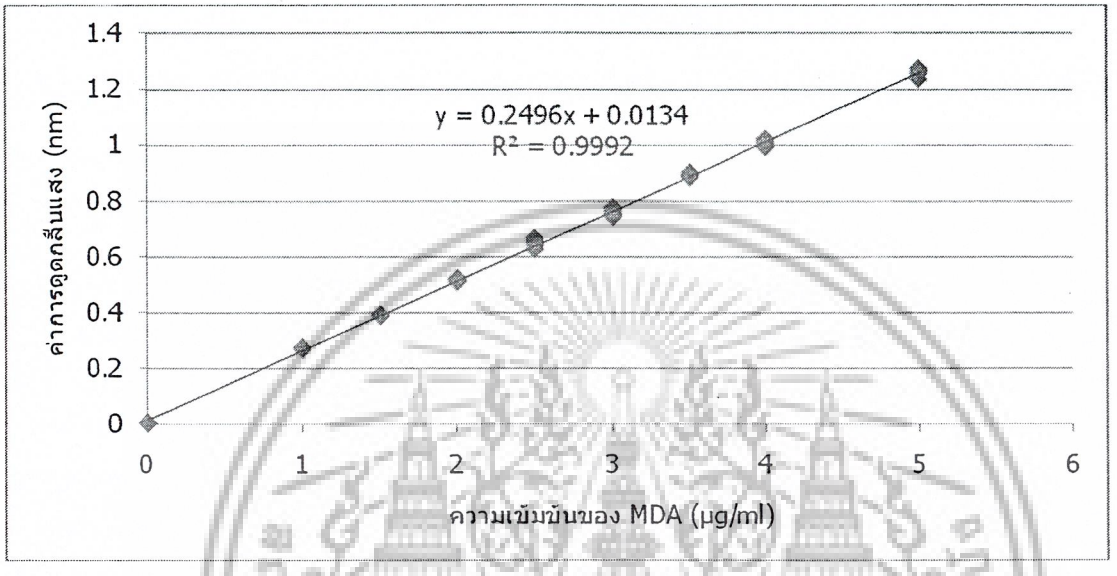
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐานและตัวอย่างการคำนวณ

กราฟมาตรฐานวิธี TBARS



ภาพที่ ก1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง (nm) กับความเข้มข้นของ MDA (ug/ml) ได้สมการเส้นตรง y = 0.2496x

การคำนวณปริมาณสารที่พบในตัวอย่างโดยใช้กราฟมาตรฐาน สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{TBARS} = \text{ABS/m}$$

$$\text{MDA/1000} = \frac{\text{(ABS/m)}}{\text{น้ำหนัก (g)}} \times 1000 \quad \mu g$$

$$\text{MDA/kg} = \left(\frac{\text{(ABS/m)}}{\text{น้ำหนัก (g)}} \times 1000 \right) \times 0.001 \quad mg$$

หมายเหตุ : ABS = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

m = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายมาตรฐานและรีเอเจนต์ทดสอบ

1. เตรียมสารรีเอเจนต์ TBARS

ชั่งกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid, TCA) 15 กรัม และกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid, TBA) 0.375 กรัม ละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ จากนั้นผสมสารละลายทั้งสองให้เค้ากัน ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2. รีเอเจนต์ p-AV

ชั่ง p-Anisidine 0.25 กรัม ละลายในกรดอะซีติก (acetic acid) ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมไทโอซัลเฟต 24.9 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดที่เย็นแล้ว จากนั้นปรับปริมาตรจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มอล

- ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) ประมาณ 0.16-0.22 กรัม (ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 2ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในโถ dessicator) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรและสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 5นาที
- เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (เขย่า) แล้วไตรเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนกระทั่งสีเหลืองเกือบจางหายไป เติม น้ำแป้ง 1-2 มิลลิลิตร (เขย่า) และไตรเตรทต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป
- วิธีคำนวณ

$$\text{Normality of } Na2S2O3 = \frac{20.394 \times \text{น้ำหนัก } K_2Cr_2O_7 \text{ (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (มล.) ของสารละลาย } Na2S2O3}$$

4. เตรียมสารละลายแป้ง

ชั่ง starct 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย และเทลงในน้ำกลั่นต้มเดือด 100 มิลลิลิตร คนผสมให้เข้ากันแล้วต้มต่อประมาณ 1 นาที ทิ้งให้เย็นและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

