ผลของภาวะในการกำจัดกลิ่นต่อปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์และโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลือง

นางสาววรรธณี สีลม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 7 7 2 4 5 4 9 2 3

EFFECTS OF DEODORIZATION CONDITIONS ON TRANS FATTY ACIDS AND TOCOPHEROL CONTENT IN SOYBEAN OIL

Ms. Wantanee Srilom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของภาวะในการกำจัดกลิ่นต่อปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์และโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลือง
โดย	นางสาววรรธณี สีลม
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายอดุลย์ เปรมประเสริฐ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(นายอดุลย์ เปรมประเสริฐ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ ทัตติยกุล)

วรรธณี สีลม: ผลของภาวะในการกำจัดกลิ่นต่อปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์และโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลือง. (EFFECTS OF DEODORIZATION CONDITIONS ON TRANS FATTY ACIDS AND TOCOPHEROL CONTENT IN SOYBEAN OIL) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายอดุลย์ เปรมประเสริฐ, 86 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่น (deodorization) ที่ทำให้เกิดกรดไขมันชนิดทรานส์ (trans fatty acids) ในปริมาณต่ำที่สุดและเหลือปริมาณโทโคฟีรอลทั้งหมด (total tocopherols) ในน้ำมันถั่วเหลืองสูงที่สุด โดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) จากประเทศสหรัฐอเมริกาที่ผ่านกระบวนการฟอกสี (bleaching) แล้ว งานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่น โดยใช้เวลาในการกำจัดกลิ่นในหอกำจัดกลิ่น (deodorizer) นาน 103 นาที 124 นาที และ 155 นาที และในแต่ละช่วงเวลาจะใช้อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นที่ 235 °C 240 °C และ 245 °C รวมทั้งหมด 9 ภาวะ ทุกภาวะจะใช้สุญญากาศคงที่ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 mbar และใช้ปริมาณ stripping steam 1.5 % โดยน้ำหนักของน้ำมันถั่วเหลือง สุ่มตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองก่อนเข้ากระบวนการกำจัดกลิ่นมาวิเคราะห์ค่าสี กรดไขมันอิสระ กรดไขมันชนิดทรานส์ และโทโคฟีรอลทั้งหมด และสุ่มตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ออกจากกระบวนการกำจัดกลิ่นมาวิเคราะห์ค่าสี ความชื้น กรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ กรดไขมันชนิดทรานส์ โทโคฟีรอลทั้งหมด ดัชนีความเสถียรของน้ำมัน (oil stability index) และทดสอบทางประสาทสัมผัส จากการทดลองพบว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่ออกจากกระบวนการกำจัดกลิ่นทุกตัวอย่างมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ควบคุมตามมาตรฐาน CODEX Stan 210 โดยภาวะที่ใช้เวลา 103 นาที อุณหภูมิ 235 °C (103 min/235 °C) จะได้น้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณโทโคฟีรอลทั้งหมดสูงที่สุด คือ 984.44 ppm และมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ต่ำที่สุด คือ 1.11 % และภาวะที่ใช้เวลา 124 นาที อุณหภูมิ 235 °C (124 min/235 °C) จะได้น้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณโทโคฟีรอลทั้งหมดสูงเป็นอันดับที่ 2 คือ 947.21 ppm และมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ต่ำเป็นอันดับที่ 2 คือ 1.32 % สำหรับงานวิจัยในส่วนที่สองนำน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จาก 2 ภาวะข้างต้น (103 min/235 °C และ 124 min/235 °C) มาทดสอบความเสถียรของน้ำมันโดยการทอดอาหาร ใช้ตัวอย่างอาหารเป็นมันฝรั่งเส้น (french fries) น้ำหนัก 100 กรัม ต่อการทอด 1 ครั้ง และใช้เวลาทอด 4 นาที ต่อการทอด 1 ครั้ง ทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) ที่อุณหภูมิ 190 °C เมื่อทอดมันฝรั่งเส้นครบ 4 นาทีจะตักมันฝรั่งเส้นขึ้นจากน้ำมันและนำมันฝรั่งเส้นชุดใหม่ลงทอด ทอดเป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อ 1 วัน ทอดทุกวันติดต่อกันโดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่จนครบ 60 ชั่วโมง (ทำ 12 วัน) เมื่อทอดมันฝรั่งเส้นเสร็จในแต่ละวันจะปล่อยให้น้ำมันเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างน้ำมันเริ่มต้นก่อนทอดในวันแรกและหลังจากการทอดในแต่ละวันมาตรวจสอบ กรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่าสี จากการทดลองพบว่าน้ำมันถั่วเหลือง 103 min/235°C จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยกว่าน้ำมันถั่วเหลือง 124 min/235 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการทอดเดียวกันจนครบ 45 ชั่วโมง และน้ำมันถั่วเหลือง 103 min/235 °C จะมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นน้อยกว่าน้ำมันถั่วเหลือง 124 min/235 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการทอดเท่ากันจนครบ 30 ชั่วโมง

