สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

จลนศาสตร์การเสื่อมเสียทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว

CHEMICAL AND PHYSICAL DETERIORATION KINETICS OF PALM OIL AND RICE BRAN OIL

ผู้วิจัย

นาง พอใจ ถามากร

RC14
T9
.684
.P3
WA85 ค
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119894 ค.1
วัน, เดือน, ปี 23 มิ.ย. 2555

b.12378956
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำมันทอดอาหาร	3
2.2 การเสื่อมเสียของน้ำมันในระหว่างการทอด	7
2.3 ผลกระทบของความร้อนต่อน้ำมันทอด	10
2.4 การประเมินคุณภาพน้ำมันทอด	12
2.5 การทอด	13
2.6 การดูดซับน้ำมันและคุณภาพของอาหารทอด	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	19
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.2 วัตถุดิบ	19
3.3 สารเคมี	19
3.4 สถานที่ทำการทดลอง	20
3.5 วิธีการทดลอง	20
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	22
4.1 การศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ทอดมันฝรั่งชิ้นบางติดต่อกันเป็นเวลา 5 วัน	22
4.2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของคุณภาพน้ำมัน	31
4.3 การศึกษาค่าความหืน (Thiobabituric acid,TBA) ในมันฝรั่งทอด	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	40
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันทอด	47
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ตัวอย่างมันฝรั่ง	55
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันทอดและมันฝรั่งทอด	59
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ทางสถิติ	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันพืช	3
2.2	จุดเกิดควันของน้ำมันพืช	6
2.3	วิตามินอีและโอไรซานอลในน้ำมันชนิดต่างๆ	7
2.4	ปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด	17
4.1	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ของคุณภาพของน้ำมัน	33
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ค่าความชัน (k) และค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ของผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว	36

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กลไกการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอด..... 14
4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 23
4.2 ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 24
4.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 25
4.4 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 26
4.5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 27
4.6 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 29
4.7 ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 30
4.8 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 30
4.9 ค่าสีความเข้ม (C*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส..... 31
4.10 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพทางเคมีในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว..... 35
4.11 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพทางกายภาพในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว..... 35
4.12 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)..... 37
4.13 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)..... 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.14 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

190 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)..... 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การทอดอาหารในน้ำมันที่อุณหภูมิสูงและใช้น้ำมันทอดซ้ำๆ เป็นเวลานาน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ เป็นสาเหตุให้น้ำมันทอดเกิดการเสื่อมคุณภาพและมีอายุการใช้งานที่สั้นลง ทั้งด้านสี กลิ่น รสชาติเปลี่ยนไป จุดเกิดควันลดลงทำให้เกิดควันในระหว่างการทอดและมีความหนืดมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) เนื่องจากในระหว่างการทอดจะเกิดสารประกอบหลายชนิดที่เป็นตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพของน้ำมัน เช่น สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) สารประกอบมีขั้ว (polar compounds) (Chang *et al.*, 1978) สารที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหารยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น สารประกอบมีขั้วที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำมันสามารถสะสมในร่างกายและส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ ดังนั้นกระทรวงสาธารณสุขจึงกำหนดให้น้ำมันทอดซ้ำต้องมีค่าสารโพลาร์หรือค่าสารประกอบมีขั้วไม่เกินร้อยละ 25 เพื่อบ่งชี้การเสื่อมสภาพของน้ำมัน ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันทอดที่มีความคงตัวสูงและมีจุดเกิดควันสูง ทำให้น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารเสื่อมคุณภาพช้าลง ซึ่งน้ำมันปาล์มมีประสิทธิภาพที่ดีในการทอดอาหาร เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดกลิ่นหืนในอาหารต่ำ สำหรับน้ำมันรำข้าวเป็นน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอีและโอไรซานอล (Oryzanol) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าวิตามินอีถึง 6 เท่า และยังมีจุดเกิดควันสูงกว่าน้ำมันพืชทั่วไปจึงเหมาะในการประกอบอาหารทอดแบบน้ำมันท่วม (Qureshi *et al.*, 2002)

การพิจารณาคุณภาพของอาหารทอดจำเป็นต้องคำนึงถึง กลิ่น สี รสและเนื้อสัมผัสของอาหาร เพราะอาหารเมื่อผ่านการทอดจะมีการดูดซับน้ำมันเข้าไปในตัวอาหาร ทำให้เกิดกลิ่นหืน ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารทอด (Plessis and Meredith, 1999) ทั้งนี้ในระหว่างการทอดนั้นจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นมากมาย ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมี และกายภาพของน้ำมัน โดยจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอด ซึ่งการศึกษาการเสื่อมเสียของน้ำมันในระหว่างการทอดอาหารยังไม่มีข้อมูลมากนัก ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอัตราการเกิดและกลไกการเสื่อมเสียของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวในระหว่างการทอดมันฝรั่งชิ้นบางเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกใช้น้ำมันสำหรับการทอดอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิในระหว่างการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่มีต่อการเสื่อมเสียทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว
2. ศึกษาคุณภาพของมันฝรั่งที่ทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวอุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียสในระหว่างการเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของคุณภาพน้ำมันที่ใช้ทอดมันฝรั่งชิ้นบางโดยศึกษาในน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าว ซึ่งทอดที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส โดยศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน ได้แก่ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ความหนืด (viscosity) ค่าสี และศึกษาคุณภาพทางเคมีของมันฝรั่งที่ทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวโดยศึกษาด้านความหืน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันทอดอาหาร

ไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เกิดจากกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล กับกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล ได้เป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยกรดไขมันแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) สำหรับไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันแตกต่างกันซึ่งองค์ประกอบและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 น้ำมันที่เหมาะสำหรับการทอดควรมีความคงตัวสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทนทานต่อความร้อนได้สูง และต้องมีสมบัติสัมพันธ์กับอาหารที่ใช้ทอดเพราะกลิ่นและรสชาติของน้ำมันจะติดไปกับอาหาร เนื่องจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะทำให้เกิดควันง่ายทำให้อาหารมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) และควรมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid) น้อย เพื่อให้น้ำมันทอดทนต่อการเกิดอนุมูลอิสระและสารพอลิเมอร์ต่างๆ ที่ทำให้น้ำมันเกาะเป็นคราบเหนียว ซึ่งน้ำมันกลุ่มที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูง เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและน้ำมันดอกคำฝอย จึงไม่ควรนำมาทอดอาหาร สำหรับน้ำมันที่เหมาะสมต่อการทอด ได้แก่ น้ำมันปาล์มโอเลอีน น้ำมันรำข้าวและน้ำมันมะกอก (ทิพยเนตร อริยปิติพันธ์, 2551)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันพืช

น้ำมันพืช	กรดไขมันอิ่มตัว (ร้อยละ)		กรดไขมันไม่อิ่มตัว (ร้อยละ)		
	ปาล์มิติก (C 16:0)	สเตียริก (C 18:0)	โอเลอิก (C 18:1)	ลิโนเลอิก (C 18:2)	ลิโนเลนิก (C 18:3)
น้ำมันมะกอก	11.0	2.2	72.5	7.9	0.6
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	22.7	2.3	17.0	51.5	0.2
น้ำมันปาล์ม	43.5	4.3	36.6	9.1	0.2
น้ำมันรำข้าว	16.0	2.0	42.0	38.0	1.4
น้ำมันข้าวโพด	10.9	1.8	24.2	58.0	0.7
น้ำมันงา	8.9	4.8	39.3	41.3	0.3
น้ำมันถั่วเหลือง	10.3	3.8	22.8	51.0	6.8
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	5.9	4.5	19.5	65.7	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก Charley (1982) และ Hargrove (1994)

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 47-2533) ได้กำหนดให้น้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค มีคุณลักษณะทางเคมีและลักษณะทั่วไป ดังนี้

1. ค่าของกรด (acid value) คิดในรูปมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม โดยน้ำมันและไขมันธรรมชาติ มีค่าไม่เกิน 4.0 น้ำมันและไขมันผ่านกรรมวิธี มีค่าไม่เกิน 0.6

2. ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) มีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูล เพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม

3. น้ำและสารที่ระเหยได้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มีค่าไม่เกิน 0.2 ร้อยละโดยน้ำหนัก

4. สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย ไม่เกิน 0.05 ร้อยละโดยน้ำหนัก

5. ปริมาณสบู่ ไม่เกิน 0.005 ร้อยละโดยน้ำหนัก

6. มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมันนั้น ๆ และต้องไม่มีกลิ่นหืน

นอกนี้ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 283 (พ.ศ.2547) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำมันทอดประกอบอาหารทั้งเพื่อจำหน่ายและบริโภคต้องมีสารโพลาร์หรือสารประกอบมีขั้วได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก ของน้ำมัน

2.1.1 ความคงตัวของน้ำมัน

ความคงตัวของน้ำมันต่อปฏิกิริยาทางเคมีแต่ละชนิดมีผลต่อสมบัติของน้ำมันแตกต่างกันด้วย ซึ่งมีผลต่อการนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์ เช่น ความคงตัวของกลิ่นและรสชาติ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการนำน้ำมันไปทำน้ำมันสลัดและเนยขาว หรือความคงตัวของน้ำมันต่อความร้อนที่จำเป็นสำหรับน้ำมันทอดอาหาร โดยความคงตัวของน้ำมันเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.1.1.1 ความคงตัวต่อออกซิเดชันของน้ำมันจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งผลิตผลเหล่านี้ทำให้น้ำมันมีกลิ่นหืน ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้ตลอดเวลาเมื่อไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ดังนั้นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อให้น้ำมันมีความคงตัว สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

1. การทำไฮโดรจิเนชันเพื่อลดจำนวนพันธะคู่ให้น้อยลง จะช่วยให้น้ำมันมีโอกาสเกิดออกซิเดชันได้น้อยลง

2. ดูดอากาศออก เนื่องจากในอากาศมีออกซิเจนซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังนั้นการใช้ก๊าซไนโตรเจนเข้าไปแทนจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

3. สารต้านออกซิเดชันสามารถช่วยหยุดยั้งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระได้ โดยสารต้านออกซิเดชันจะให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ไวกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้าลง

4. แสงเป็นคะตะลิสต์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกัน จึงช่วยเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ การเก็บรักษาไขมันและน้ำมันในที่มืดจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อุณหภูมิในการเก็บรักษา การรักษาน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

2.1.1.2 ความคงตัวของไขมันและน้ำมันต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หากเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนสายสั้นๆ เช่น กรดไขมันในไขมันนม น้ำมันมะพร้าว จะเกิดกลิ่นหืนเร็วขึ้น เนื่องจากกรดไขมันดังกล่าวระเหยได้ง่าย สำหรับน้ำมันที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันสายยาว ถึงแม้จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแต่จะไม่เกิดกลิ่นหืน เพราะกรดไขมันเหล่านี้ระเหยไม่ได้ จึงไม่มีผลต่อน้ำมันที่ใช้ทอด อย่างไรก็ตามขณะที่ใช้น้ำมันทอดที่มีปริมาณน้ำสูงและใช้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็ว และมีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้น ถึงแม้น้ำมันจะไม่มีกลิ่นแต่จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำมันเหล่านี้จึงไม่เหมาะสมที่นำไปใช้ทอดอาหารซ้ำๆ อีกต่อไป

ซึ่งจุดเกิดควันของน้ำมันเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันทอด เป็นอุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควัน เนื่องจากเป็นดัชนีบ่งชี้การทนต่อความร้อนของน้ำมันโดยไม่สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำ ควันที่เกิดจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ ดังนั้นน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารควรมีจุดเกิดควันที่สูง จุดเกิดควันของไขมันและน้ำมันที่ใช้แล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณของกรดไขมันอิสระ พื้นที่ผิวของไขมันและน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศขณะทอด ระยะเวลาของไขมันและน้ำมันที่ถูกใช้ทอด และสารอื่นๆที่เจือปนอยู่ในน้ำมัน การที่ไขมันและน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำจะมีอุณหภูมิของจุดเกิดควันสูง และจุดเกิดควันจะลดลงเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันหรือน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังนั้นน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้วจึงมีจุดเกิดควันต่างกัน โดยที่น้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้วจะมีจุดเกิดควันต่ำกว่าน้ำมันใหม่ ในน้ำมันแต่ละชนิดก็จะมีอุณหภูมิของจุดเกิดควันที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2)

2.1.1.3 น้ำมันที่มีความคงตัวได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการสลายตัวจึงจัดว่าเป็นน้ำมันที่มีความคงตัวต่อความร้อน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน จะทำให้น้ำมันมีความหนืดสูง เกิดฟองง่ายขณะทอด ถ้าเกิดฟองขึ้นมากแสดงว่าอายุการใช้งานสั้นลง โดยสารพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดนี้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและความร้อน สารประกอบที่เป็นคะตะลิสต์และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จากการเกิดออกซิเดชัน (oxidative polymerization) คือ แคโรทีน คลอโรฟิลล์และโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง ในทางตรงข้ามวิตามินอีและสารต้านออกซิเดชัน จะช่วยยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์จากออกซิเดชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 จุดเกิดควันของน้ำมันพืช

น้ำมันพืช	จุดเกิดควัน (องศาเซลเซียส)
น้ำมันมะกอก	210.0
น้ำมันข้าวโพด	232.2
น้ำมันทานตะวัน	232.2
น้ำมันถั่วเหลือง	232.2
น้ำมันปาล์ม	230.0
น้ำมันรำข้าว	250.0
น้ำมันเมล็ดองุ่น	204.4

ที่มา: Michael (2004)

2.1.2 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ได้จากเนื้อ (mesocarp) ของผลปาล์มน้ำมันที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า เอเลอิส กินเนเอนซิส (Elaeis guineensis) ใช้เพื่อการบริโภคและในอุตสาหกรรมทำผลิตภัณฑ์อาหาร (ม.อ.ก. 288, 2535) โดยน้ำมันปาล์มที่สกัดได้จะมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation) น้ำมันปาล์มจะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง เรียกว่า ปาล์มสเตียริน (palm stearin) มีอยู่ร้อยละ 30 – 35 ใช้ในการผลิตเนยเทียมและไขมันพืชผสม และส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า ปาล์มโอเลอีน (palm olein) มีอยู่ร้อยละ 65 – 70 ซึ่งจะผลิตเป็นน้ำมันสำหรับปรุงอาหาร นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากไม่มีกลิ่นเฉพาะตัวเหมือนกับน้ำมันพืชชนิดอื่น และยังมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอีนมีกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ประมาณร้อยละ 50 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ปานกลาง ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันบริโภคที่ใช้ประกอบอาหารอื่นๆ เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์มโอเลอีน เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีกรดลิโนเลนิกและกรดลิโนเลอิกซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายในปริมาณต่ำ และยังมีโทโคเฟอรอล ซึ่งเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ที่จะช่วยทำ ให้อาหารที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มสามารถเก็บไว้ได้นาน (Hui, 1996)

2.1.3 น้ำมันรำข้าว

น้ำมันรำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวและเหมาะกับอาหารที่ต้องใช้น้ำมันทอด เนื่องจากมีจุดเกิดควัน (smoke point) ในช่วง 245-257 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าน้ำมันพืชทั่วไป ทำให้ทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงไม่สลายตัวเป็นควัน จึงทำให้เหมาะสมในการประกอบอาหารโดยการทอดแบบน้ำมันท่วม น้ำมันรำข้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 16 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 44 น้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รำข้าวมีกรดไขมันจำเป็นซึ่งเป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร มี 2 ชนิดซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ได้แก่ กรดลิโนเลนิกและกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โอเมกา 3 และโอเมกา 6 และพบว่าน้ำมันรำข้าวมีโอไรซานอล (oryzanols) ในปริมาณสูง อีกทั้งยังมีสารในกลุ่มไฟโตสเตอรอล (phytosterols) กลุ่มพอลิฟีนอล (polyphenols) และวิตามินอี ทั้งชนิดโทโคเฟอรอล(tocopherols) และโทโคไตรอินอล (tocotrienol) สารเหล่านี้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Qureshi *et al.*, 2002) สำหรับโอไรซานอลพบเฉพาะในรำข้าวเท่านั้น (ตารางที่ 2.3)โอไรซานอลเป็นสารที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวิตามินอีในการต้านอนุมูลอิสระ และยังเป็นสารธรรมชาติที่ดีในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidation) และมีฤทธิ์ในการต้านมากกว่าโทโคเฟอรอล การที่น้ำมันรำข้าวมีชนิดและปริมาณของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันอยู่มากทำให้น้ำมันคงสภาพได้นานโดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (นัยนา บุญทวียุวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัฒน์, 2545) นอกจากนี้โอไรซานอลสามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดและการสะสมของไขมันในเส้นเลือด (Bucci *et al.*, 2003)

ตารางที่ 2.3 วิตามินอีและโอไรซานอลในน้ำมันชนิดต่างๆ

น้ำมันพืช	วิตามินอี (mg/100g)								โอไรซานอล (mg/100g)	รวม
	กลุ่มโทโคเฟอรอล				กลุ่มโทโคไตรอีนอล					
	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ		
น้ำมันมะกอก	20	1	1	-	-	-	-	-	-	22
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	39	-	39	-	-	-	-	-	-	78
น้ำมันรำข้าว	35	-	9	4	13	-	30	1	73	165
น้ำมันข้าวโพด	11	5	60	2	-	-	-	-	-	78
น้ำมันถั่วเหลือง	10	-	59	26	-	-	-	-	-	96
น้ำมันปาล์ม	26	-	32	7	14	3	29	7	-	118
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	49	-	5	1	-	-	-	-	-	55