5. เตรียมสารละลายกรดอะซีติก-คลอโรฟอร์ม

ผสมกรดอะซีติก 300 มิลิลิตรกับ คลอโรฟอร์ม 200 มิลลิลตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มากเกินพอในน้ำร้อน (โพแทสเซียมไอโอไดด์ ประมาณ 10 กรัม ในน้ำน้ำร้อน 6 มิลลิลิตร) เก็บในที่มืด

7. เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นต้มเดือด (ทิ้งให้เย็น) ปรับริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

- ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟาทาเลส (KHP) ประมาณ 0.4 กรัม (ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในโถ dessicator) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยละลายด้วยน้ำกลั่นต้มเดือด (ทิ้งให้เย็น) 100 มิลลิลิตร และเติมฟีนอลทาลีน 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน

-ไทรเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ (สารละลายสีชมพูอ่อน)

- แบลงค์ ใช้วิธีเดียวกันโดยไม่มีโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟาทาเลส (KHP)

- วิธีคำนวณ

$$\text{Normality of NaOH} = \frac{\text{น้ำหนัก KHP (กรัม)}}{\text{น้ำหนักสมมูลย์} \times \text{ปริมาตร NaOH}} \times 1000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ใช้ทอดข้าวเกรียบกุ้ง

ผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบดังนี้

ระดับคะแนน

7 = ชอบมากที่สุด (like extremely)
6 = ชอบมาก (like very much)
5 = ชอบเล็กน้อย (like slightly)
4 = เฉยๆ (neither like nor dislike)
3 = ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike moderately)
2 = ไม่ชอบมาก (dislike very much)
1 = ไม่ชอบมากที่สุด (dislike extremely)

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นข้าวเกรียบ	กลิ่นหืน* ข้าวเกรียบ	กลิ่น** น้ำมัน	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

หมายเหตุ* กลิ่นหืนข้าวเกรียบ ไม่มีกลิ่น คือ ชอบมากที่สุด
** กลิ่นน้ำมัน น้ำมันที่ข้าวเกรียบมีกลิ่นตามธรรมชาติของน้ำมัน คือ ชอบมากที่สุด