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อนิสิต.....วรรธณี สีลม.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772454923 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: DEODORIZATION / TRANS FATTY ACIDS / TOCOPHEROL / SOYBEAN OIL

WANTANEE SRILOM : EFFECTS OF DEODORIZATION CONDITIONS ON TRANS FATTY ACIDS AND TOCOPHEROL CONTENT IN SOYBEAN OIL. THESIS ADVISOR : SASIKAN KUPONGSAK, Ph.D., THESIS COADVISOR : ADUL PREMPRASERT, 86 pp.

The optimization of temperature and time of deodorized soybean oil process in order to maintain the highest total tocopherol and obtain the lowest trans fatty acids content were investigated in this study. Bleached soybean oil was obtained from United States of America's yellow soybean seed (*Glycine max* L.). It was used as raw material. First, the effects of temperature (235, 240 and 245 C) and deodorizing time (103, 124 and 155 minutes) were determined. Deodorization process in each condition was conducted at 2 mbar or lower vacuum pressure and with 1.5 percent stripping steam (w/w of soybean oil). Bleached oil was sampled before transferring to deodorization process. Color, free fatty acids, trans fatty acids and total tocopherol of bleached soybean oil were analyzed. Moreover, the sampling of deodorized soybean oil was also examined, i.e. color, moisture, free fatty acids, peroxide value, trans fatty acids, total tocopherol, oil stability index and sensory evaluation. Qualities of treated oil were all within standard according to CODEX Stan 210. The best deodorization condition to maintain the highest total tocopherol (984.44 ppm) and obtain the lowest trans fatty acids (1.11 percent) was at 235°C for 103 minutes (103 minutes/235°C). The second best condition (947.21 ppm total tocopherol and 1.32 percent trans fatty acids) was at 235°C for 124 minutes (124 minutes/235°C). Soybean oil from two treatments; 103 minutes/235°C and 124 minutes/235°C, were used in the frying stability test. One hundred grams of fresh potato stick were deep-fat fried at 190°C for 4 minutes. Deep-fat french fries were taken off and new fresh samples were fried in every 4 minutes. Each oil sample was used for 5 hours per day for a total frying time of 60 hours (totally 12 days). The oil was cooled to room temperature after the end of the day. Oil samples were taken periodically (at the beginning and ending of each day) to monitor free fatty acids, peroxide value and color. Comparing free fatty acids content between the two oil samples (103 minutes/235°C and 124 minutes/235°C) after 45 hours of frying, it was found that free fatty acids content of oil sample deodorized at 103 minutes/235°C increased less significantly ($p \leq 0.05$) than the oil sample deodorized at 124 minutes/235°C. Comparing color value between the same two oil samples after 30 hours of frying, it was also found that color value of oil sample deodorized at 103 minutes/235°C increased less significantly ($p \leq 0.05$) than the oil sample deodorized at 124 minutes/235°C.

Department.....Food Technology.....Student's signature.....Wantanee Srilom

Field of study.....Food Technology.....Advisor's signature.....