ที่มา: ดัดแปลงจาก Frank (2004) และ Monsoor and Proctor (2005)

2.2 การเสื่อมเสียของน้ำมันในระหว่างการทอด

น้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำหลายๆ ครั้ง จะมีคุณภาพที่เสื่อมลง สี กลิ่นและรสชาติของน้ำมันเปลี่ยนไป มีจุดเกิดควันลดลงและมีความหนืดมากขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) (Chang *et al.*, 1978) ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเสื่อมเสีย มีคุณค่าทางโภชนาการลดลงและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำมันระหว่างการทอดมีดังนี้

2.2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

การเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับกรดไขมันในตำแหน่งพันธะคู่ ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันอันดับหนึ่ง (primary oxidation products) มีสมบัติไม่เสถียรสามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันอันดับสอง (secondary oxidation products)ได้แก่ แอลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketose) แอลกอฮอล์ (alcohol) กรด (acid) ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) และสารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compounds) (Lomanno and Nawar, 1982) และพบว่าสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการใช้อุณหภูมิสูงในการทอด สำหรับการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์สามารถประมาณค่าได้โดยใช้ค่าพาราแอนนิซิดีน (Lovaas, 1992 ; Frankel, 2005) เป็นการหาปริมาณแอลดีไฮด์โดยการให้แอลดีไฮด์ที่ทำปฏิกิริยากับสารพาราแอนนิซิดีน สารประกอบแอลดีไฮด์ หลักที่ตรวจวัด คือ 2,4-dienals และ 2-alkenals ดังนั้นจึงใช้วัดระดับการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

กลไกการเกิดปฏิกิริยาสามารถแบ่งเป็นขั้นต่างๆ ได้ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้นเป็นขั้นที่มีอนุมูลอิสระ (R°) เกิดขึ้น โลหะ หรือ ฮีม (haem) เป็นตัวเร่ง จากนั้นอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ (peroxide radical) (ROO°) และอนุมูลเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอื่น และปฏิกิริยานี้จะเกิดต่อเนื่องแบบเดิมไปเรื่อยๆ แบบลูกโซ่ ปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายเป็นขั้นที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันในรูปต่างๆ ทำให้เกิดสารที่มีความคงตัว และทำให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ไม่เกิดปฏิกิริยาต่อไป

initiation	$RH + O_2$	$\longrightarrow$	$R^{\circ} + H^{\circ}$
propagation	$R^{\circ} + O_2$	$\longrightarrow$	ROO°
	$ROO^{\circ} + RH$	$\longrightarrow$	$R^{\circ} + ROOH$
	$ROOH$	$\longrightarrow$	$RO^{\circ} + HO^{\circ}$
termination	$R^{\circ} + R^{\circ}$	$\longrightarrow$	various products

2.2.2 ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization)

เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่มีออกซิเจน ติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งทำให้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการสร้างพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนทำให้เกิดสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง จำพวกวงแหวนโมโนเมอร์ (cyclic monomers) ไดเมอร์ (dimers) และพอลีเมอร์ (polymers) (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2544) พอลิเมอร์ที่ได้ทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงและมีสีคล้ำ เกิดฟองง่ายขณะทอด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

2.2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

การทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อน น้ำที่เป็นองค์ประกอบในอาหารจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) โดยจะถูกย่อยทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ (monoglycerides) ไดกลีเซอไรด์ (diglycerides) และกลีเซอรอล (glycerol) (Gebhardt, 1996) การเกิดปฏิกิริยานี้จะทำให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระสูงขึ้น และเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มจะสลายตัวได้เป็นสารพวกอะโครเลอิน (acrolein) ซึ่งระเหยกลายเป็นควันและมีกลิ่นเหม็น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอาหารที่ทอด อุณหภูมิที่ใช้ทอดโดยถ้าใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการเกิดมากขึ้นและปริมาณกากอาหารที่สะสมอยู่ในเตาทอด ทำให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Gebhardt, 1996)

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในขณะที่น้ำมันได้รับความร้อน สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดได้ 2 ประเภท คือ

1. สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposition products)

สามารถแยกตัวได้ในขณะทอด ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไอน้ำภายในบรรยากาศ และอีกส่วนหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่อไปในน้ำมันหรืออาจถูกดูดซับไว้ในชิ้นอาหารทอด สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ในน้ำมันทอด ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์และแลคโตน สารกลุ่มนี้ทำให้เกิดกลิ่นรสในอาหารทอด ซึ่งเป็นกลิ่นรสเฉพาะตัวของอาหารทอด

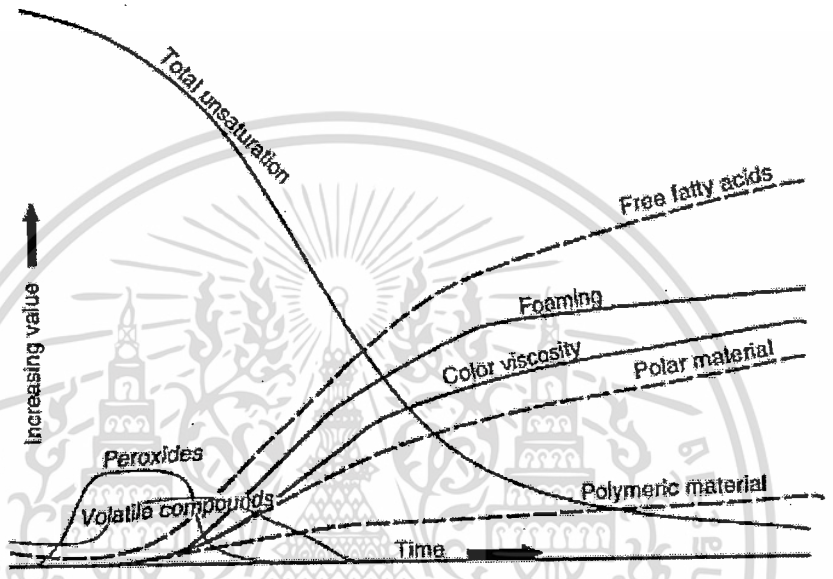
2. สารประกอบสลายตัวที่ระเหยไม่ได้ (nonvolatile decomposition products)

สารที่ไม่ระเหยเป็นสารทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดซึ่งยังคงอยู่ในน้ำมันและจะเกิดการเสื่อมเสียขึ้นเรื่อยๆ เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำๆ โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน โดยมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นรสและคุณภาพของอาหารทอดระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากถูกดูดซับเข้าไปในอาหาร สารเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดฟองและสีของน้ำมันเปลี่ยนไปพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สารประกอบสลายตัวที่ระเหยไม่ได้ในน้ำมันทอด ได้แก่ มอนอเมอร์ ไดเมอร์ ไตรเมอร์และพอลีเมอร์ของไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง รวมทั้งเกิดกรดไขมันอิสระ

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นกระบวนการที่ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันและจุดเกิดควันลดลง ทำให้เกิดฟองในน้ำมัน สี ความหนืด กรดไขมันอิสระ สารประกอบคาร์บอนิล และสารประกอบ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขั้วเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการทอดแบบน้ำมันท่วมยังทำให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นรส (flavor complex) ทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการ แสดงดังภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงในด้านความคงตัวและคุณภาพของกลิ่นรสในอาหารและเนื้อสัมผัสของอาหารที่นำมาทอด รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร โดยทำให้ปริมาณของกรดไขมันจำเป็นในน้ำมันลดลง (Choe and Min, 2007)



ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม

ที่มา : Casimir *et al.* (2008)

2.3 ผลกระทบของความร้อนต่อน้ำมันทอด

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากมีความชื้นและออกซิเจนเคลื่อนที่ออกมาจากอาหารระหว่างทอด นอกจากนั้นยังเกิดการระเหยของสารประกอบคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโตน และกรดอีพอกซี ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นเหม็น โมเลกุลของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจนและให้พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลสูงหรือให้สารประกอบไซคลิก ส่งผลให้ลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างการทอด ทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้น และทำให้อาหารดูดซับน้ำมันมากขึ้น และการเกิดออกซิไดซ์ของวิตามินที่ละลายได้ในไขมันทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เรตินอล แคโรทีนอยด์ และโทโคเฟอรอลจะถูกทำลาย ทำให้สีและกลิ่นของน้ำมันเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามการโทโคเฟอรอลถูกออกซิไดซ์จะมีผลในการป้องกันกระบวนการเกิดการออกซิเดชันของน้ำมัน (วิไล รังสาดทอง, 2545) โดยจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ โทโคเฟอรอลจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ วิตามินอีจะทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลลิพิดเปอร์ออกซี (lipid peroxy) และได้เป็นอนุมูลของวิตามินอี ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีความไวต่ำ ทำให้ไม่สามารถเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันต่อไปได้

ซึ่งการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทั้งทางด้านสี กลิ่น ควัน การเกิดฟองและความหนืด ดังนี้

2.3.1 สี (color)

สีเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่สารสีที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมันและวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันสีที่มีสีเหลืองเข้ม (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) เมื่อน้ำมันผ่านการทอดซ้ำหลายๆ ครั้ง จะส่งผลให้น้ำมันมีสีเปลี่ยนไป คือมีสีคล้ำขึ้นจากเดิม

2.3.2 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของไขมันและน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของไขมันหรือน้ำมันเพิ่มขึ้นความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นมีผลมาจากในระหว่างการทอดมีการเกิดสารพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมันมีความหนืด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

2.3.3 ปริมาณควัน (smoke)

น้ำมันได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิหนึ่งจะสลายตัวและมีควันขึ้น อุณหภูมินี้เรียกว่าจุดเกิดควันของน้ำมัน (smoking point) ซึ่งปริมาณควันในน้ำมันเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมันเกิดการไฮโดรไลซิสได้กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ เมื่อปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นจะมีผลให้จุดเกิดควันต่ำลง หากมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงต่อไปอีก กลีเซอรอลจะละลายตัวให้สารอะโครลีน ทำให้เกิดการระเคืองตาและลำคออย่างรุนแรงจากควันที่เกิดขึ้น (McGill, 1980)

2.3.4 กลิ่นหืน

เมื่อน้ำมันและไขมันได้รับความร้อนต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานจะเกิดกลิ่นหืน เนื่องจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การเกิดกลิ่นหืนในน้ำมันได้ 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.1 กลิ่นหืนเนื่องจากออกซิเจน (oxidative rancidity) เป็นกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้สารประกอบเปอร์ออกไซด์ซึ่งมีกลิ่นหืน ซึ่งกรดไขมันที่มีพันธะคู่หลายตัวจะเกิดกลิ่นหืนได้เร็วกว่ากรดไขมันที่มีพันธะคู่เพียงตัวเดียว โดยในน้ำมันที่มีวิตามินอีสามารถชะลอปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืน นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการเกิดกลิ่นได้โดย เก็บน้ำมันในภาชนะทึบแสง ป้องกันการสัมผัสกับออกซิเจนและเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

2.3.4.2 กลิ่นหืนเนื่องจากน้ำ (hydrolytic rancidity) เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดการสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระโดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม จะมีกลิ่นหืนมาก เช่น การหืนของน้ำมันมะพร้าว เนยและน้ำมันหมู เมื่อเกิดการหืนจะทำให้น้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

2.3.5 การเกิดฟอง (foaming)

อุณหภูมิและระยะเวลาในการทอดจะเป็นตัวเร่งทำให้เกิดฟองในน้ำมันทอดเร็วขึ้น การเกิดฟองมีสาเหตุมาจากผิวหน้าของน้ำมันสัมผัสกับอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพราะสารพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงจะลดความตึงผิวทำให้เกิดฟอง น้ำมันที่เก่าและมีสารพอลิเมอร์จำนวนมากจะทำให้ฟองที่เกิดมีความคงตัวสูงเมื่อทอดอาหารในน้ำมันที่เกิดฟองจะทำให้อาหารอมน้ำมันและไม่กรอบ (Paul and Mittal, 1996)

2.4 การประเมินคุณภาพน้ำมันทอด

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำมันระหว่างการทอดนั้นมีความซับซ้อน รวมทั้งทำให้เกิดสารต่างๆ ขึ้นมากมายและส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด โดยดัชนีชี้วัดคุณภาพสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำมันทอดเพื่อบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำมันทอดมีอยู่มากมายหลายวิธี โดยในร้านอาหารจะนิยมใช้ดัชนีชี้วัดทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีที่คล้ำขึ้น เกิดฟองมากขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น หรือรสชาติของอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป ในการตัดสินใจทิ้งน้ำมัน (Innawong *et al.*; Moreira *et al.*, 1999) ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ของไทยจะนิยมใช้ดัชนีชี้วัดคุณภาพทางเคมี เช่น การวัดปริมาณกรดไขมันอิสระหรือค่าปริมาณกรด (acid value) ค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณสารประกอบมีขั้ว เป็นต้น ปัจฉิมาภรณ์ อุดมคุณ (2549) ได้ศึกษาดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำมันทอดที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำมันที่ผู้ประกอบการทำการทอดผลิตภัณฑ์ (เนื้ออกไก่ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปและกล้วย) อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง พบว่าการระบุถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดนั้นไม่ควรใช้วิธีการวัดเพียงวิธีเดียวเท่านั้น แต่ควรใช้หลายๆวิธีเพื่อประกอบพิจารณาตัดสินใจในการระบุคุณภาพของที่ใช้มันทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการเสื่อมเสียของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ โดยใช้ดัชนีชี้วัดคุณภาพที่หลากหลายในการประเมินคุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอด Shahina และคณะ (2005) ศึกษาการเสื่อมเสียของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ทอดเฟรนช์ฟรายส์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที เมื่อเวลาในการทอดที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีนและค่าของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าไอโอดีนมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบการเสื่อมเสียของน้ำมันชนิดต่างๆ ที่ใช้ทอดพบว่าน้ำมันมะกอกให้ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าไอโอดีน และเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระต่ำที่สุด เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่ต่างกัน

2.5 การทอด (Frying)

กระบวนการทอดเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนที่ใช้มานาน มีวัตถุประสงค์เพื่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร ถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่า water activity (a_w) ที่ผิวอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร อาหารทอดจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบนอก นุ่มใน หรือกรอบทั้งชิ้น มีกลิ่นรสและลักษณะปรากฏที่ชวนให้รับประทาน อาหารซึ่งทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทมันฝรั่ง ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพด จะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง และสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม (วิไล รังสาดทอง, 2545) ส่วนใหญ่แล้วเวลาที่ใช้ในการทอดอาหารขึ้นอยู่กับ ชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีการทอด ความหนาของชิ้นอาหาร และความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภค

ในกระบวนการทอด อุณหภูมิภายในชิ้นอาหารจะมีค่าต่ำกว่าจุดเดือดของของเหลวหรือสารละลายอื่นๆ ที่มีในอาหาร เนื่องจากของเหลวส่วนใหญ่ที่มีในอาหารเป็นน้ำ จุดเดือดของของเหลวภายในชิ้นอาหารจึงใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ เมื่อกระบวนการทอดเริ่มขึ้นน้ำจำนวนมากจะระเหยโดยเริ่มตั้งแต่ชั้นเปลือกนอกของอาหารเมื่อสัมผัสกับน้ำมันร้อน กระบวนการทอดสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงดังนี้ (ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล, 2547)

1. ช่วงแรกของการให้ความร้อน (initial heating) จะเป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ

2. ช่วงการเดือดของน้ำที่ผิวอาหาร (surface boiling) จะเป็นช่วงน้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอผิวหน้าเริ่มแห้งเกิดเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ

3. ช่วงอัตราการระเหยลดลง (falling rate) จะเป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชิ้นอาหาร อัตราการระเหยน้ำจะเริ่มช้าลง อาหารจะเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ เช่น เกิดการเจลาติไนซ์ของแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

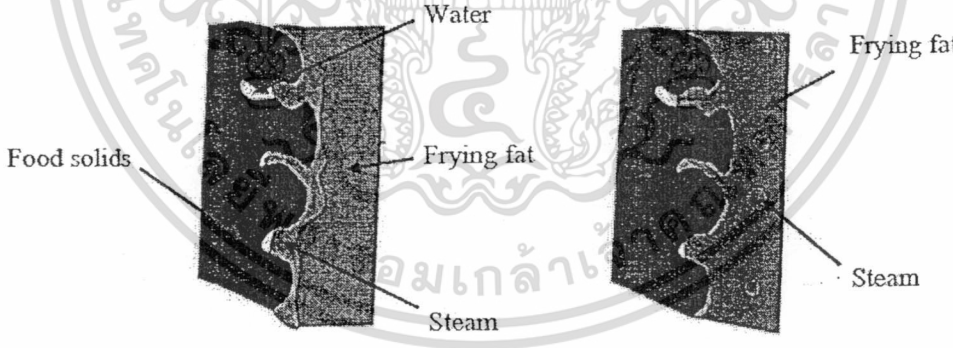
4. จุดยุติของการเกิดฟอง (bubble end-poin) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานาน น้ำระเหยได้ช้าลงทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