ตัวอย่างที่ชอบมากที่สุด.....
ข้อเสนอแนะ.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ค่าสี (L*, a*, b*) ของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง1 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)								
		0	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	98.07±0.04 ^{eB}	98.23±0.15 ^{eBC}	97.29±0.07 ^{eA}	98.08±0.07 ^{eB}	98.01±0.01 ^{eB}	98.05±0.03 ^{eB}	98.14±0.02 ^{eBC}	98.23±0.18 ^{eBC}	98.33±0.01 ^{eC}
บีเอชที	75	98.17±0.16 ^{eB}	98.26±0.27 ^{eB}	97.26±0.09 ^{eA}	98.05±0.22 ^{eB}	97.89±0.17 ^{eB}	97.92±0.17 ^{eB}	98.07±0.31 ^{eB}	98.11±0.25 ^{eB}	98.09±0.11 ^{eB}
ก่อข้าว	500	89.15±0.07 ^{cB}	88.14±1.09 ^{cA}	88.20±0.15 ^{cAB}	89.04±0.31 ^{cAB}	88.73±0.04 ^{cAB}	88.86±0.07 ^{cAB}	88.99±0.09 ^{cAB}	88.89±0.06 ^{cAB}	89.09±0.21 ^{cAB}
มันปลา	500	94.44±0.18 $^{dB-E}$	93.13±1.12 ^{dA}	93.54±0.18 ^{dAB}	94.36±0.10 $^{dB-D}$	93.94±0.29 $^{dA-C}$	94.95±0.58 $^{dC-E}$	95.55±0.04 ^{dE}	95.34±0.19 ^{dDE}	94.95±0.20 $^{dC-E}$
ฮ้านน้ำ	500	64.45±0.16 ^{aA}	64.86±0.23 ^{aAB}	64.56±0.11 ^{aA}	65.59±0.17 $^{aA-C}$	65.98±0.70 ^{aBC}	66.73±1.19 ^{aC}	66.25±0.11 ^{aC}	66.44±0.00 ^{aC}	66.51±0.40 ^{aC}
สมุย	500	77.29±0.34 ^{bB}	77.37±0.05 ^{bB}	76.87±0.01 ^{bA}	77.65±0.01 ^{bC}	77.57±0.06 ^{bBC}	77.65±0.00 ^{bC}	77.82±0.05 ^{bC}	79.25±0.03 ^{bD}	79.05±0.00 ^{bD}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง2 ค่า a* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตังอย่าง	ความเข้มข้น	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)								
	(พีพีเอ็ม)	0	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	-5.40±0.04 ^{dBC}	-5.29±0.12 ^{bcBC}	-5.43±0.03 ^{bcAB}	-5.43±0.02 ^{cAB}	-5.60±0.01 ^{bA}	-5.47±0.05 ^{bAB}	-5.44±0.10 ^{bAB}	-5.24±0.03 ^{bC}	-5.42±0.14 $^{dA-C}$
บีเอชที	75	-5.41±0.02 ^{dA}	-5.40±0.06 ^{bcA}	-5.44±0.01 ^{bcA}	-5.44±0.01 ^{cA}	-5.72±0.19 ^{bA}	-5.80±0.06 ^{abA}	-5.90±0.64 ^{bA}	-5.76±0.66 ^{bA}	-6.11±0.34 ^{cA}
ก่อข้าว	500	-6.93±0.02 ^{bBC}	-6.84±0.16 ^{aC}	-6.93±0.04 ^{aBC}	-7.13±0.15 ^{aAB}	-7.26±0.00 ^{aA}	-7.12±0.09 ^{abAB}	-7.33±0.07 ^{aA}	-7.26±0.02 ^{aA}	-7.31±0.07 ^{aA}
มันปลา	500	-6.28±0.49 ^{cBC}	-5.29±1.24 ^{bcC}	-6.12±0.06 ^{abBC}	-6.20±0.33 ^{bBC}	-6.39±0.39 ^{abBC}	-7.30±0.07 ^{aAB}	-7.66±0.11 ^{aA}	-7.13±0.07 ^{aAB}	-6.68±0.10 ^{bAB}
ฮ้านน้ำ	500	-11.28±0.07 ^{aA}	-6.49±0.28 ^{abB}	-4.61±0.66 ^{cC}	-4.25±0.03 ^{dCD}	-2.70±1.22 ^{cDE}	-1.62±1.56 ^{cE}	-2.56±0.04 ^{cE}	-1.95±0.10 ^{cE}	-1.94±0.23 ^{eE}