Academic year...2006.....Co-advisor's signature.....Adul Prempraserg

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคุณอดุลย์ เปรมประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำแนวทางในการวิจัย และให้คำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างมากกับวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์ ซึ่งเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ ทัตติยกุล ที่ท่านกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณ คุณสุพจน์ หวั่งหลี กรรมการผู้จัดการ คุณเสก บุญบรรลุ กรรมการรองกรรมการผู้จัดการ คุณอดุลย์ เปรมประเสริฐ กรรมการผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการ และคุณสมชาติ ทองแก้ว ผู้จัดการแผนกกลั่นน้ำมันพืช บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด ที่กรุณาให้โอกาสในการศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตแก่ข้าพเจ้า และสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้าในทุกๆ ด้าน จนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณ พี่ๆ และน้องๆ ที่ บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด ได้แก่ คุณผาณิต คุณภานุวัฒน์ คุณปรอยฝน คุณกฤษณะ คุณสุทธิชัย คุณจีระภา คุณสุนันทา คุณมัลลิกา คุณไพศาล คุณธีรพันธ์ คุณอนุสรณ์ คุณกิตติศักดิ์ คุณศิริมา คุณวุฒินันท์ คุณสัญญา คุณวัชรินทร์ คุณอุมาภรณ์ คุณอำพร คุณศิริรัตน์ คุณวาสนา คุณสมบัติ และผู้ที่มิได้กล่าวนาม สำหรับความช่วยเหลือที่มีให้ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชาลีดา อาจารย์อินทาวุธ และพี่ๆ น้องๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ได้แก่ คุณธัญญารัตน์ คุณภณิดา คุณดวงกมล คุณสุรีย์ คุณชูสิทธิ์ คุณกิตติพงศ์ สำหรับความช่วยเหลือที่มีให้ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือที่มิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเทียม คุณแม่ละออง คุณน้าจำปี คุณน้าประยูร คุณน้าทองเย็น คุณจิรนันน้องสาวสุดที่รักของข้าพเจ้า พี่สาวคุณนวลจันทร์ คุณดาวเรือง พี่ชายคุณศิริชัย คุณประไพ คุณมาลัย คุณสำรวย และคุณศันสนีย์ ที่เป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าอย่างดียิ่งจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์..... 3

2.1 โครงสร้างทางเคมีของไขมันและน้ำมัน..... 3

2.2 กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (refining process)..... 8

2.3 กรดไขมันชนิดทรานส์ (trans fatty acids)..... 14

2.4 โทโคฟีรอล หรือ วิตามินอี..... 23

2.5 คุณภาพน้ำมันตามมาตรฐาน CODEX..... 33

2.6 การทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying)..... 33

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย..... 38

3.1 ขอบเขตงานวิจัย..... 38

3.2 วัตถุดิบ..... 38

3.3 เครื่องมือ..... 38

3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 39

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 43

4.1 การศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการกำจัดกลิ่น..... 43

4.2 การทดสอบความเสถียรของน้ำมันถั่วเหลืองโดยการทอดอาหาร (frying stability test)..... 54

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 61

รายการอ้างอิง..... 63

ภาคผนวก.....67
ภาคผนวก ก.....68
ภาคผนวก ข.....81
ภาคผนวก ค.....82
ภาคผนวก ง.....84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....86

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช (% ของกรดไขมันทั้งหมด).....7

2.2 ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันพืชดิบ (crude vegetable oil) (mg/kg).....7

2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดทรานส์ในน้ำมันพืชสำหรับบริโภคบางชนิด.....18

2.4 ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดทรานส์ โดยองค์กรผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพของประเทศสหรัฐอเมริกา.....21

2.5 ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดทรานส์ โดยองค์กรผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพของประเทศต่างๆ.....21

2.6 ปริมาณวิตามินอีในน้ำมันพืชบางชนิดและผลิตภัณฑ์ไขมัน (mg/100 g).....32

2.7 มาตรฐาน CODEX สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันชนิดอื่นๆ.....33