การทอดที่อุณหภูมิสูงจะช่วยลดเวลาและเพิ่มอัตราการผลิต อย่างไรก็ตามอุณหภูมิสูงจะเร่งให้น้ำมันเกิดกรดไขมันอิสระซึ่งจะเปลี่ยนแปลงความหนืด สีและกลิ่นของน้ำมัน ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อยขึ้นจึงเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำมันในการทอด และการเดือดของอาหารอย่างรุนแรงที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันที่ติดขึ้นมากับไอน้ำ อีกทั้งระดับอุณหภูมิสูงจะยังส่งผลให้เกิดการแตกตัวกลายเป็นอะโครลีน

2.6 การดูดซับน้ำมันและคุณภาพของอาหารทอด

2.6.1 กลไกการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด (Saguy and Pinthus, 1995) ดังนี้

2.6.1.1. การแทนที่ความชื้น (replacement of moisture) ในอาหารจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ เมื่ออาหารสัมผัสกับน้ำมันร้อน น้ำภายในอาหารจะระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างของเซลล์ภายในอาหารเกิดช่องว่าง และน้ำมันจะถูกดูดซับมาแทนที่น้ำในช่องว่าง โดยอาหารยิ่งมีปริมาณความชื้นสูงจะส่งผลให้มีการดูดซับน้ำมันมากขึ้น



ภาพที่ 2.2 กลไกการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอด

ที่มา: Stauffer (1996)

ภาพที่ 2.2 แสดงกลไกในการดูดซับน้ำมันโดยอาศัยการแทนที่น้ำด้วยน้ำมัน เป็นกลไกที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอด โดยบริเวณที่เป็นสีดำแทนผิวหน้าของอาหารที่จมอยู่ในน้ำมัน สีขาว คือ น้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหาร ส่วนสีเทา คือ ไอน้ำ และสีเทาเข้มคือน้ำมันที่ใช้ในการทอด กลไกการดูดซับน้ำมันเริ่มจากเมื่อปล่อยชิ้นอาหารลงในน้ำมันร้อน จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวหน้าอาหารและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันร้อน อาหารได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงประมาณ 180 องศาเซลเซียส น้ำในอาหารจะเริ่มระเหยกลายเป็นไอน้ำออกมาสะสมอยู่ระหว่างผิวหน้าอาหารและน้ำมันในลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบอยู่ที่ผิวหน้าอาหารระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจะระเหยหลุดออกไปเป็นไอน้ำ เมื่อน้ำเคลื่อนที่ออกจากอาหารทำให้ผิวหน้าอาหารเกิดเป็นช่องว่างและเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าไปแทนที่บริเวณช่องว่างนั้น

2.6.1.2. การเกิดเปลือก (crust formation) ซึ่งการเกิดเปลือกนอกของอาหารมีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของน้ำมันเป็นอย่างมาก เนื่องจากพบว่าน้ำมันที่ถูกดูดซับเข้าไปในอาหารโดยส่วนใหญ่มักปรากฏอยู่บริเวณเปลือกนอก

2.6.1.3. แรงตึงผิว (interfacial tension) เมื่อเริ่มจุ่มอาหารในน้ำมัน น้ำมันที่เกาะที่ผิวหน้าอาหารจะมีแรงตึงผิวระหว่างผิวหน้าอาหารกับน้ำมันมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างน้ำมันด้วยกันเอง และเมื่อเวลาผ่านไปแรงตึงผิวระหว่างอาหารกับน้ำมันจะลดลงจนต่ำกว่าแรงดึงดูดระหว่างน้ำมันกับน้ำมัน ทำให้น้ำมันที่ผิวหน้าเคลื่อนที่เข้าไปภายในชิ้นอาหาร

2.6.1.4. ความพรุน (porosity) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมัน ความพรุนเริ่มต้นของอาหารแสดงถึงสัดส่วนของช่องว่างภายในอาหาร ซึ่งมีผลต่อการดูดซับน้ำมัน

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมัน

อาหารเมื่อผ่านการทอดจะมีการดูดซับน้ำมันเข้าไปในตัวอาหารแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารทอด ดังแสดงในตารางที่ 2.4 การดูดซับน้ำมันของอาหารจะมากหรือน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

เวลาและอุณหภูมิในการทอด อุณหภูมิของการทอดส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 160-200 องศาเซลเซียส การทอดที่อุณหภูมิสูงทำให้การดูดซับน้ำมันต่ำ เพราะขณะที่น้ำมันร้อนความหนาแน่นของน้ำมันจะต่ำลงทำให้น้ำมันส่วนน้อยถูกดูดซับในเวลาจำกัด ส่วนระยะเวลาในการทอดก็มีผลต่อการดูดซับน้ำมัน กรณีใช้อุณหภูมิต่ำจะต้องใช้เวลาในการทอดนาน ทำให้อาหารดูดซับน้ำมันไว้ได้มาก การศึกษาของ Pedreschi และคณะ (2007) พบว่า มันฝรั่งทอดจะมีการดูดซับน้ำมันเพิ่มเมื่ออุณหภูมิในการทอดลดลง เพราะที่อุณหภูมิสูงกระบวนการทอดจะใช้เวลาสั้นและเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแข็งทำหน้าที่เป็นตัวกั้นการแทรกซึมของน้ำมัน

ปริมาณความชื้นในอาหาร หากมีปริมาณเริ่มต้นที่สูงจะทำให้การดูดซึมน้ำมันมากยิ่งขึ้น ในทางตรงข้าม หากอาหารมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำเป็นผลให้น้ำมันที่ดูดซับเข้าไปแทนที่น้ำในชิ้นอาหารน้อยลง ซึ่ง Debnath และคณะ (2003) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (mass transfer coefficient) ของน้ำมันและความชื้นมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง

องค์ประกอบและรูปร่างของอาหาร อาหารแต่ละชนิดมีองค์ประกอบแตกต่างกันมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าไปในอาหาร โดยอาหารที่มีสัดส่วนของอะไมโลเพกตินต่ออะไมโลสต่ำก

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าจะดูดซับน้ำมันได้น้อยกว่า และอาหารที่โปรตีนเป็นองค์ประกอบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการดูดซับน้ำมัน เพราะโปรตีนมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ การใช้ไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด สามารถลดการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดได้ เช่น การเคลือบผิวอาหารด้วย methylcellulose หรือ hydroxypropylmethylcellulose (Dow Chemical, 2002)

อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของอาหารต่อมวลจะมีผลต่อการดูดซึมน้ำมัน อาหารที่มีพื้นผิวขรุขระทำให้มีพื้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณของน้ำมันที่ถูกดูดซับในอาหารมากขึ้น Pinthus *et al.* (1995) พบว่าความพรุนของอาหารก่อนทอดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับสัดส่วนของปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในอาหารต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากอาหาร นอกจากนี้ความพรุนของอาหารที่ทอดแล้วและปริมาณน้ำมันในอาหารทอดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาทอด

คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมันทอด การทอดอาหารหากเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เมื่อมีการใช้ความร้อนสูงมากหรือใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายๆ ครั้ง ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ง่าย โดยเฉพาะการทอดอาหารที่มีน้ำมากมีผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นและการเกิดปฏิกิริยาในระหว่างการทอดจะทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นพิษต่อร่างกาย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) และทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ในน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าระหว่างน้ำมันกับอาหารได้ไม่ดีเท่าที่ควร อาหารทอดจึงดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น Pokorny (1980) พบว่าน้ำมันที่สกัดออกมาจากอาหารทอดจะมีปริมาณสารพอลิเมอร์มากกว่าในน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้ว และในกรณีที่ใช้น้ำมันใหม่ในการทอดสารพอลิเมอร์จะเกิดในปริมาณน้อยมาก

Nasirullah and Rangaswamy (2005) ศึกษาการใช้น้ำมันทอดอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมัสตาร์ดและน้ำมันปาล์ม ผสมกับน้ำมันรำข้าวและน้ำมันงาดิบในอัตราส่วน 60:20:20 ในการทอดมันฝรั่งชุบแป้ง (potato bajji) ที่อุณหภูมิ 180-190 องศาเซลเซียส ทอดต่อเนื่องกันเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างมันฝรั่งชุบแป้งและน้ำมันที่เหลือจากการทอด สำหรับน้ำมันที่เหลือจากการทอดเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและให้สัมผัสกับอากาศ เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาทอดต่อ โดยทำต่อเนื่องกัน 3 ครั้ง พบว่ามันฝรั่งมีความชื้นร้อยละ 12.8-16.0 หลังจากการทอดมันฝรั่งดูดซับน้ำมันร้อยละ 32.5-38.1 น้ำมันที่ดูดซับในอาหารเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และพบว่าค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันที่เหลือจากทอดของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันผสมและน้ำมันปาล์มผสม มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10.8 ถึง 24.4 และจาก 1.5 ถึง 10.7 ตามลำดับ น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันผสมมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยที่สุด ส่วนน้ำมันปาล์มผสมมีความคงตัวสูงที่สุดสำหรับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และคอนจูเกตไดอีน (conjugated dienes) พบในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันผสมมีค่าสูงสุด ทั้งน้ำมันที่เหลือจากการทอดและน้ำมันที่ถูกดูดซึมในมันฝรั่งทอด ส่วนน้ำมันมัสตาร์ดผสมและน้ำมันปาล์มผสมไม่พบคอนจูเกตไดอีนเนื่องจากน้ำมันมีความคงตัวมากกว่าน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันผสมและน้ำมันถั่วลิสงผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด

Type of fried food	Fat content (%)
Potatoes (French fries, chips)	15-36
Cereal products (doughnut, etc.)	18-30
Bread slices	35-50
Vegetables (both breaded and not)	35-75
Mushroom (breaded)	65-80
Beef, pork meat balls	10-25
Chicken, battered and breaded	10-30
Fish, breaded	20-42
Sausages	38-70

ที่มา: Dimitrios and Ibrahim (1999)

2.6.3 การเสื่อมเสียของอาหารทอดเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์อาหารทอดจะมีการดูดซับน้ำมันเข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดจะส่งผลโดยตรงต่อคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอด (Plessis and Meredith, 1999) ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาจะการเกิดการออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposition products) สารกลุ่มนี้ทำให้เกิดกลิ่นรสในอาหารทอด ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับของกลุ่มผู้บริโภค

Lake and Schole (1997) ศึกษาคุณภาพของอาหารจานด่วนระหว่างการขาย ที่ไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์ โดยการสุ่มตัวอย่างอาหารจานด่วนปลาและมันฝรั่งแผ่นบางที่ทอดแบบน้ำมันท่วมในน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ ประเมินคุณภาพโดยวัดระดับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในตัวอย่างอาหาร พบว่า ค่าความเป็นกรดและค่าเปอร์ออกไซด์ของไขมัน มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับปริมาณสารประกอบมีขั้วมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 25 ซึ่งยังเป็นที่ยอมรับ ค่า TBA มีค่าอยู่ในช่วง 0.2–0.6 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำมันพืชจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันที่ได้จากสัตว์ ดังการเกิดออโต้ออกซิเดชันในน้ำมันพืชจะเกิดได้มากกว่า แต่ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณสารประกอบมีขั้ว ที่เกิดขึ้นพบว่ามีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างน้ำมันทอดจากน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ และพบว่าน้ำมันที่สกัดจากปลาที่ทอดในน้ำมันจากสัตว์ มีค่า TBA มากกว่าในน้ำมันที่ทอด และมีค่าสูงกว่าน้ำมันที่สกัดจากปลาที่ทอดในน้ำมันพืชเล็กน้อย ปริมาณของคอนจูเกตไดอีน (conjugated dienes) ในน้ำมันในอาหารทอดมีค่าอยู่ในช่วง 20–30 นาโนโมลต่อมิลลิกรัม และการที่ผู้บริโภคได้รับอาหารที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำให้เพิ่มระดับการเกิดออกซิเดชันในเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119894

คงวุฒิ นิรันตสุข และ คณะ (2549) ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยการใช้ดัชนีชี้วัดจาก การเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้เป็นเวลา 12 เดือน ภายใต้อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่ผลของระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีการเพิ่มขึ้นของดัชนีทั้งสองอย่างเห็นได้ชัด โดยในส่วนของค่าความหืน (TBA) จะมีค่าสูงขึ้นโดยเฉลี่ย ร้อยละ 30.3 และ 26.2 เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าค่าคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความหืน ไม่มีความเป็นเส้นตรงซึ่งเหตุผลดังกล่าวอาจมาจากค่าความหืนเป็นการแสดงถึงองค์ประกอบที่ระเหยได้ของผลิตภัณฑ์จากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงจากค่าดังกล่าวอาจคลาดเคลื่อนได้เพราะมีโอกาสสลายไปได้จากขั้นตอนการผลิตและการเก็บรักษา

จริยา สุขจันทรา และ กามีละห์ หะมะ (2551) ศึกษากล้วยหินฉาบเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย โดยเปรียบเทียบน้ำมันที่ใช้ทอด 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (A) น้ำมันปาล์ม (B) และน้ำมันรำข้าว (C) พบว่า กล้วยหินฉาบที่ทอดด้วยน้ำมันรำข้าว มีค่าการดูดซับน้ำมันสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิด ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าคะแนนการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ค่าคะแนนการเกิดกลิ่นหืนประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ของผลิตภัณฑ์หลังทอด และทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งคะแนนที่สูงแสดงระดับความหืนที่เพิ่มขึ้นโดยค่าเปอร์ออกไซด์และค่าคะแนนการเกิดกลิ่นหืนของกล้วยหินฉาบที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์ม (A) มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์ม (B) และน้ำมันรำข้าว (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 หม้อทอดอัตโนมัติ	Fritel PROFI-LINE (FRI-3505), Belgium
3.1.2 เครื่องวัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว	Ebro™ electronic (FOM 310), Germany
3.1.3 เครื่องวัดความหนืด	Brookfield (DV-III), USA
3.1.4 เครื่องวัดสี	Hunter Lab (Color Quest XE), USA
3.1.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	Thermo electron corporation, USA
3.1.6 เครื่องสไลด์	Omas, Italia

3.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.8 ตู้แช่แข็ง

3.1.9 เตาไฟฟ้า (hotplate)

3.1.10 อุปกรณ์เครื่องครัวในการทำผลิตภัณฑ์

3.1.11 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ค่าพาราแอนนิซิดีน (anisidine value) และความหืน (Thiobabituric acid,TBA)

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 มันฝรั่ง	พันธุ์เดนนีเบค (จากตลาดหัวตะเข้ กทม.)
3.2.2 น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ตรามรกต (มีระยะเวลาการเก็บจากวันที่ผลิตประมาณ 6 เดือน)
3.2.3. น้ำมันรำข้าว	ตราคิง (มีระยะเวลาการเก็บจากวันที่ผลิตประมาณ 4 เดือน)

3.3 สารเคมี

3.3.1 เอธิลแอลกอฮอล์ 95%	MERCK	Germany
3.3.2 ฟีนอล์ฟธาลีน	CARLO ERBA	France
3.3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์	CARLO ERBA	France
3.3.4 กรดอะซิติก	LAB-SCAN	Thailand
3.3.5 คลอโรฟอร์ม	LAB-SCAN	Thailand
3.3.6 โพแทสเซียมไอโอไดด์	CARLO ERBA	France
3.3.7 โซเดียมไธโอซัลเฟต	Scharlau	Germany

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 กรดไฮโดรคลอริค	LAB-SCAN	Thailand
3.3.9 พาราแอนนิซิดีน	MERCK	Germany
3.3.10กรดไตรคลอโรอะซีติก	Fluka	Germany
3.3.11กรดไทโอบาร์บิทิวริก	Fluka	Germany

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การเตรียมตัวอย่าง

ล้างทำความสะอาดมันฝรั่งและปอกเปลือก แบ่งตัวอย่างออกมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (AOAC, 2000) โดยควบคุมปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่เกินร้อยละ 0.2 ส่วนที่เหลือแช่น้ำจนกระทั่งสไลด์ โดยสไลด์เป็นแผ่นหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 เซนติเมตร ล้างแป้งออกจากผิวหน้าแผ่นมันฝรั่งชิ้นบาง จากนั้นนำมันฝรั่งชิ้นบางมาลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที ตักใส่น้ำเย็น แล้วนำมาผึ่ง 20 นาที บนตะแกรงก่อนนำไปทอด

3.5.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิการทอดต่อคุณภาพน้ำมัน

นำน้ำมันปาล์มโอเลอีน ปริมาณ 4 ลิตร ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิคงที่ตามที่กำหนดเป็นเวลา 30 นาที ในหม้อทอดอัตโนมัติ (Fritel PROFI-LINE (FRI-3505), Belgium) จากนั้นนำมันฝรั่งที่ผ่านการเตรียม ทอดที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส ทอดครั้งละ 80 กรัม จนกระทั่งสุกเหลืองเป็นเวลา 2-4 นาที (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ทอด) หลังจากทอดเสร็จปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปจนครบ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมันฝรั่งที่เตรียมไว้ 80 กรัม ทอดเช่นเดียวกับการทอดชั่วโมงที่แล้วและปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปอีกจนครบ 1 ชั่วโมง ทำซ้ำต่อเนื่องกันวันละ 5 ชั่วโมง ซึ่งหลังจากการทอดเสร็จสิ้นในแต่ละวันจะทิ้งให้น้ำมันเย็นตัวแล้วกรองน้ำมันด้วยผ้าขาวบางเพื่อใช้ทอดในวันต่อไป โดยทอดติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 วัน เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังจากเสร็จสิ้นการทอดของแต่ละวัน 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดสีชาเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ทำซ้ำเช่นเดียวกันตั้งแต่เริ่มการทอดวันที่ 1 แต่เปลี่ยนจากน้ำมันปาล์มโอเลอีนเป็นน้ำมันรำข้าว