สมุย	500	-6.30±0.07 ^{cA}	-4.66±0.49 ^{cB}	-3.02±0.49 ^{dC}	-2.51±0.46 ^{eCD}	-2.02±0.16 ^{cD}	-1.21±0.50 ^{cEF}	-1.48±0.33 ^{dEF}	-1.27±0.14 ^{cEF}	-1.00±0.00 ^{fF}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง3 ค่า b* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)								
		0	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	27.72±0.25 ^{aD}	28.24±0.07 ^{aE}	28.45±0.03 ^{aE}	27.80±0.09 ^{aD}	27.09±0.13 ^{aC}	27.04±0.05 ^{aC}	26.26±0.11 ^{aB}	25.95±0.09 ^{aA}	25.89±0.00 ^{aA}
บีเอชที	75	27.92±0.03 ^{aA}	28.28±0.08 ^{aAB}	28.30±0.23 ^{aAB}	27.99±0.83 ^{aA}	28.3±11.68 ^{aAB}	29.82±0.46 ^{bBC}	31.69±0.00 ^{bD}	31.03±0.01 ^{bCD}	30.68±0.01 ^{bCD}
ก่อข้าว	500	65.08±0.10 ^{cE}	64.21±0.70 ^{cDE}	63.24±0.14 ^{cCD}	62.80±0.16 ^{cBC}	61.9±10.17 $^{cA-C}$	61.74±1.18 ^{dAB}	61.01±1.12 ^{dA}	61.65±0.06 ^{dAB}	61.45±0.09 ^{dAB}
มันปลา	500	40.67±0.21 ^{bDE}	41.12±0.63 ^{bE}	40.41±0.11 ^{bDE}	39.81±0.23 ^{bD}	39.41±0.17 ^{bCD}	38.55±1.31 ^{cBC}	37.09±0.07 ^{cA}	37.75±0.36 ^{cAB}	37.30±0.33 ^{cA}
ฮ้านน้ำ	500	92.46±0.03 ^{dA}	93.16±0.04 ^{dAB}	92.35±0. ^{dA} 03	93.06±0.03 ^{dAB}	92.77±0.42 ^{dAB}	93.13±1.01 ^{eAB}	93.58±0.16 ^{fB}	93.44±0.15 ^{fB}	93.41±0.25 ^{fB}
สมุย	500	97.76±0.21 ^{eF}	95.64±0.34 ^{eE}	93.26±0.38 ^{eD}	92.67±0.43 ^{dCD}	92.10±0.54 ^{dBC}	92.47±0.61 ^{eCD}	91.31±0.20 ^{eB}	85.41±0.86 ^{eA}	85.81±0.03 ^{eA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง4 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		0	2	4	6	8
ควบคุม	-	98.53±0.36 ^{eA}	98.54±0.22 ^{eA}	98.56±0.25 ^{eA}	98.53±0.31 ^{eA}	98.56±0.24 ^{eA}
บีเอชที	75	98.42±0.47 ^{eA}	98.39±0.50 ^{eA}	98.44±0. 30 ^{eA}	98.62±0.52 ^{eA}	98.64±0.12 ^{eA}
ก่อข้าว	500	88.82±0.13 ^{cA}	89.23±0.32 ^{cAB}	89.19±0.44 ^{cAB}	89.61±0.17 ^{cB}	89.40±0.03 ^{cAB}
มันปลา	500	92.38±0.94 ^{dA}	94.14±0.27 ^{dAB}	94.49±0.70 ^{dB}	94.70±1.11 ^{dB}	95.01±0.25 ^{dB}
ฮ้านน้ำ	500	64.09±0.23 ^{aA}	64.70±0.48 ^{aAB}	65.09±0.35 ^{aB}	65.15±0.20 ^{aB}	65.23±0.29 ^{aB}
สมุย	500	76.00±0.37 ^{bA}	76.76±0.02 ^{bB}	77.49±0.17 ^{bC}	77.53±0.15 ^{bC}	77.47±0.16 ^{bC}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง5 ค่า a* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	(พีพีเอ็ม)	0	2	4	6	8
ควบคุม	-	-4.96±0.17 ^{cA}	-4.99±0.09 ^{cA}	-5.13±0.15 ^{cA}	-5.19±0.13 ^{cA}	-5.18±0.08 ^{cA}
บีเอชที	500	-4.98±0.16 ^{cA}	-5.09±0.09 ^{cA}	-5.16±0.18 ^{cA}	-5.13±0.24 ^{cA}	-5.11±0.03 ^{cA}
ก่อข้าว	500	-7.70±0.12 ^{aB}	-8.08±0.11 ^{aAB}	-7.99±0.27 ^{aAB}	-8.24±0.01 ^{aA}	-8.13±0.11 ^{aA}
มันปลา	500	-5.87±0.60 ^{bB}	-6.66±0.31 ^{bAB}	-6.95±0.32 ^{bA}	-6.98±0.32 ^{bA}	-7.17±0.05 ^{bA}