4.1 คุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองเริ่มต้น (BSO) ก่อนเข้ากระบวนการกำจัดกลิ่น.....43

4.2 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ความชื้นและสารที่ระเหยได้ สีเหลือง (Y) สีแดง (R) และ กลิ่นและรสชาติ ของ DSO.....45

4.3 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นต่อปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ โทโคฟีรอลทั้งหมด และ ดัชนีความเสถียรของน้ำมัน DSO.....47

4.4 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นต่อปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ โทโคฟีรอลทั้งหมด และ ดัชนีความเสถียรของน้ำมัน DSO.....48

4.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นต่อปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ โทโคฟีรอลทั้งหมด และ ดัชนีความเสถียรของน้ำมัน DSO.....48

4.6 ค่าเพอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และ สีแดง (cell 5 ¼") ของน้ำมัน ที่เวลาการทอดต่างๆ.....55

ก.1 น้ำหนักของสารตัวอย่าง ปริมาตรของแอลกอฮอล์ และค่าความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระ.....69

ก.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของโทโคฟีรอล.....74

ข.1 การคำนวณเวลาในการกำจัดกลิ่นจากกำลังการผลิตน้ำมันของหอกำจัดกลิ่น.....81

ตารางที่ **หน้า**

ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ กรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ความชื้นและสารที่ระเหยได้ สีเหลือง และสีแดงของน้ำมัน DSO.....82

ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกลิ่นและรสชาติ กรดไขมันซนิดทรานส์ โทโคฟีรอลทั้งหมด และดัชนีความเสถียรของน้ำมัน DSO.....83

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์.....3

2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันและไขมัน.....4

2.3 กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพ.....8

2.4 cis, trans isomerism ของพันธะคู่ภายใต้ภาวะที่ได้รับความร้อน.....14

2.5 โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก (cis-9) กรดอีไลดิก (trans-9) และกรดสเตียริก.....15

2.6 ผลของการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ต่ออัตราส่วนของ LDL cholesterol และ HDL cholesterol.....19

2.7 ตัวอย่างฉลากโภชนาการที่มีการแสดงปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์..... 22

2.8 โครงสร้างของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล..... 24

2.9 ความเสถียรของปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ของอนุมูลสารต้านออกซิเดชัน.....27

2.10 องค์ประกอบของผนังเมมเบรนที่มีวิตามินอี.....28

2.11 ปฏิกิริยาของวิตามินอีกับออกซิเจน.....29

4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์กับอุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นที่เวลาในการกำจัดกลิ่นต่างๆ.....50

4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์กับเวลาในการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นต่างๆ.....51

4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโทโคฟีรอลทั้งหมดกับอุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นที่เวลาในการกำจัดกลิ่นต่างๆ.....52

4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโทโคฟีรอลทั้งหมดกับเวลาในการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นต่างๆ.....53

4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอร์ออกไซด์กับระยะเวลาการทอด.....56

4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับระยะเวลาการทอด.....57

4.7 ลักษณะน้ำมันและมันฝรั่งเส้นที่ทอดในวันที่ 1 (5 ชั่วโมง).....58

4.8 ลักษณะน้ำมันและมันฝรั่งเส้นที่ทอดในวันที่ 6 (30 ชั่วโมง).....58

4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดง (cell 5 ¼") กับระยะเวลาการทอด.....60

รูปที่ **หน้า**

ก.1 กระบอกฉีดยาที่ใส่สำลี และ sodium sulfate anhydrous สูงประมาณ 2 cm.....71

ข.1 ลักษณะเตาทอดที่ใช้ทอดมันฝรั่งเส้น.....81

ง.1 โครมาโตรแกรมขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้เวลาในการกำจัดกลิ่นนาน 103 นาที และใช้อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นที่ 235 °C.....84

ง.2 โครมาโตรแกรมของโทโคฟีรอลแต่ละชนิดในน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้เวลาในการกำจัดกลิ่นนาน103 นาที และใช้อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นที่ 235 °C.....85