3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันทอด

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน

- ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) (AOCS Ca 5a-40, 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) โดยใช้เครื่อง FOM 310 วัดที่อุณหภูมิ 150±1 องศาเซลเซียส
- ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) (AOCS Cd 8-53, 1997)
- ค่าพาราแอนนิซิดีน (p-anisidine value) (AOCS Cd 18-90, 1997)

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน

- ความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield (DV-III), USA) หัววัดเบอร์ 18 ใช้ตัวอย่างน้ำมัน 5 กรัม วัดที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส
- วัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab (Color Quest XE)

3.5.4 การวิเคราะห์คุณภาพมันฝรั่งทอด

เก็บตัวอย่างมันฝรั่งทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส จากการทอดครั้งสุดท้ายของแต่ละวัน โดยนำมันฝรั่งทอดแล้วมาซับน้ำมันออกโดยใช้กระดาษซับมันรองพื้น ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างใส่ในถุงพลาสติกพอลิโพรไพลีน (polypropylene) และปิดถุงให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 120 วัน เก็บตัวอย่างทุก 0 30 60 90 และ 120 วัน โดยตัวอย่างที่รอการวิเคราะห์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นำไปศึกษาคุณภาพทางเคมี โดยค่าความหืน (Thiobabituric acid,TBA) (ดัดแปลงจาก Jayasingh and Cornforth, 2003)

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์อัตราการเสื่อมเสียคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด และศึกษาจลนศาสตร์การเสื่อมเสียของน้ำมันที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สมการ Arrhenius

การวิเคราะห์คุณภาพมันฝรั่งทอด ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสปลิทพลอทแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (split-plot design in CRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ศึกษาผลของอุณหภูมิในระหว่างการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่มีต่อการเสื่อมเสียทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว โดยใช้มันฝรั่งชิ้นบางหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 เซนติเมตร ที่มีความชื้นร้อยละ 86.54±1.46 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 0.16±0.07 โดยควบคุมปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่ให้เกินร้อยละ 0.2 เนื่องจากถ้ามันฝรั่งมีปริมาณน้ำตาลอยู่สูงจะทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในมันฝรั่งทอดซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน (Gray and Hughes, 1978) ส่งผลต่อสีของน้ำมันทอดและผลิตภัณฑ์ ซึ่งสีของมันฝรั่งทอดมีอิทธิพลสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภคโดยทั่วไปจะไม่ชอบสีน้ำตาลเข้ม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ยอมรับได้ในยุโรปคือร้อยละ 0.2 สำหรับมันฝรั่งทอดแบบแผ่น และร้อยละ 0.5 สำหรับมันฝรั่งทอดแบบแท่ง (Conmou, 1991)

จากนั้นนำมันฝรั่งมาทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส ครั้งละ 80 กรัม เวลา 2-4 นาที หลังจากทอดเสร็จปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปจนครบ 1 ชั่วโมง ทำซ้ำต่อเนื่องกันวันละ 5 ชั่วโมง ทอดติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 วัน มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ดังนี้

4.1 การศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ทอดมันฝรั่งชิ้นบางติดต่อกันเป็นเวลา 5 วัน

4.1.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมีของน้ำมัน

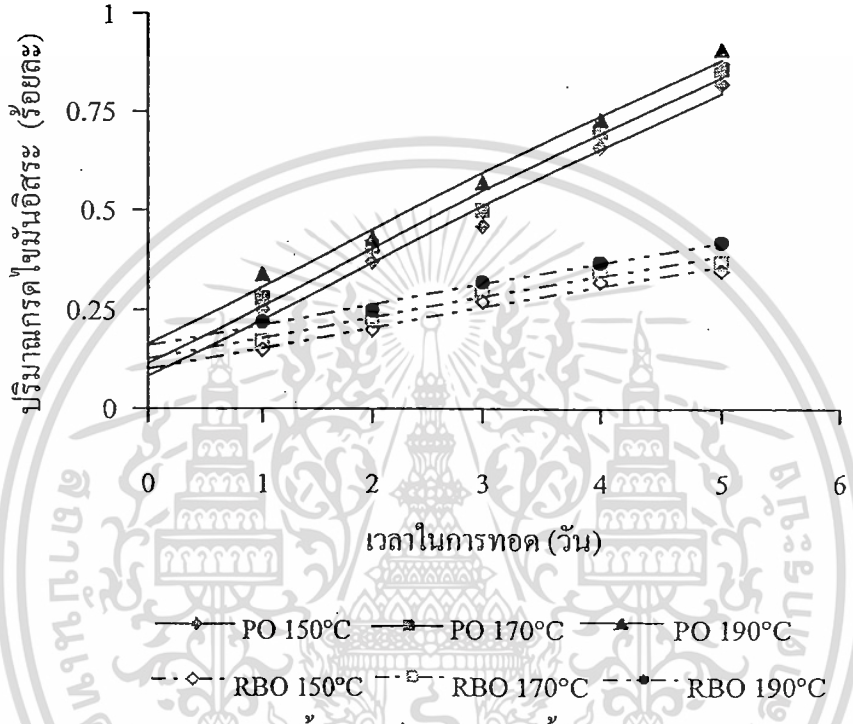
4.1.1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเมื่อทอดครบ 5 วัน พบว่าน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละ 0.82 0.86 และ 0.93 ตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว มีปริมาณร้อยละ 0.35 0.40 และ 0.47 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันปาล์มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันรำข้าว และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิต่างๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น (ภาพที่ 4.1) การทอดที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าการทอดที่อุณหภูมิต่ำ พบในน้ำมันทอดทั้ง 2 ชนิด ค่าความชันของน้ำมันแสดงในตารางที่ 4.1 โดยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าความชันอยู่ระหว่าง 0.1435 ถึง 0.1581 ในน้ำมันรำข้าวอยู่ระหว่าง 0.0526 ถึง 0.0618

ซึ่งกรดไขมันอิสระเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยอัตราการเกิดจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอาหาร อุณหภูมิที่ใช้ทอด อุณหภูมิสูงจะเร่งการเกิดปฏิกิริยา การที่ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มสูงกว่าน้ำมันรำข้าว เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีจุดเกิดควันที่สูงกว่าทำให้มีความคงตัวต่อความร้อนและทนต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยปริมาณกรดไขมันอิสระจะสัมพันธ์กับจุดเกิดควัน ส่งผลให้ปริมาณกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าวเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ต่ำกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริพันธ์ ประภาศิริสุลี(2551) พบว่าน้ำมันที่ผ่านการทอดเฟรนช์ฟรายส์ ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน มีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าวต่ำกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน และการใช้น้ำมันรำข้าวในสัดส่วนที่สูงทำให้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีความคงตัวต่อความร้อนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มโอเลอีนร้อยละ 100



ภาพที่ 4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

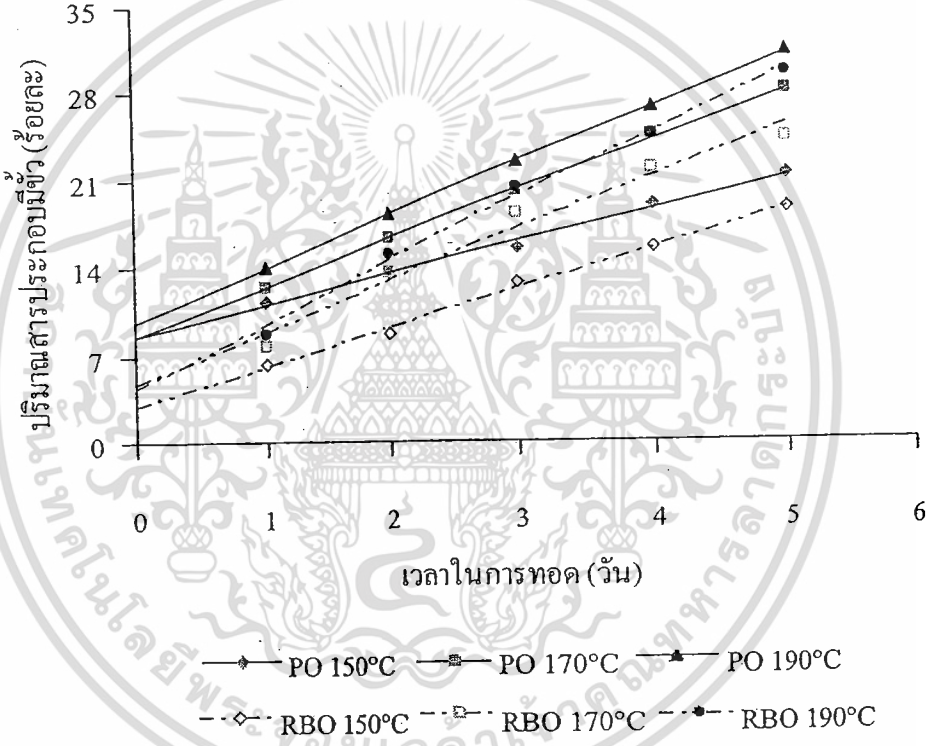
4.1.1.2 ปริมาณสารประกอบมีขั้ว

การสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ในระหว่างการทอดจากปฏิกิริยาต่างๆ ทำให้เกิดสารประกอบมีขั้ว เช่น ทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบที่สลายตัวได้ (decomposition products) ขึ้น ทั้งสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatiledecomposed product) เช่น แอลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketones) อีพอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbones) กรดคาร์บอกซิลิก โครงสร้างที่เป็นวง (cyclic structures) เป็นต้น และสารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย (non-volatile decomposed product) เช่น โมโนเมอร์แบบวง (cyclic monomer) โมโนเมอร์ไม่ใช่แบบวง (non-cyclic monomer) ไดเมอร์ ไตรเมอร์ รวมถึงอะคริลาไมด์ (acrylamide) ด้วย (Shyu *et al.*, 1998)

ซึ่งเมื่อทอดครบ 5 วัน พบว่าปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส น้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละ 21.3 18.5 และ 24.3 ตามลำดับ สำหรับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 170 และ 190 องศาเซลเซียส น้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิ 190 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส มีปริมาณสารประกอบมีขั้วร้อยละ 28.0 31.3 และ 29.5 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) โดยกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้น้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารมีปริมาณสารประกอบมีขั้วไม่เกินร้อยละ 25 ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการทอดที่นานจะเร่งให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพ Arroyo และ คณะ (1992) พบว่าปริมาณสารประกอบมีขั้วจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งหรือระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ซึ่งการทอดที่อุณหภูมิต่ำมีอัตราการเพิ่มช้ากว่าทอดที่อุณหภูมิสูง โดยสังเกตได้จากค่าความชันและเส้นตรงในภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 ที่แสดงถึงค่าความชันเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าความชันเพิ่มขึ้นจาก 2.5250 ถึง 4.3000 ในน้ำมันรำข้าวเพิ่มขึ้นจาก 3.1250 ถึง 5.1000



ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

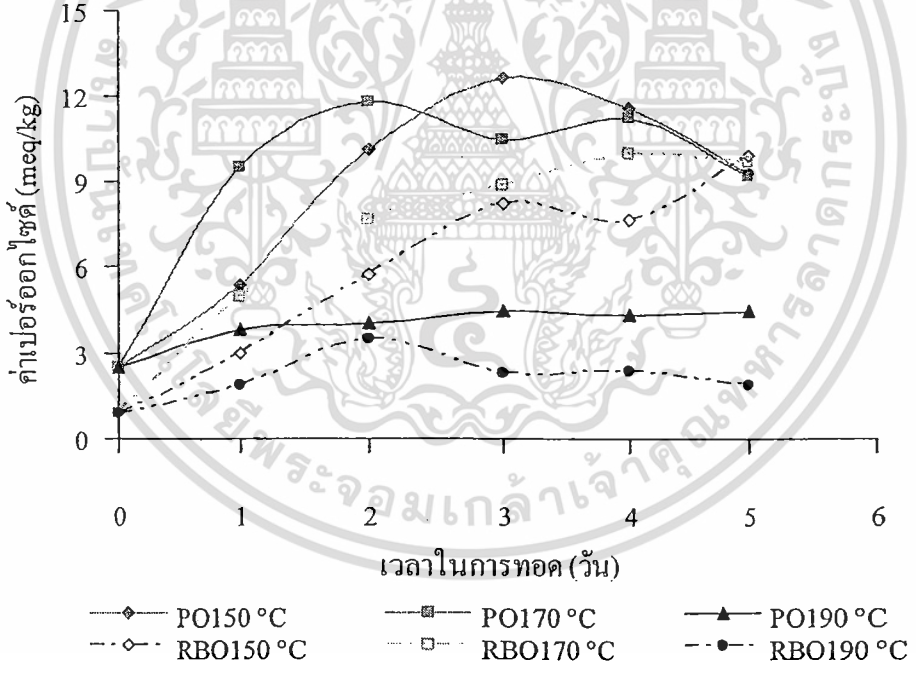
4.1.1.3 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากภาพที่ 4.3 พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ในการทอดที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 3 วันแรกอย่างชัดเจน จากนั้นก็จะเพิ่มหรืออาจลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์ออกไซด์จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการทอดจะเร่งให้สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์มีสมบัติไม่เสถียรสามารถสลายตัวได้ง่าย (Lovaas, 1992 ; Frankel, 2005) และการเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันรำข้าวมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ช้ากว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีนที่อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีโอไรซานอลที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีในปริมาณที่สูง ซึ่งสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารแอนติออกซิแดนท์ที่พบในน้ำปาล์ม (Basoglu *et al.*, 1996; Sambanthamurthi *et al.*, 2000). จึงทำให้น้ำมันรำข้าวมีความคงทนต่อการเกิดออกซิเดชัน อย่างไรก็ตาม การที่ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าต่ำไม่ได้แสดงว่าน้ำมันยังมีคุณภาพที่ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปัจฉิมา ภรณ์ อุดมคุณ และคณะ (2549) พบว่าการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันที่ผู้ประกอบการทำการทอดผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิสูงด้วยค่าเปอร์ออกไซด์ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมันเนื่องจากค่าเปอร์ออกไซด์บางส่วนจะสลายตัวที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด

การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์สามารถหาได้จากปริมาณของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนที่ ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว รวมถึงสารที่สร้างจากอนุมูลอิสระของกรดไขมันด้วย (Tyagi and Vasishtha, 1996) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยความร้อนและแสงก็มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดเร็วขึ้น



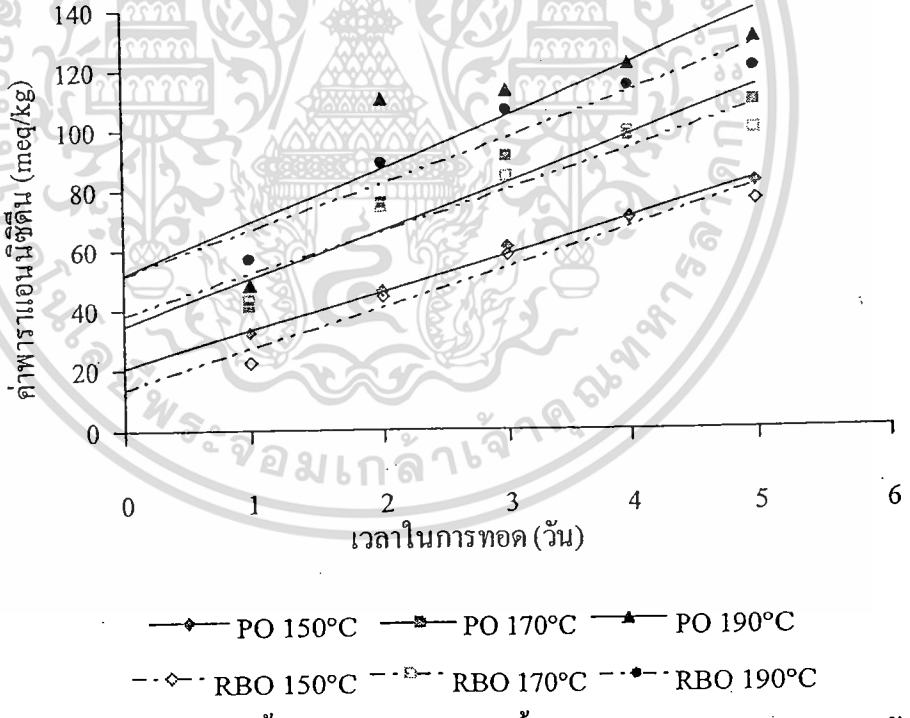
ภาพที่ 4.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.4 ค่าพาราแอนนิซิดีน