ฮ้านน้ำ	500	-4.23±0.32 ^{cA}	-4.50±0.64 ^{cA}	-4.47±0.53 ^{cA}	-4.24±0.33 ^{dA}	-4.06±0.62 ^{dA}
สมุย	500	-2.20±0.25 ^{dA}	-2.29±0.07 ^{dA}	-2.54±0.02 ^{dA}	-2.43±0.23 ^{eA}	-2.39±0.06 ^{eA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง6 ค่า b* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตังอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		0	2	4	6	8
ควบคุม	-	21.61±1.48 ^{aA}	21.65±1.24 ^{aA}	22.16±1.24 ^{aA}	22.52±1.04 ^{aA}	22.81±1.00 ^{aA}
บีเอชที	75	21.84±1.31 ^{aA}	22.16±1.31 ^{aA}	22.50±1.22 ^{aA}	22.78±1.09 ^{aA}	22.89±0.88 ^{aA}
ก่อข้าว	500	53.15±0.16 ^{cAB}	53.03±0.06 ^{cA}	53.30±0.03 ^{cBC}	53.50±0.13 ^{cCD}	53.59±0.03 ^{cD}
มันปลา	500	32.89±0.19 ^{bA}	33.20±0.05 ^{bAB}	33.41±0.13 ^{bBC}	33.71±0.17 ^{bCD}	33.90±0.18 ^{bD}
ฮ้านน้ำ	500	83.83±0.66 ^{eA}	84.28±0.83 ^{eA}	84.62±0.45 ^{eA}	84.54±0.92 ^{eA}	84.60±0.54 ^{eA}
สมุย	500	75.73±0.50 ^{dA}	76.37±0.69 ^{dA}	76.74±0.66 ^{dA}	76.93±0.91 ^{dA}	76.87±0.40 ^{dA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง7 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)								
		0	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	81.78±0.38 ^{eA}	87.62±0.71 ^{eB}	88.33±1.00 ^{eBC}	89.09±0.35 ^{fBC}	87.97±0.65 ^{eBC}	88.84±0.20 ^{fBC}	88.92±1.25 ^{eBC}	89.63±0.56 ^{fC}	89.33±1.12 ^{eBC}
บีเอชที	200	83.21±0.38 ^{fA}	84.60±0.33 ^{dB}	85.15±0.55 ^{dBC}	85.67±0.05 ^{eBC}	85.78±1.20 ^{eBC}	86.52±0.72 ^{eC}	85.96±0.48 ^{dBC}	86.16±0.34 ^{eC}	86.54±0.00 ^{dC}
เชียงดา	350	68.28±0.71 ^{bA}	70.99±0.41 ^{bB}	71.98±0.32 ^{bBC}	72.53±0.76 ^{cCD}	72.15±1.01 $^{cB-D}$	73.38±0.05 ^{cDE}	72.42±0.25 ^{bCD}	72.71±0.12 ^{cCD}	74.21±0.11 ^{cE}
เชียงดา	500	64.07±0.33 ^{aAB}	63.34±0.18 ^{aA}	64.77±1.00 ^{aAB}	65.20±0.34 ^{aAB}	64.79±0.30 ^{aAB}	65.03±0.13 ^{aAB}	66.00±1.95 ^{aC}	65.81±0.33 ^{aC}	65.94±1.21 ^{aC}
สมุย	350	76.49±0.07 ^{dB}	75.47±0.87 ^{cAB}	75.90±0.58 ^{cAB}	75.59±0.75 ^{dAB}	74.99±0.15 ^{dA}	74.79±0.44 ^{dA}	75.52±0.77 ^{cAB}	75.32±0.24 ^{dAB}	75.89±0.38 ^{cAB}
สมุย	500	71.92±0.35 ^{cB}	70.53±0.74 ^{bAB}	70.98±0.59 ^{bBC}	71.09±0.35 ^{bB}	69.24±1.67 ^{bA}	70.44±0.02 ^{bAB}	71.01±0.41 ^{bB}	71.04±0.25 ^{bB}	71.13±0.09 ^{bB}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง8 ค่า a* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)								
		0	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	-0.03±0.08 ^{fA}	1.12±0.71 ^{bcA}	0.58±0.64 ^{aA}	1.23±1.03 ^{abA}	1.16±0.79 ^{aA}	1.38±0.76 ^{aA}	1.53±0.77 ^{aA}	1.54±0.88 ^{aA}	1.54±0.80 ^{aA}
บีเอชที	200	-1.17±0.14 ^{eA}	0.17±0.72 ^{bcB}	0.23±0.45 ^{aB}	0.61±0.12 ^{abB}	1.55±0.17 ^{aC}	1.49±0.31 ^{aC}	1.47±0.01 ^{aC}	1.83±0.08 ^{aC}	1.55±0.29 ^{aC}
เชียงดา	350	-4.14±0.18 ^{bA}	-1.80±0.34 ^{aB}	-0.19±0.95 ^{aBC}	0.69±1.80 ^{abCD}	1.38±1.78 ^{aCD}	2.42±0.40 ^{aCD}	0.68±0.49 ^{aCD}	1.11±0.55 ^{aCD}	2.07±0.27 ^{aCD}
เชียงดา	500	-2.82±0.13 ^{dA}	2.71±0.74 ^{dB}	6.86±1.16 ^{cC}	6.55±1.48 ^{cC}	6.98±0.60 ^{cC}	7.27±0.58 ^{cC}	7.11±0.99 ^{cC}	7.37±0.62 ^{cC}	7.01±0.45 ^{cC}
สมุย	350	-5.16±0.17 ^{aA}	-0.21±0.42 ^{bcB}	1.26±0.25 ^{aC}	1.26±0.07 ^{abC}	1.38±0.27 ^{aC}	1.52±0.09 ^{aC}	1.27±0.06 ^{aC}	1.36±0.20 ^{aC}	1.56±0.27 ^{aC}
สมุย	500	-3.61±0.11 ^{cA}	1.78±0.07 ^{cdB}	3.62±0.15 ^{bC}	3.66±0.25 ^{bC}	4.09±0.48 ^{bCD}	4.32±0.01 ^{bD}	3.69±0.05 ^{bC}	3.92±0.24 ^{bCD}	3.85±0.20 ^{bCD}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง9 ค่า b* ของน้ำมันปาล์ม (เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของเฟอร์ริกอิออน 5 พีพีเอ็ม) ที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)								
		0	7	14	21	28	35	42	49	56
ควบคุม	-	52.01±0.24 ^{aA}	60.12±1.13 ^{aAB}	63.64±1.47 ^{aB}	57.12±0.66 ^{aAB}	64.41±1.69 ^{aB}	60.05±3.68 ^{aAB}	60.37±7.56 ^{aAB}	55.25±1.02 ^{aAB}	59.97±7.54 ^{aAB}
บีเอชที	200	50.91±0.01 ^{aA}	79.58±0.35 ^{bB}	81.38±0.93 ^{bBC}	84.17±0.04 ^{cCD}	86.69±2.34 ^{cDE}	85.54±0.25 ^{bcDE}	87.84±2.39 ^{bE}	88.33±0.98 ^{cE}	88.40±1.52 ^{bE}
เชียงดา	350	92.11±3.01 ^{bcAB}	94.18±2.87 ^{eB}	92.77±4.21 ^{dAB}	91.40±0.60 ^{eAB}	90.54±0.92 ^{dAB}	88.15±3.38 ^{cAB}	90.90±3.53 ^{bcAB}	90.83±3.32 ^{cAB}	85.45±3.11 ^{bA}
เชียงดา	500	99.39±0.75 ^{dA}	98.93±0.63 ^{fA}	99.53±0.61 ^{eA}	99.94±0.60 ^{fA}	99.70±0.18 ^{eA}	99.64±0.20 ^{dA}	98.72±0.77 ^{cA}	99.45±0.64 ^{dA}	99.56±0.70 ^{cA}
สมุย	350	89.62±0.07 ^{bcE}	85.51±0.91 ^{cD}	83.31±0.65 ^{bC}	82.77±0.32 ^{bBC}	82.16±0.28 ^{bAB}	82.04±0.48 ^{bcAB}	81.74±0.21 ^{bAB}	81.64±0.05 ^{bA}	81.33±0.36 ^{bA}
สมุย	500	94.67±0.12 ^{cD}	90.54±0.38 ^{dC}	88.08±0.22 ^{cB}	87.82±0.34 ^{dAB}	86.94±0.98 ^{cAB}	87.64±0.60 ^{cAB}	87.50±0.47 ^{bAB}	87.07±0.64 ^{cAB}	86.60±0.64 ^{bA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง10 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)						
		0	2	4	6	8	15	เฉลี่ย
ควบคุม	-	91.84±0.00 ^{eAB}	92.06±0.04 ^{eCD}	92.23±0.04 ^{eD}	91.96±0.02 ^{eBC}	91.75±0.01 ^{eA}	92.05±0.10 ^{dCD}	92.45±0.20 ^{eE}
บีเอชที	200	92.03±0.00 ^{eB}	92.17±0.04 ^{eC}	92.36±0.03 ^{eD}	92.05±0.01 ^{eB}	91.77±0.01 ^{eA}	92.09±0.09 ^{dBC}	92.42±0.02 ^{eD}
เชียงดา	350	71.36±0.36 ^{bAB}	71.57±0.51 ^{bAB}	71.72±0.54 ^{bAB}	71.08±0.30 ^{bAB}	70.84±0.47 ^{bA}	71.32±0.09 ^{bAB}	72.06±0.08 ^{bB}