เนื่องจากเปอร์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา จึงทำให้ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลานานขึ้นเปอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้สารต่างๆ เกิดขึ้นหลายชนิดในกลไกการเกิดออกซิเดชัน จึงทำให้ปริมาณเปอร์ออกไซด์มีค่าลดลง ดังนั้นการตรวจหาปริมาณเปอร์ออกไซด์เพียงชนิดเดียวจึงไม่สามารถสรุประดับการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ จึงต้องการตรวจสอบหาปริมาณสารที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง จากเปอร์ออกไซด์ซึ่งส่วนใหญ่ คือ สารประกอบแอลดีไฮด์

ค่าพาราแอนนิซิดีนเป็นตัวบ่งชี้ในการเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันอันดับสองที่ได้จากการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าพาราแอนนิซิดีนสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น และสะสมมีปริมาณมากกว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงกว่า การเพิ่มของค่าพาราแอนนิซิดีนแสดงให้เห็นว่ามีการสะสมของสารประกอบแอลดีไฮด์ ที่สำคัญเช่น 2,4-dienals และ 2-alkenals ในน้ำมันระหว่างทอด ถึงแม้ว่าจะเป็นที่สามารถระเหยได้แต่บางส่วนก็ยังถูกสะสมอยู่ในน้ำมัน ทำให้น้ำมันทอดเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Perkins, 1996)



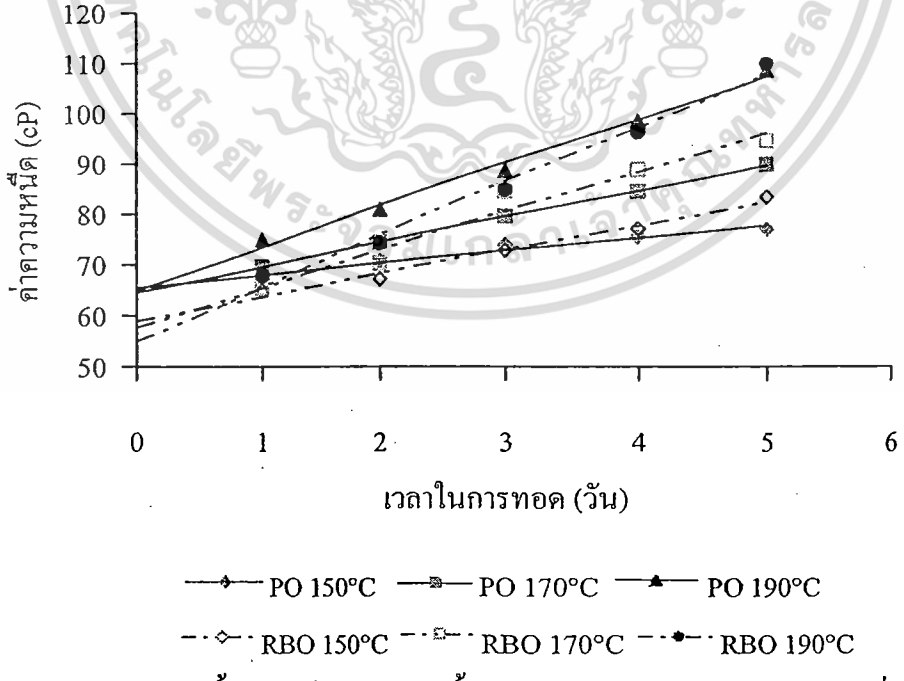
ภาพที่ 4.4 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน

4.1.2.1 ค่าความหนืด

การเกิดของสารประกอบพอลิเมอร์มีผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามในระหว่างการทอดการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสูงกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Gertz and Kochhar, 2001) ซึ่งน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง จำพวกไซคลิกโมโนเมอร์ (cyclic monomers) ไดเมอร์ (dimers) และพอลีเมอร์ (polymers) จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดสูงและมีสีคล้ำ เกิดฟองง่ายขณะทอด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ค่าความหนืดของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดและอุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น โดยการทอดที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มมีค่าความชันเป็น 2.5000 5.0550 และ 8.4700 น้ำมันรำข้าวมีค่าความชันเป็น 4.7300 7.6950 และ 10.6000 ตามลำดับ ซึ่งค่าความชันแสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น (ตารางที่ 4.1) การทอดที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น (ภาพที่ 4.5) ในการทอด 2 วันแรก ความหนืดของน้ำมันรำข้าวจะต่ำกว่าน้ำมันปาล์มในทุกอุณหภูมิ แต่เมื่อทอดระยะเวลานานขึ้น ความหนืดในน้ำมันรำข้าวจะเพิ่มสูงกว่า การที่ค่าความหนืดของน้ำมันรำข้าวสูงกว่าน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการทอดครบ 5 วัน ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำมันรำข้าวประกอบด้วยกรดลิโนเลอิกและกรดโอเลอิกในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนทำให้มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้เกิดสารประกอบพอลิเมอร์ต่างๆ ที่ทำให้น้ำมันเกิดความหนืด (Bracco *et al.*, 1981)



ภาพที่ 4.5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 สี

สีของน้ำมันจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันทอดอาหารจะส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพของน้ำมันทอดและอาหารทอด (Melton *et al.*, 1994) โดยน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน เมื่อนำน้ำมันไปวัดค่าสี พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มของสี (C*) มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

น้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าวก่อนการทอดมีค่าความสว่างเริ่มต้น 85.36 และ 87.17 เมื่อผ่านการทอดครบ 5 วัน ที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส ค่าความสว่างในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด มีค่าลดลง ดังนี้ น้ำมันปาล์มมีค่าความสว่าง 74.38 69.92 และ 66.48 ตามลำดับ น้ำมันรำข้าวค่าความสว่าง 80.31 77.56 และ 74.47 ตามลำดับ ค่าความสว่างของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น และการทอดที่อุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำมันมีค่าลดลงมากกว่าการทอดในอุณหภูมิต่ำ (ภาพที่ 4.6) การลดลงของค่าความสว่างในน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันทอดมีสีคล้ำมากขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและจากการไหม้เกรียมของเศษอาหารทอดที่ตกค้าง (Che and Tan, 1999)

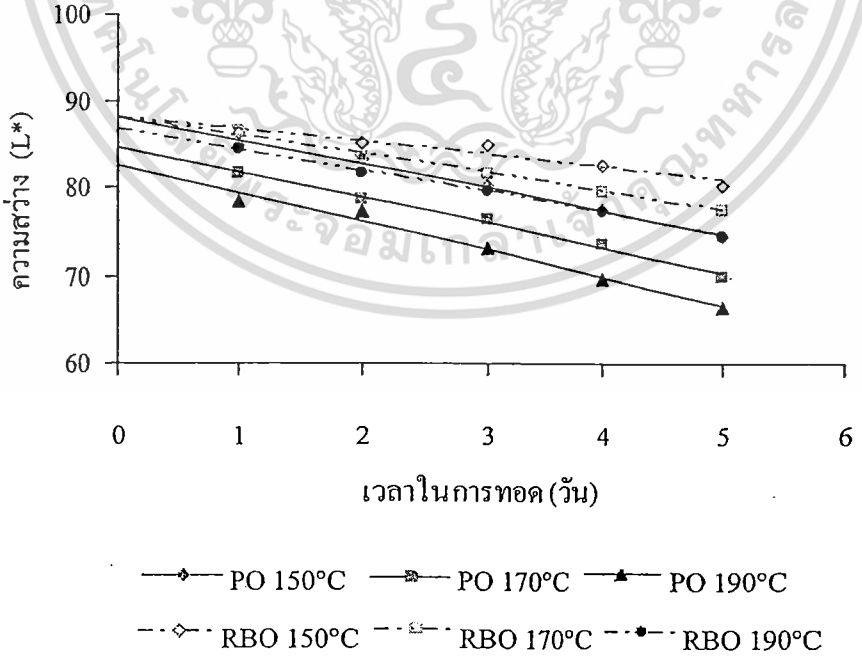
ภาพที่ 4.7 แสดงค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวจากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อทอดครบ 5 วัน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าสีแดงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวก่อนการทอด ดังนี้ น้ำมันปาล์มก่อนทอดมีค่าสีแดง -6.44 เมื่อทอดที่อุณหภูมิต่างๆ เพิ่มขึ้นเป็น 3.78 10.13 และ 14.59 ตามลำดับ น้ำมันรำข้าวก่อนทอดมีค่าสีแดง -7.45 เพิ่มขึ้นเป็น 0.56 5.36 และ 8.86 ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าสีแดงของน้ำมันทอดเพิ่ม โดยที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าเพิ่มมากว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับค่าสีเหลือง (b*) โดยน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวก่อนการทอดมีค่า 51.34 และ 38.05 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการทอดเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าสีเหลืองของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้น การที่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของน้ำมันปาล์มก่อนทอดมีค่าสูงกว่าน้ำมันรำข้าว เนื่องจากโดยปกติแล้วน้ำมันปาล์มจะมีสีส้มแดงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวและน้ำมันถั่วเหลือง ในน้ำมันปาล์มมีปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารสีที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม (Basoglu *et al.*, 1996)

ค่าความเข้มของสี (C*) ของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อทอดครบ 5 วัน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.9) ส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มมากขึ้นเมื่อจำนวนครั้งและอุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของสีคำนวณจากรากที่สองของ $a^{*2}+b^{*2}$ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกับค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) ซึ่งค่าความเข้มของสีต่ำแสดงว่าน้ำมันมีสีอ่อน ในขณะที่สีที่มีค่าความเข้มของสีสูงแสดงว่ามีความอิ่มตัวของสีสูงมีความเข้มหรือมีสีแก่ โดยค่าความเข้มของสีที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มมีค่าความชัน 2.8476 3.1362 และ 3.6469 ตามลำดับ น้ำมันรำข้าวมีค่าความชัน 5.3863 7.6240 และ 9.2747 (ตารางที่ 4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

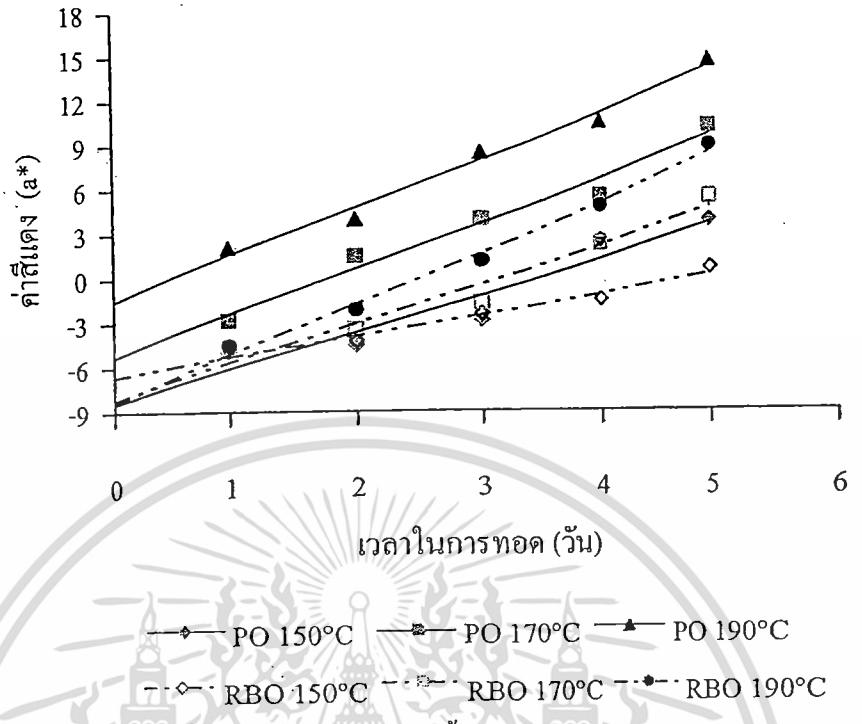
การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันที่ผ่านการทอดเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดจากน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง ทำให้น้ำมันเกิดออกซิเดชัน และเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น สารประกอบคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี คีโตน และกรดอีพอกซี ทำให้อาหารมีกลิ่นผิดปกติและมีสีคล้ำ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) การเกิดออกซิเดชันของวิตามินที่ละลายได้ในไขมันทั้งวิตามินเอ แคโรทีนอยด์และวิตามินอี จะทำให้วิตามินถูกทำลายไปและทำให้สีและกลิ่นของน้ำมันเปลี่ยนไปได้เช่นกัน (วิไล รังสาดทอง, 2545) นอกจากนี้ระยะเวลาและการใช้อุณหภูมิสูงในการทอดอาหารส่งผลให้สีของน้ำมันทอดเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Felix and Roman (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิทอดต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำมันคาโนลาที่ใช้ทอดเฟรนช์ฟรายส์ ที่อุณหภูมิ 185 และ 215 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ซึ่งการเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทอดที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส กับ 215 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิในการทอดที่สูงมีผลต่อการเกิดสีเพิ่มขึ้นในน้ำมันทอด

ทั้งนี้การศึกษาผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำที่มีต่อสีของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดข้าวเกรียบกุ้งกึ่งสำเร็จรูป ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์มหลังผ่านการทอดข้าวเกรียบกุ้งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่าครั้งแรกหลังจากการทอดซ้ำทั้ง 4 ครั้ง จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตามลำดับ การที่ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกันหลังจากผ่านการทอดข้าวเกรียบกุ้งในแต่ละครั้ง เพราะน้ำมันปาล์มหลังผ่านการทอดซ้ำหลายๆครั้งจะมีสีเข้มเพิ่มขึ้น (ศรายุทธ์ สมประสงค์, 2551)

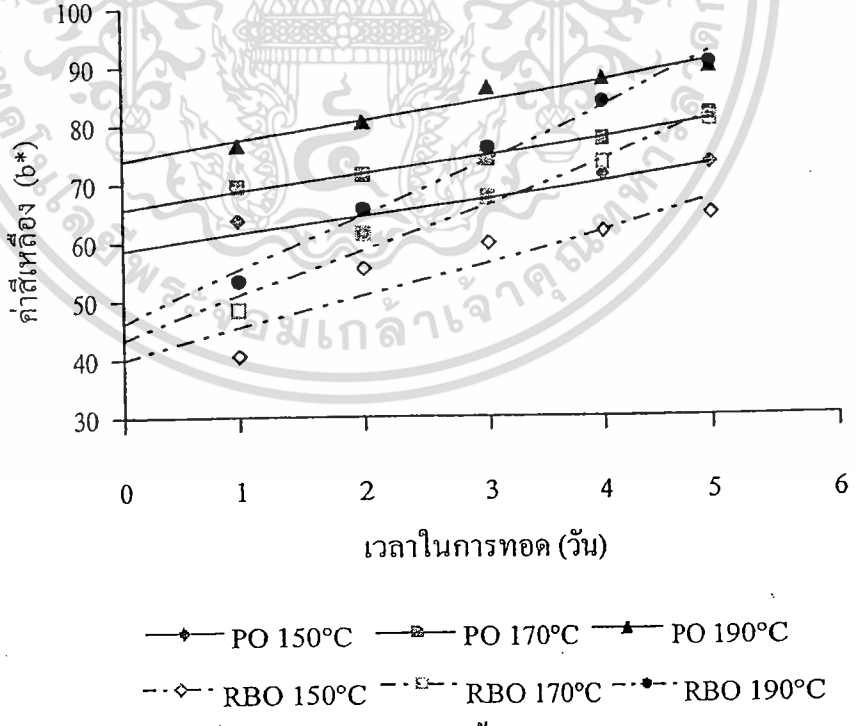


ภาพที่ 4.6 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

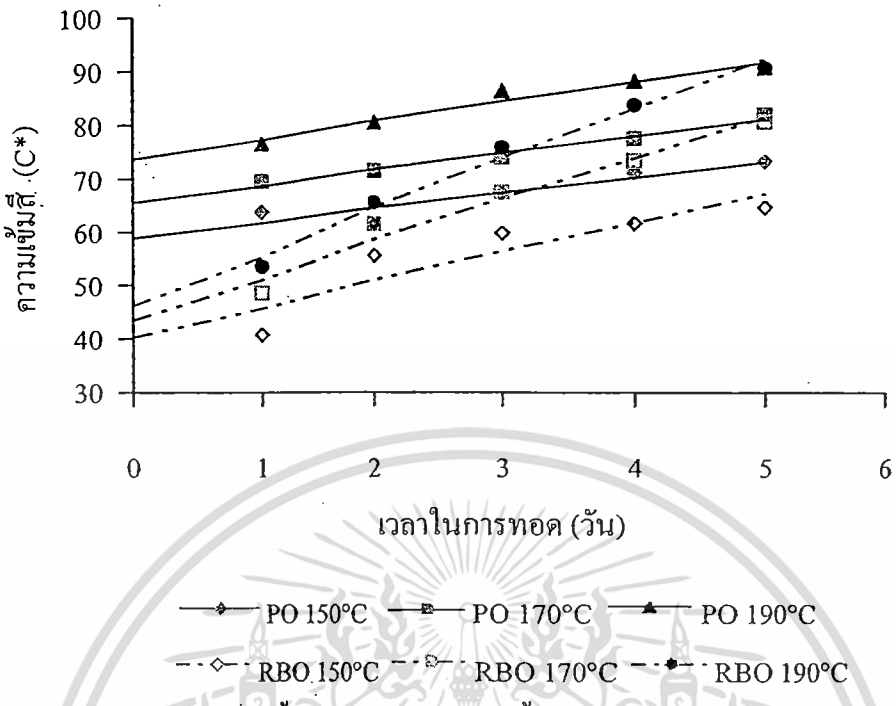


ภาพที่ 4.7 ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.8 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ค่าสีความเข้ม (C*) ของน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO) จากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