เชียงดา	500	65.13±0.25 ^{aA}	65.30±0.24 ^{aA}	65.60±0.18 ^{aA}	64.96±0.01 ^{aA}	64.64±0.09 ^{aA}	64.81±1.03 ^{aA}	65.20±0.32 ^{aA}
สมุย	350	78.13±0.26 ^{dAB}	78.14±0.27 ^{dAB}	78.49±0.09 ^{dB}	77.94±0.16 ^{dAB}	77.90±0.35 ^{dA}	78.40±0.14 ^{cAB}	78.47±0.07 ^{dB}
สมุย	500	72.66±0.15 ^{cAB}	72.53±0.12 ^{cAB}	72.76±0.16 ^{cAB}	72.26±0.15 ^{cA}	72.39±0.04 ^{cAB}	72.36±0.48 ^{bAB}	72.85±0.19 ^{cB}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง11 ค่า a* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)						
		0	2	4	6	8	15	22
ควบคุม		-5.13±0.02 ^{bBC}	-5.10±0.03 ^{bCD}	-5.19±0.00 ^{bB}	-5.13±0.01 ^{bBC}	-5.04±0.00 ^{bD}	-5.10±0.04 ^{bCD}	-5.28±0.05 ^{bA}
บีเอชที		-5.43±0.06 $^{aA-C}$	-5.42±0.03 $^{aA-C}$	-5.49±0.07 ^{aAB}	-5.40±0.05 $^{aA-C}$	-5.32±0.04 ^{aC}	-5.36±0.04 ^{aBC}	-5.54±0.06 ^{aA}
เชียงดา		4.01±0.14 ^{eA}	4.04±0.14 ^{eA}	4.08±0.14 ^{eA}	4.14±0.14 ^{A}	4.23±0.19 ^{eA}	4.19±0.14 ^{eA}	4.01±0.08 ^{eA}
เชียงดา		7.27±0.05 ^{fA}	7.34±0.03 ^{fAB}	7.38±0.03 ^{fAB}	7.36±0.01 ^{fAB}	7.40±0.02 ^{fAB}	7.50±0.09 ^{fB}	7.51±0.19 ^{fB}
สมุย		0.36±0.14 ^{cA}	0.40±0.16 ^{cA}	0.37±0.07 ^{cA}	0.36±0.08 ^{cA}	0.41±0.07 ^{cA}	0.42±0.12 ^{cA}	0.41±0.06 ^{cA}
สมุย		3.56±0.17 ^{dA}	3.68±0.18 ^{dA}	3.70±0.18 ^{dA}	3.69±0.16 ^{dA}	3.77±0.11 ^{dA}	3.76±0.11 ^{dA}	3.65±0.08 ^{dA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ตารางที่ ง12 ค่า b* ของน้ำมันปาล์มที่เติมสารสกัดเอธานอลจากพืชระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)						
		0	2	4	6	8	15	b*
ควบคุม	-	55.04±0.18 ^{aA}	55.38±0.29 ^{aA}	55.29±0.16 ^{aA}	55.10±0.14 ^{aA}	55.18±0.33 ^{aA}	55.18±0.13 ^{aA}	55.30±0.19 ^{aA}
บีเอชที	200	54.43±0.30 ^{aA}	54.67±0.16 ^{aA}	54.63±0.33 ^{aA}	54.47±0.36 ^{aA}	54.36±0.27 ^{aA}	54.50±0.22 ^{aA}	54.67±0.24 ^{aA}
เชียงดา	350	88.42±1.81 ^{bA}	88.65±1.88 ^{bA}	88.97±1.93 ^{bA}	88.51±1.71 ^{bA}	88.40±1.77 ^{bA}	88.91±1.45 ^{bA}	89.12±1.75 ^{bA}
เชียงดา	500	91.97±0.49 ^{aA}	92.12±0.60 ^{aA}	92.65±0.55 ^{aA}	92.01±0.41 ^{aA}	91.74±0.28 ^{aA}	92.06±1.33 ^{aA}	91.95±0.24 ^{aA}
สมุย	350	77.14±0.08 ^{dAB}	77.22±0.04 ^{dAB}	77.47±0.11 ^{dBC}	77.07±0.16 ^{dA}	77.07±0.30 ^{dA}	77.48±0.09 ^{dBC}	77.75±0.02 ^{dC}
สมุย	500	81.81±0.06 ^{cA}	81.89±0.01 ^{cA}	82.23±0.03 ^{cA}	81.83±0.09 ^{cA}	82.01±0.11 ^{cA}	82.11±0.56 ^{cA}	82.24±0.01 ^{cA}

หมายเหตุ : พิจารณา a,b,c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) และตัวอักษร A,B,C ตามแถวแนวนอนที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)