4.2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของคุณภาพน้ำมัน

การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของคุณภาพน้ำมันในด้านต่างๆ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันเทียบกับเวลาในการทอด โดยใช้สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (zero order reaction) ดังนี้

$$C = C_0 + kt \qquad (4.1)$$

เมื่อ C คือ คุณภาพน้ำมันหลังจากให้ความร้อน

C_0 คือ คุณภาพน้ำมันเริ่มต้น

k คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

t คือ เวลาในการทอด (วัน)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ตามสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว ค่าพาราแอนนิซิดีน ความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มสี (C*) สามารถอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยลักษณะของอัตราการ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาของสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์จะมีอัตราการเกิดคงที่และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น จากค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันเทียบกับระยะเวลาในการทอดที่อุณหภูมิ150 170 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจในน้ำมันปาล์มมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9999 กับ 0.8276 น้ำมันรำข้าวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9972 กับ 0.8225 ค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจที่สูงแสดงให้เห็นว่าอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันในดัชนีชี้วัดที่กล่าวในข้างต้นมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการทอดด้วยสมการอันดับศูนย์ สำหรับค่าเปอร์ออกไซด์ไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ เนื่องจากมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่คงที่ ซึ่งสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำมัน โดยพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาแปรผันโดยตรงกับระยะเวลาในการทอด หากระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของน้ำมันที่ผ่านความร้อนจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ ฉัตรลดา กู้สุจริต (2551) ในคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทอดมันเทศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ติดต่อกันเป็นเวลา 8 วัน ภายใต้สภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศ พบว่าในสภาวะสุญญากาศ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว ปริมาณกรด ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเข้มสี และค่ามุมของสี ภายใต้สภาวะบรรยากาศปริมาณสารประกอบมีขั้ว ปริมาณกรด ค่าความหนืด และค่าความสว่าง อัตราการเสื่อมเสียของคุณภาพด้านต่างๆ ในน้ำมันทอด สามารถอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ทอด เวลาในการทอด ชนิดของน้ำมัน สภาวะการทอด และชนิดของอาหารทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ของคุณภาพของน้ำมัน

คุณภาพ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำมันปาล์ม		น้ำมันรำข้าว	
		k	r^2	k	r^2
ปริมาณกรดไขมันอิสระ	150	0.1435	0.9807	0.0526	0.9797
	170	0.1465	0.9857	0.0574	0.9960
	190	0.1581	0.9636	0.0618	0.9633
ปริมาณสารประกอบมีขั้ว	150	2.5250	0.9935	3.1250	0.9957
	170	3.9250	0.9968	4.1250	0.9754
	190	4.3000	0.9999	5.1000	0.9953
ค่าเปอร์ออกไซด์	150	NA	NA	NA	NA
	170	NA	NA	NA	NA
	190	NA	NA	NA	NA
ค่าพาราแอนนิซิดีน	150	12.4480	0.9947	13.5000	0.9563
	170	15.8510	0.9032	14.0100	0.8857
	190	17.5340	0.8276	15.2210	0.8893
ค่าความหนืด	150	2.5000	0.9553	4.7300	0.9819
	170	5.0550	0.9997	7.6950	0.9602
	190	8.4700	0.9888	10.6000	0.9855
ค่าความสว่าง (L*)	150	-2.6770	0.9907	-1.4445	0.9239
	170	-2.8640	0.9949	-2.1400	0.9913
	190	-3.1560	0.9815	-2.4260	0.9972
ค่าสีแดง (a*)	150	2.4165	0.8965	1.3680	0.9739
	170	2.9820	0.9709	2.5840	0.9584
	190	3.1425	0.9831	3.3585	0.9905
ค่าสีเหลือง (b*)	150	2.8770	0.8487	5.4570	0.8242
	170	3.0045	0.9782	7.6405	0.9711
	190	3.3650	0.9476	9.2160	0.9843
ค่าความเข้มสี (C*)	150	2.8476	0.8477	5.3863	0.8225
	170	3.1362	0.9723	7.6240	0.9726
	190	3.6469	0.9600	9.2747	0.9867

หมายเหตุ: NA หมายถึง ไม่สามารถกำหนดสมการปฏิกิริยาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะมีอัตราการเกิดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อลดอุณหภูมิ ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้น (ทฤษฎีจลน์ศาสตร์ของแก๊ส) ทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงขึ้น ดังนั้นอนุภาคของสารตั้งต้นจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น มีโอกาสที่อนุภาคชนกันมากขึ้นปฏิกิริยาเคมีจึงเกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นยังทำให้จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงทำให้เมื่อเกิดการชนโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์เท่ากันหรือสูงกว่าพลังงานกระตุ้นและมีจำนวนมากขึ้น โอกาสที่ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วมีมากขึ้น ซึ่งสวานเต ออกัส อาร์เรเนียส (Svante August Arrhenius) นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ได้ตั้งสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวของอัตราการเกิดปฏิกิริยากับอุณหภูมิ ดังสมการที่ 2 และ 3 (McNaught and Wilkinson , 1997)

$$k = Ae^{-Ea/RT} \tag{4.2}$$

หรือ

$$\ln(k) = \ln(A) - E_a/RT \tag{4.3}$$

เมื่อ Ae คือ แฟคเตอร์ความถี่ (หน่วยเหมือน k) ใช้วัดความถี่และทิศทางการชนของโมเลกุล

E_a คือ พลังงานก่อกัมมันต์ (J/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/mol K)

T คือ อุณหภูมิ (K)

ดังนั้นการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) กับอุณหภูมิในการทอด สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius Equation) ทำให้สามารถประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำมันทอด โดยดัดแปลงสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 4 (Dimitra *et al.*, 2002)

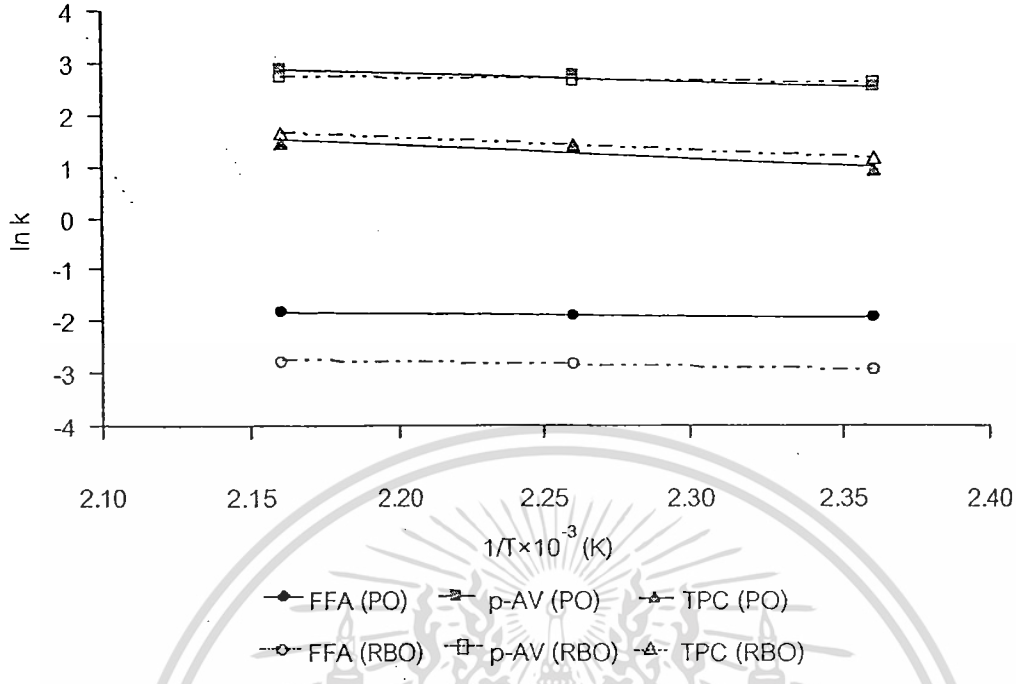
$$\ln k = a - b\,(1/T) \tag{4.4}$$

เมื่อ k คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา

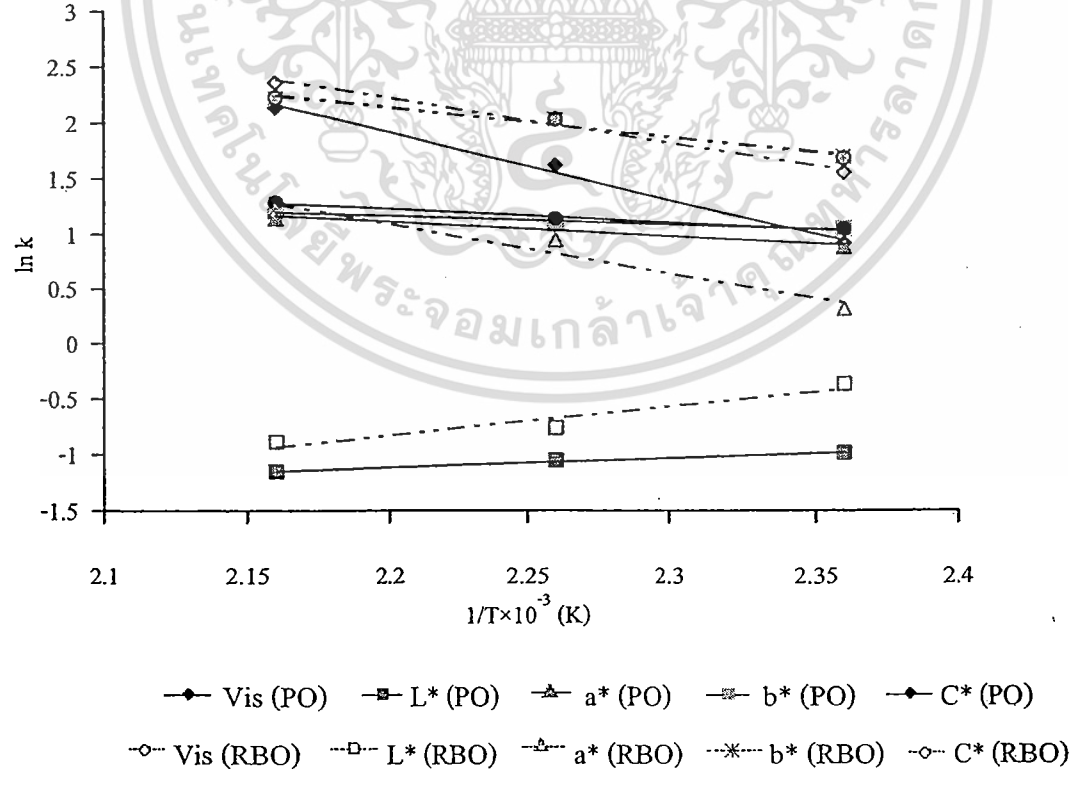
T คือ อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

a ,b คือ ค่าคงที่ของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพทางเคมีในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพทางกายภาพในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ค่าความชัน (k) และค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ของผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว

คุณภาพ	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	r^2	k	Ea (J/mol K)	r^2	k	Ea (J/mol K)
ปริมาณกรดไขมันอิสระ	0.9014	-0.4845	4.03	0.9977	-0.8060	6.70
ปริมาณสารประกอบมีขั้ว	0.9467	-2.6620	22.13	0.9536	-2.4490	20.36
ค่าพาราแอนนิซีดีน	0.8741	-1.71250	14.24	0.9941	-0.6000	4.99
ความหนืด	0.9921	-6.1010	50.72	0.9860	-4.0350	33.55
ค่าความสว่าง (L*)	0.9895	0.8240	6.85	0.9184	2.592	21.55
ค่าสีแดง (a*)	0.8925	-1.3135	10.92	0.9454	-4.491	37.34
ค่าสีเหลือง (b*)	0.9378	-0.7835	6.51	0.9737	-2.6200	21.78
ค่าความเข้มสี (C*)	0.9841	-1.2370	10.28	0.9748	-2.7170	22.59

จากสมการที่ 2 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln k ของคุณภาพด้านต่างๆ กับส่วนกลับของอุณหภูมิในการทอด (1/T) (ภาพที่ 4.10 และ ภาพที่ 4.11) พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว ค่าพาราแอนนิซิดีน ความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มสี (C*) ในน้ำมันปาล์มมีค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ (r^2) อยู่ระหว่าง 0.9921 ถึง 0.8741และน้ำมันรำข้าวมีค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ (r^2) อยู่ระหว่าง 0.9977 ถึง 0.9184 (ตารางที่ 4.2) ซึ่งค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจอยู่ในระดับที่สูงแสดงให้เห็นว่าอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ทอดตามรูปแบบของสมการอาร์เรเนียส

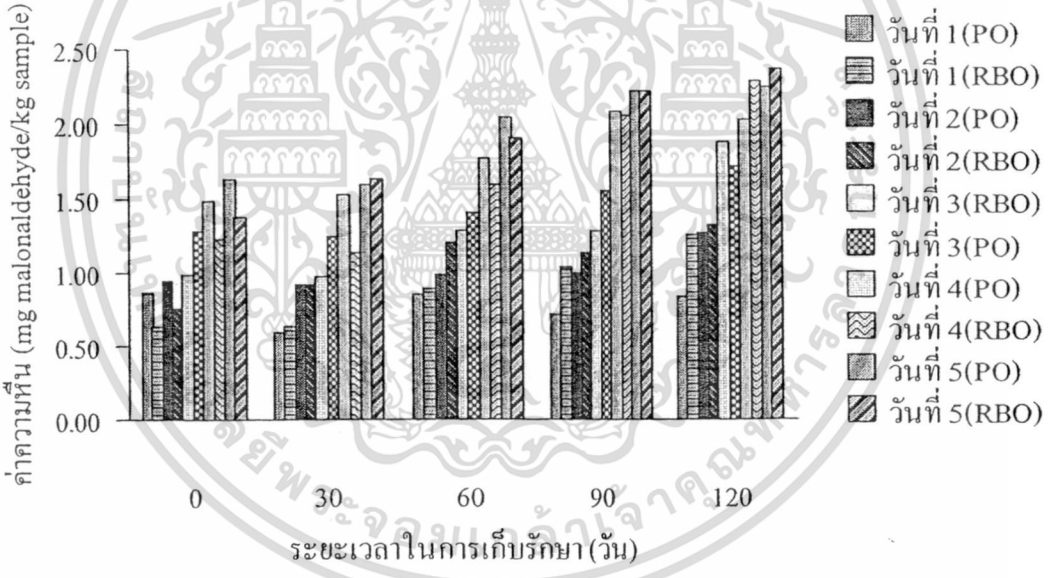
Dimitra และคณะ (2002) ได้ศึกษาจลนศาสตร์ของการเสื่อมเสียของน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ใช้ทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 155 165 175 185 และ 195 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบมีขั้ว (polar compound) คอนจูเกตไดอีน (conjugated dienes) คอนจูเกตไตรอีน (conjugated trienes) และค่าพาราแอนนิซิดีน (p-anisidine value) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการเปลี่ยนคุณภาพของน้ำมันทอดสามารถอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่ใช้ทอด เวลาในการทอด ชนิดของน้ำมัน สภาวะการทอดและชนิดของอาหารทอด และการพิจารณาผลของอุณหภูมิในการทอดสามารถอธิบายด้วยสมการอาร์เรเนียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบมีขั้ว คอนจูเกตไดอีน และค่าพาราแอนนิซิดีน สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาพลังงานกระตุ้น (E a) ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันทอดทางด้านต่างๆ โดยการนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln k และ 1/T ทำให้ได้ค่าพลังงานกระตุ้น ซึ่งคำนวณจากค่าความชันคูณด้วยค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol K พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นในน้ำมันปาล์มอยู่ระหว่าง 50.72 ถึง 4.03 J/mol K และค่าพลังงานกระตุ้นในน้ำมันรำข้าวอยู่ระหว่าง 37.34 ถึง 4.99 J/mol K (ตารางที่ 4.2) ซึ่งพลังงานกระตุ้นเป็นพลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่จำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยถ้าค่าพลังงานกระตุ้นมีค่าน้อยแสดงว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ง่าย และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูง

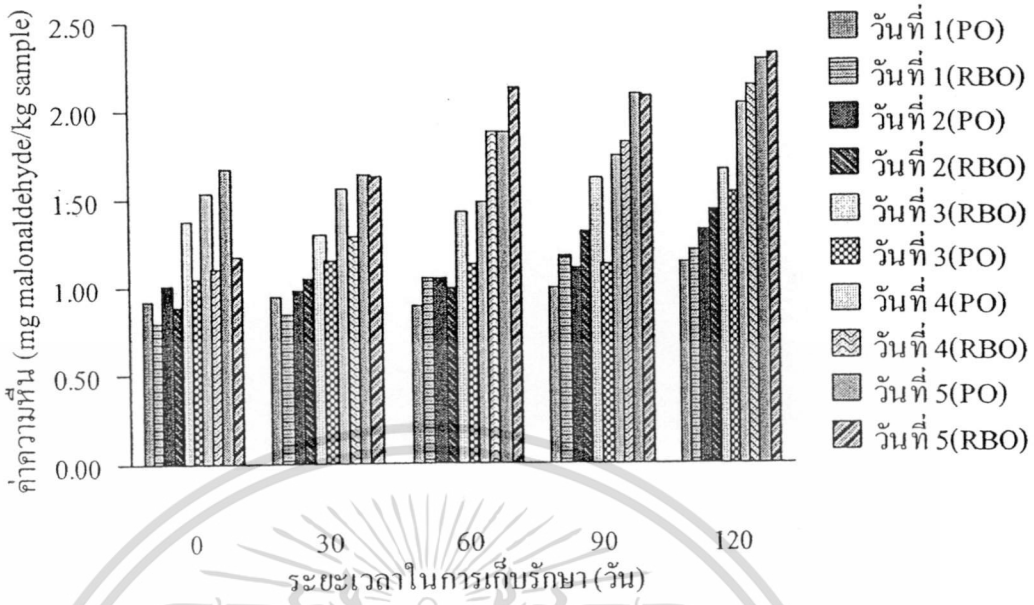
4.3 การศึกษาค่าความหืน (Thiobabituric acid,TBA) ในมันฝรั่งทอด

การรักษาเก็บตัวอย่างมันฝรั่งทอดเป็นระยะเวลา 0 30 60 90 และ 120 วัน ที่ทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวอุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส จากการทอดครั้งสุดท้ายของในแต่ละวัน พบว่ามันฝรั่งทอดมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหืน (TBA) ดังภาพที่ 4.12 ถึง 4.14

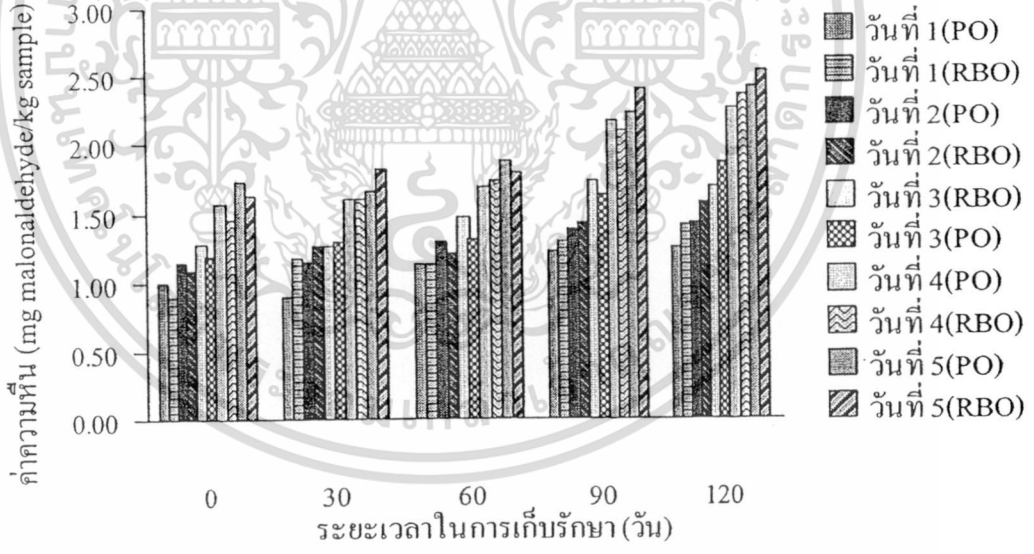


ภาพที่ 4.12 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)



ภาพที่ 4.14 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันรำข้าว (RBO)

ค่า T B A เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน ที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (volatile decomposition product) สารกลุ่มนี้ทำให้เกิดกลิ่นรสในอาหารทอด ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับของกลุ่มผู้บริโภค โดยกลิ่นหืนเกิดจากออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน ทำให้เกิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบแอลดีไฮด์และกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กๆที่มีกลิ่นเหม็นหืน ดังนั้นค่า TBA จึงใช้ในการติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากภาพเมื่อเปรียบเทียบค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ของมันฝรั่งที่ทอดในอุณหภูมิต่ำมีค่า TBA ต่ำกว่าการทอดในอุณหภูมิสูง และเมื่อจำนวนวันในการทอดเพิ่มขึ้นทำให้ค่า TBA เพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับแสดงให้เห็นการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการทอดอาหารทำให้เร่งการเสื่อมเสียของน้ำมันทอด ซึ่งคุณภาพของน้ำมันที่นำมาใช้ทอดจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารทอดด้วย ซึ่ง Dimitra and Vassiliki (2004) พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์และคอนจูเกตไดอีนซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการทอดที่นานมากขึ้น และการเปรียบเทียบมันฝรั่งที่ทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 0 ถึง 30 วันแรก พบว่า มันฝรั่งที่ทอดในน้ำมันรำข้าวมีค่า TBA ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันปาล์ม แต่เมื่อเก็บรักษาจนครบ 120 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ในมันฝรั่งที่ทอดน้ำมันรำข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันที่ใช้ทอดแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของชนิดของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สูงกว่าจึงทำให้เกิดการออกซิเดชันได้มากกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณต่ำกว่า (Marquez-Ruiz and Dobarganes, 1996) การเลือกน้ำมันในการทอดอาหารจะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทอด (Dimitra and Vassiliki, 2004)

นอกจากนี้การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันอิ่มตัว ในทางกลับกันจะมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการแปรรูปอาหาร เช่น การทอด จะเร่งให้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวก็อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น จากการทดลองพบว่า ค่า TBA ของมันฝรั่งทอดที่ทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Jonnalagadda และคณะ (2000) พบว่า ค่า TBA ในอาหารว่างทอดทั้ง 3 ชนิด ที่เก็บรักษาในถุงพอลิเอทิลีนเป็นระยะเวลา 0 15 30 และ 90 วัน ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่าหลังจากเก็บรักษา 90 วัน ผลิตภัณฑ์อาหารว่างทอดมีคุณภาพกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิในระหว่างการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่มีต่อการเสื่อมเสียทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ที่ใช้ทอดมันฝรั่งทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องกันวันละ 5 ชั่วโมง ทอดติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 วัน มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังนี้

การเสื่อมเสียทางด้านเคมี พบว่าน้ำมันปาล์มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันรำข้าว และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิต่างๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น และการทอดที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มอัตราการเพิ่มช้ากว่าทอดที่อุณหภูมิสูง และมีค่าความชันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบมีขั้วและค่าพาราแอนนิซิดีน จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งหรือระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ซึ่งการทอดที่อุณหภูมิต่ำมีอัตราการเพิ่มช้ากว่าทอดที่อุณหภูมิสูง โดยมีค่าความชันเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น โดยในน้ำมันปาล์มมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำมันรำข้าว สำหรับค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ในการทอดที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 3 วันแรกอย่างชัดเจน จากนั้นก็จะเพิ่มหรืออาจลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์ออกไซด์จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำ

การเสื่อมเสียทางด้านกายภาพ พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันรำข้าวสูงกว่าน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการทอดครบ 5 วัน และมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น โดยการทอดที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันทอด พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ลดลงเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มสูงขึ้น โดยน้ำมันรำข้าวมีอัตราการลดลงของค่าความสว่างช้ากว่าในน้ำมันปาล์ม สำหรับค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และ ค่าความเข้มของสี (C*) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวจากการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระยะเวลาและอุณหภูมิในการทอดเพิ่มสูงขึ้น

2. การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของคุณภาพน้ำมันในด้านต่างๆ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันเทียบกับเวลาในการทอด ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ กรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว พาราแอนนิซิดีน ความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มสี (C*) สามารถอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ สำหรับค่าเปอร์ออกไซด์ไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ เนื่องจากมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอาร์เรเนียส พบว่าความสัมพันธ์ของปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว ค่าพาราแอนนิซิดีน ความหนืด ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มสี (C*) ในน้ำมันปาล์มมีค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ (r^2) อยู่ระหว่าง 0.9921 ถึง 0.8741และน้ำมันรำข้าวมีค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ (r^2) อยู่ระหว่าง 0.9977 ถึง 0.9184 และพบว่าค่าพลังงานกระตุ้นในน้ำมันปาล์มอยู่ระหว่าง 50.72 ถึง 4.03 J/mol K และค่าพลังงานกระตุ้นในน้ำมันรำข้าวอยู่ระหว่าง 37.34 ถึง 4.99 J/mol K

4. การศึกษาค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA) ในตัวอย่างมันฝรั่งที่ทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวโดยเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน พบว่ามันฝรั่งทอดมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหืนเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิทอดสูงขึ้นและน้ำมันที่ผ่านการทอดจำนวนวันเพิ่มขึ้น และเมื่อปรียบเทียบมันฝรั่งทอดที่ทอดในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 30 60 90 และ 120 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของมันฝรั่งที่ทอดในน้ำมันรำข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าน้ำมันปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

คงวุฒิ นิรันตสุข บัณฑิต อินณวงศ์ และประมุข ภระกูลสุขสถิตย์. 2549. **การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิคส์.** การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จริยา สุขจันทรา และ กามีละห์ หะมะ. 2551. ผลของน้ำมันที่ใช้ทอดต่อคุณภาพของกล้วยหินฉาบ. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.** คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน .

ฉัตรลดา กู้สุจริต. 2551. **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มในระหว่างการทอดมันเทศที่สภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ทิพยเนตร อริยปิติพันธ์. 2551. การเลือกใช้น้ำมันพืชปรุงอาหารเพื่อสุขภาพ. **วารสารโภชนาการ.** 43(1): 35-43.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัฒน์. 2545. **น้ำมันรำข้าว ทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ปัจฉิมาภรณ์ อุดมคุณ บัณฑิต อินณวงศ์ และปิยฉัตร ใจเอื้อ. 2549. **ดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำมันทอด.** การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2544. **การทดลองวิศวกรรมกระบวนการอาหาร.** คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

ศิริพันธ์ ประภาศิริสุลี. 2551. **คุณลักษณะการทอดของน้ำมันปาล์มโอเลอีนผสมน้ำมันรำข้าวในการทอดมันฝรั่งชิ้นบาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศรายุทธ์ สมประสงค์. 2551. **ผลของอุณหภูมิและการใช้น้ำมันทอดซ้ำต่อการดูดซับน้ำมัน เนื้อ สัมผัส และสีของข้าวเกรียบกุ้งทอด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล. 2547. **เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่.

สุพรรณิกา เวียนทอง. 2548. **การประเมินคุณภาพของน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2516. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค.** มอก. 288-2535.

A.O. A.C. 2000. **Official Methods of Analysis.** Association of Official Analytical Chemist. 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.

A.O.C.S. 1997. **Official Methods and Recommended Practices of American Oil Chemists' Society.** 5th ed. AOCS Press. Champaign, IL,USA.

Arroyo, R., Cuesta, C., Polonio, C.G., Varela, S.L. and Muniz, F.J.S. 1992. High performance size exclusion chromatography studies on polar components formed in sunflower oil used for frying, **Journal American Oil Chemists' Society.** 69:557–563.

Basoglu, F.N., Wetherilt, H., Pala, M., Yildiz, M., Biringen, G. and Unal, M. 1996. **Improved quality of cooking and frying oil by blending palm olein.** In: World Conference and Exhibition on Oilseed and Edible oils Processing. Vol 1. 159-168.

Bracco, U., Loliger J. and Viret, J. 1981. Production and use of natural antioxidant. **Journal American Oil Chemists' Society.** 58: 686-690.

Casimir, C. Akoh and David, B. 2008. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, And Biotechnology, Third Edition.** Food Science And Technology. Marcel Dekker. New York.

Chang, S.S., Peterson, R.J. and Ho, C.T. 1978. Chemical reactions involved in the deep-fat frying of foods. **Journal American Oil Chemists' Society.** 55: 718–727.

Charley, H. (1982). **Food science, 2nd Ed.** New York: John Wiley and Sons Publishers, 91–95.

Che, M.Y.B. and Tan, C.P. 1999. Effects of natural and synthetic antioxidants in refined, bleached, and deodorized palm olein during repeated deep-fat frying of potato chips. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 76:331–339.

Choe, E. and Min, D.B. 2007. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. **Journal of Food Science.** 72 (5): 77–86.

Conmou, D. 1991. **The significance of potato breeding in the Netherlands For the potato processing industry in asia.** In proceedings of the symposium on developments in potato processing and storage in asia. Bandung, Indonesia. 39-51.

Debnath, S., Bhat, K.K. and Rastogi, N.K. 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour based snack food. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie.** 36 : 91-98.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimitra, P.H., Vassiliki, O. and Constantina, T. 2002. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. **Journal American Oil Chemists' Society.** 79(2): 133-137.

Dimitra, P.H. and Vassiliki, O. 2004. Predictive study for the extent of deterioration of potato chips during storage. **Journal of Food Engineering.** 65: 427–432.

Dimitrios ,B. and Ibrahim, E. 1999. **Oxidation, Nutrient and Non-Nutrient Antioxidants, Biologically Active Compounds and High Temperatures, 2nd Edition** . Frying of Food. CRC Press LLC, USA.

Dow Chemical. 2002. **METHOCEL Cellulose Ethers Technical Handbook.** Midland, MI: Dowchemical Co.

Felix A. A. and Roman P. 2009. Degradation and Nutritional Quality Changes of Oil During Frying. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 86:149–156.

Frankel, E.N. 2005. **Lipid Oxidation.** The Oily Press. Bridgwater, England. 470p.

Frank, D.G., 2004. **The chemistry of oils and fats : sources, composition, properties and uses.** Blackwell Publishing Asia Pty Ltd, UK.

Gapor, A.T., Berger, K.G., Hashimoto, T., Kato, H., Tanabe, K., Mamuro, H. and Yamaoke, M. 1983. **Effect of processing on the content and composition of tocopherols and tocotrienols in palm oil.** In: Pushparajah,E., Rajadurai,M. eds. Palm Oil Product Technology in the Eighties. Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters. 145-156.

Gebhardt, B. 1996. **Oils and Fats in Snack Foods.** Baileys industrial oils and fats products 5th ed. John Wiley & Sons Inc, 429–481p.

Gertz, C. and Kochhar, S.P. 2001. **A new method to determine oxidative stability of vegetable fats and oils at simulated frying temperature.** Ole´agineux Corps gras Lipides. 8:82–88.

Gray, D. and Hughes, J.C. 1978. **The potato crop.** The scientific basis for improvement. Chapman and Hall Ltd., London. 504-544.

Hargrove KL. 1994. **Processing and utilization of rice bran in the United States.** In: Marshall WE, Wadwurth JI, editor. Rice Science and Technology. New York: Marcel Dekker. p 381-400.

Hui, Y.H. 1996. **Edible oil and fat products oil and oil seed.** Bailey's industrial oil and fat products Vol 2 5th ed. A Wiley Interscience Publication. 708p.

Innawong B., Mallikarjunan P., and Marcy J.E. 2004. **The determination of frying oil quality using a chemosensory system.** Lebensm-Wiss. Technol. 37:35-41.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jayasingh P., and Cornforth D.P. 2003. Comparison of antioxidant effects of milk mineral, butylated hydroxytoluene and sodium tripolyphosphate in raw and cooked ground pork. **Meat Science.** 66:83-89.

Jonnalagadda, P. R., Bhat, R. V., Sudershan, R. V. and Naidu, A. N. 2000. Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep-fried snacks. **Food Quality and Preference.** 12 (4) : 223-228.

Lake, R.J. and Scholes, P. 1997. Quality and consumption of oxidized lipids from deep-frying fats and oils in New Zealand. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 7 : 1065–1068.

Lomanno, S. S., and Nawar, W. W. 1982. Effect of heating temperature and time on the volatile oxidative decomposition of linolenate, 7. **Journal of Food Science.** 47 744-747.

Lovaas, E.A.1992. A sensitive spectrophotometric Method for lipid hydroperoxide determination. **Journal of American Oil Chemists' Society.** 69: 777–783.

Marquez-Ruiz, G. and Dobarganes, C. 1996. Short chain fatty acidformation during thermooxidation and frying. **Journal of Science and Food and Agriculture.** 70 : 120–126.

McGill, E.A. 1980. **The chemistry of frying.** Bakers Digest. 6(62):38-42.

McNaught, A. D. and Wilkinson, A. 1997. **IUPAC Compendium of chemical terminology.** 2nd ed. the Gold Book. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Melton, S.L., Jafar, S., Sykes, D. and Trigiano, M.K. 1994. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 71:1301–1308.

Moreira, R.G., Castell-Perez, E.M. and Barrufet ,M.A. 1999. **Deep-fat frying: Fundamentals and Applications.** Maryland: Aspen Publishers, Inc. 350 p.

Monsoor1, M. A. and Proctor1, A. 2005. Tocopherol, Tocotrienol, and Oryzanol content of rice bran aqueous extracts. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 82(6).

Paul, S. and Mittal, G.S. 1996. Dynamics of fat/oil degradation during frying based on physical properties. **Journal of Food Engineering.** 35: 1-22.

Perkins, E.G.1996. **Volatile Odor and flavor components formed in deep frying, in deep frying chemistry, nutritionand practical applications.** Official Methods of the American oil chemists' society Press, Champaign, Illinois (USA). 43–48.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pedreschi, F., Morano, P., Santis, N. and Pedreschi, R. 2007. Physical properties of pretreated potato chips. **Journal of Food Engineering**. 79: 1474-1482.

Pinthus, E.J., Weinberg, P. and Saguy, I.S. 1995. Oil uptake in deep-fat frying as affected by porosity. **Journal of Food Science**. 60(4): 767-769.

Plessis, L. M., & Meredith, A. J. 1999. Palm olein quality parameter changes during industrial production of potato chips. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 76(6) :731–738

Pokorny, J. 1980. Effect of substrates on changes in fats and oils during frying. **La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse**. 57 : 222-5.

Nasirullah and Rangaswamy, B. L. 2005.Oxidative Stability of Healthful Frying Oil Medium and Uptake of Inherent Nutraceuticals During Deep Frying. **Journal American Oil Chemists' Society**. 82:753–757.

Qureshi, A., Samai, S. and Khan, F. 2002. Effects of stabilized rice bran, its soluble and fiber fractions on blood glucose levels and serum lipid parameters in humans with diabetes mellitus Types I and II. **Journal of Nutritional Biochemistry**. 13: 175-187.

Saguy, I.S. and Pinthus, E.J. 1995. Oil uptake during deep fat frying : factors and mechanism. **Food Technology.** 49(4) : 142-145.

Shahina, N., Rahmanullah, S., Hina, S. and Syed, A.S. 2005. Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. **Food Research International**. 38:127-134.

Shyu S.L., Hau L.B., and Hwang L.S. 1998. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. **Journal American Oil Chemists' Society**.75(10):1393-1398.

Stauffer, C.E. 1996. Fats and oils : Practical Guides for the Food Industry. **American Association of Cercal chemists**. Minesota.

Sukumar, D.,. Rastogi, N.K., Krishna, A.G.G. and Lokesh, B.R. 2009. Department of Lipid Science and Traditional Foods. **Central Food Technological Research Institute**. 1-5.

Teitz, N.W. 1976. **Operation manual of Shimudzu UV-Visible Spectrophotometer.** Fundamental of Clinical Chemistry . 2 nd ed. Philadelphia, W.B. Saunder. 606-609.

Tyagi V.K., and Vasishtha A.K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. **Journal American Oil Chemists' Society**. 73(4):499-506.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันทอด

ก1. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOCS Ca 5a-40, 1997)

1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1.1.1 เครื่องแก้ว

1.1.2 สารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 95 %

1.1.3 สารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 1% ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 %

1.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันโดยพิจารณาปริมาณตามตารางที่ ก1 ใส่ในฟลาสก์รูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2.2 เติมสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % โดยพิจารณาปริมาณที่เติมตามตารางที่ กโดยสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องผ่านการทำให้เป็นกลางแล้ว (Neutralized) โดยการเติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 2 มิลลิลิตร และไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสารละลายมีชมพูอ่อนแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

1.2.3 เติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์ 2 มิลลิลิตร

1.2.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ พิจารณาจากตารางที่ ก1) จนได้สีชมพูคงตัว 30 วินาที

ตารางที่ ก1. ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง

FFA range (%)	Sample (g)	Alcohol (ml)	Strength of alkali (N)
0-0.2	56.4	50	0.1
0.2-1.0	28.2	50	0.1
1-30	7.05	75	0.25
30-50	7.05	100	0.25 or 1.0
50-100	3.525	100	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.5 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

1.2.6 คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (%) (คิดในรูปของ oleic acid) = 28.2 VN / W

ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (%) (คิดในรูปของ palmitic acid) = 25.6 VN / W

ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (%) (คิดในรูปของ lauric acid) = 20.0 VN / W

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. วิธีการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) (AOCS Cd 8-53, 1997)

วิธีการหาค่าเปอร์ออกไซด์ที่ใช้โดยทั่วไปคือ วิธีการไตเตรทกับไอโอดีนเป็นวิธีดั้งเดิมจะเป็นวิธีการที่วัดปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นจากการออกซิไดซ์ของโพแทสซียมไอโอไดด์โดยเปอร์ออกไซด์ในสภาวะที่เป็นกรด ดังสมการที่ 1 ปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะถูกไตเตรทโดยโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยมีน้ำแป้งเป็นดัชนีชี้จุดยุติ ดังสมการที่ 2 ค่าที่ได้รายงานปริมาณเปอร์ออกไซด์ เป็นมิลลิกรัม สมมูลย์ ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม

$$ROOH + 2I^- + 2H^+ \longrightarrow ROH + I_2 + H_2O \qquad (1)$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI \qquad (2)$$

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 เครื่องแก้ว

2.1.2 สารละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2)

2.1.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโดไดด์

2.1.4 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟล

2.1.5 สารละลายน้ำแป้ง

2.2 วิธีการวิเคราะห์

2.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 กรัม ใส่ในฟลาสก์รูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2.2 เติมสารละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร

2.2.3 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโดไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร

2.2.4 เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร

2.2.5 ไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโดไดด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน และเติมน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย

2.2.6 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ใช้ในการไทเทรต

2.2.7 ทำสารละลาย blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวในข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน

2.2.8 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม)} = \frac{(S-B)\times N\times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S=ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก3. วิธีการวิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซิดีน (p-anisidine value) (AOCS Cd 18-90, 1997)

การวิเคราะห์หาค่าพาราแอนนิซิดีนเป็นการหาปริมาณแอลดีไฮด์โดยการให้แอลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับสาร p-anisidine แอลดีไฮด์หลักที่ตรวจวัด คือ 2-alkenals โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ 366นาโนเมตร ดังนั้น วิธีการนี้จึงใช้เปรียบเทียบระดับการเกิดออกซิเดชันของไขมันชนิดเดียวกัน เพื่อตรวจดูระดับการเกิดออกซิเดชันมากกว่าใช้เปรียบเทียบระหว่างไขมันต่างชนิด ซึ่งจะได้แอลดีไฮด์ต่างชนิดกัน

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

3.1.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.1.3 สารละลายไอโซออกเทน

3.1.4 สารละลายกรดอะซิติก

3.1.5 สารละลายพาราแอนนิซิดีน (p-anisidine value)

3.2 วิธีการวิเคราะห์

3.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.5-4.0 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

3.2.2 แล้วเติมสารละลายไอโซออกเทนเขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร

3.2.3 ทำ blank โดยใช้สารละลายไอโซออกเทน

3.2.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 366 นาโนเมตร

3.2.5 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง

3.2.6 ปิเปตสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองอีกหลอดหนึ่ง

3.2.7 จากนั้นเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

3.2.8 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 366 นาโนเมตร

3.2.9 คำนวณค่าพาราแอนนิซีดีน

$$\text{ค่าพาราแอนนิซีดีน} = \frac{25 \times (1.2As - Ab)}{M}$$

เมื่อ As = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

Ab = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนจากเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

m = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบมีขั้วด้วยเครื่อง Ebro™ electronic (FOM 310)

หลักการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็คทริก (Dielectric Constant) ของน้ำมันที่ผ่านความร้อน น้ำมันที่ผ่านความร้อน (การทอดอาหาร) จะมีการแตกตัวและเปลี่ยนสภาพ ทำให้มีสารประกอบมีขั้วเกิดขึ้นหลายชนิด ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อค่าคงที่ไดอิเล็คทริกโดยเครื่องวัดจะแปลงค่าดังกล่าวเป็นร้อยละของสารโพลาร์ที่เกิดขึ้น

4.1 วิธีการวิเคราะห์

4.1.1 กดปุ่ม ON/Hold เพื่อเปิดเครื่อง

4.1.2 จุ่มหัวเซ็นเซอร์ลงในน้ำมันที่ร้อน ให้อยู่ในระดับ MIN/MAX

4.1.3 จากนั้นคนหัวเซ็นเซอร์ในน้ำมันอย่างน้อย 5 วินาที และจุ่มหัวเซ็นเซอร์จนมีลูกศร ⧋ ขึ้น

4.1.4 กดปุ่ม ON/Hold เพื่ออ่านค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก5. วิธีการวิเคราะห์ความหนืด Brookfield viscometer (Brookfield DV-III)

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 Brookfield viscometer รุ่น DV III

5.1.2 ชุด small sample adapter

5.1.3 หัววัดเบอร์ 18

5.2 วิธีการวิเคราะห์

5.2.1 ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่กึ่งกลางของกรอบ และเปิดเครื่อง (power switch) ที่ด้านหลังของฐานเครื่อง

5.2.2 กดปุ่ม motor on/off เครื่องจะทำการปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อหน้าจอขึ้น auto zero is complete กด next

5.2.3 ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 5 กรัม ใส่ใน chamber ซึ่งติดตั้งเข้ากับชุด small sample adapter และควบคุมในการวัดที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส

5.2.4 ใส่หัววัดเบอร์ 18 และจุ่มในตัวอย่าง

5.2.5 กด select spindle เพื่อเลือกขนาดของหัววัด และกด select spindle อีกครั้งเพื่อตอบตกลง

5.2.6 เลือกความเร็วรอบ โดยพิจารณาความเร็วรอบจากค่าทอร์ก (torque) ที่เข้าใกล้ 100 หลังจากนั้น อ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (cP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก6. วิธีการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Quest XE)

เครื่องวัดสีทำงานโดยใช้หลักการของ spectrophotometry ดังนี้ ให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่อง ตกกระทบบนผิววัสดุ อนุภาคของสีบนผิววัสดุจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้ และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมา และถูกบันทึกโดยชุดรับสัญญาณ (Spectrometer) และนำข้อมูลมาประมวลตามการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขตามระบบ CIE (Commission Internationale de I' Eclariage)

1. เปิดเครื่องทดสอบและโปรแกรมการทดสอบในคอมพิวเตอร์ ในการตรวจสอบสีของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ใช้ค่าสีระบบ CIE L*a*b* โดยทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) ด้วยการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้Mode เลือก TTRAN (Total transmission) ใช้วัดสีวัตถุที่โปร่งใส โดยจะรวมแสงที่ทะลุผ่านทั้งหมดและแสงที่กระเจิง และเลือก Illuminant/ Observer เลือก D 65/ 10°

2. โดย Calibrate เครื่องก่อนการวัดครั้งแรกด้วยชุด Calibrate โดยทำตามขั้นตอนที่โปรแกรมกำหนด ดังนี้

2.1 นำ black card วางที่ transmission port กด OK เมื่อทำการ standardize สมบูรณ์แล้ว นำ black card ออก

2.2 นำ cell blank วางแทนที่ black card

2.3 นำ white calibrated tile วางที่ reflectance port (วางไว้ตลอดการวัด โดยไม่เอาออก)

2.4 ทำการกดอ่านค่า cell blank โดยค่า L* ที่วัดได้จะเท่ากับ 100 หรือใกล้เคียง 100 ค่า a* และ b* จะเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0

2.5 จากนั้นเปลี่ยนจาก cell blank เป็นตัวอย่างน้ำมัน วัดค่าสีของน้ำมันในระบบ ระบบ CIE L*a*b* โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

L* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ในช่วง 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว)

a* หมายถึง ความเป็นสีแดง ถ้าค่าเป็นบวก (+) / ความเป็นสีเขียว ถ้าค่าเป็นลบ (-)

b* หมายถึง ความเป็นสีเหลือง ถ้าค่าเป็นบวก (+) / ความเป็นสีน้ำเงิน ถ้าค่าเป็นลบ (-)

C* หมายถึง ค่าความเข้มของสี (Chroma) คำนวณจาก $C^* = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ตัวอย่างมันฝรั่ง

ข1. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

การหาปริมาณความชื้น โดยนำวัตถุดิบที่ต้องการหาความชื้น มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบ ซึ่งความชื้นที่สูญเสียออกไปจากอาหารเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่อาหาร ซึ่งทำให้สารที่ระเหยได้ ระเหยออกไปและทำให้อาหารนั้นสูญเสียน้ำหนัก ส่วนกากหรือของแข็งที่เหลืออยู่เรียกว่า ของแข็งทั้งหมด อบจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้น บันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักหลังอบ แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหาร

1.1 อุปกรณ์

1.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

1.1.2 ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา (aluminium can)

1.1.3 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

1.1.4 โถดูดความชื้น (desiccator)

1.1.5 ที่คีบ (tong)

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 นำถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา ไปอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นนอน

1.2.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารที่บดแล้ว 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม

1.2.3 นำไปอบในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง

1.2.4 เมื่อครบเวลา ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้นก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้งเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ หรือผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ 2 ครั้ง ต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.003-0.005 กรัม

1.2.5 คำนวณร้อยละของความชื้น

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น-น้ำหนักหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข2. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (AOAC, 2000)

วิธีการหาน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) หรือหมู่คาร์บอนิล (C=O) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่อัลดีไฮด์ (H-C=O) เช่น กลูโคส และหมู่คีโตนของน้ำตาลฟรุกโตส เป็นต้น ขณะที่สารละลายกรด 3,5- ไดไนโตรซาลิไซลิก (DNS) ในสภาวะด่างจะถูกรีดิวซ์กลายเป็นกรด 3-อะมิโน, 5-ไนโตรซาลิไซลิก ดังสมการ

oxidation

หมู่อัลดีไฮน์ ⟶ หมู่คาร์บอนิล

reduction

กรด 3,5- ไดไนโตรซาลิไซลิก ⟶ กรด 3-อะมิโน, 5-ไนโตรซาลิไซลิก

สมการทั้ง 2 สมการที่แสดงนี้ เกิดโดย 1 โมลของน้ำตาลเข้าทำปฏิกิริยากับ 1 โมลของกรด 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก และวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าว โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรททำให้เกิดความคงตัวของสีที่เกิดขึ้น ทำให้วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 เครื่องแก้ว

2.1.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

2.1.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

2.1.4 กรด 3,5- ไดไนโตรซาลิไซลิก

2.1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.1.6 โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรท

2.1.7 กลูโคส

2.2 การเตรียมสารละลาย DNS reagent

2.2.1 ตวงน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์

2.2.2 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม และใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย

2.2.3 เติมโพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรท 75 กรัม คนให้ละลาย

2.2.4 เติมกรด 3,5- ไดไนโตรซาลิไซลิก 0.25 กรัม คนให้ละลาย

2.2.5 เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาณขวด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

2.3.1 ชั่งตัวอย่างมันฝรั่ง 15 กรัม นำไปปั่นกับน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นนาน 1 นาที

2.3.2 ต้มให้เดือดเป็นเวลา 15 นาที เมื่อเย็นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3.3 นำสารละลายที่ได้กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4

2.4 วิธีการวิเคราะห์

2.4.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างตัวอย่าง 0.4 มิลลิลิตร และสารละลาย DNS 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2.4.2 ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที

2.4.3 ทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในอ่างน้ำเย็น

2.4.4 เติมน้ำกลั่นในหลอดทดลอง หลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.4.5 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

2.4.6 บันทึกผลการทดลอง

2.5 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

2.5.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส ความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร โดยชั่งกลูโคส 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร

2.5.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส 0.1-1.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้แต่ละหลอดมีปริมาตรเป็น 1 มิลลิลิตร

2.5.3 ปิเปตสารละลายDNS 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2.5.4 ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที

2.5.5 ทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในอ่างน้ำเย็น

2.5.6 เติมน้ำกลั่นในหลอดทดลอง หลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.5.7 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

2.5.8 บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข3. **การวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA)** (ดัดแปลงจาก Jayasingh และคณะ, 2003)

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นได้แก่ อัลเคน (alkanes) อัลคีน (alkenes) อัลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketones) แอลกอฮอล์ (alcohols) เอสเทอร์ (esters) จากการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่บ่งชี้ ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (Volatile decomposition product) สารในกลุ่มนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นหืน การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ทำได้โดยใช้หลักการของวิธีการวัดความเข้มของสารสีชมพูแดงที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไธโอบาร์บิทูริค (thiobarbituric) กับoxidized lipids ได้เป็นสารประกอบที่มีสีชมพูแดง ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันของมาโลนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) กับกรดไธโอบาร์บิทูริค 2 โมเลกุล การรายงานผลการวิเคราะห์ค่า TBA จะรายงานผลเป็นมิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (milligrams of malondialdehyde equivalents/kg of sample)

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 หลอดทดลอง

3.1.2 Centrifuge

3.1.3 กรดไตรคลอโรอะซีติก

3.1.4 กรดไทโอบาร์บิทิวริก

3.1.5 กรดไฮโดรคลอริก

3.2 วิธีการวิเคราะห์

3.2.1 บดตัวอย่างให้ละเอียดอย่างสม่ำเสมอมาจำนวน 0.5 กรัม แล้วเติมสารละลายผสมระหว่างกรดไตรคลอโรอะซีติก (Trichloroacetic acid หรือ TCA) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกรดไทโอบาร์บิทิวริก (Thiobarbituricacid หรือ TBA) เข้มข้นร้อยละ 0.375 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล (N)

3.2.2 จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที แล้วนำไปหมุนเวียงที่ความเร็ว 8,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงเก็บส่วนใส่มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

3.2.3 จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณค่า TBA

$$\text{TBA number (mg MDA/Kg sample)} = \text{sample } A_{532} \times 2.77$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันทอดและมันฝรั่งทอด

ตารางที่ ค1 . ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	0.25±0.04	0.28±0.02	0.34±0.03	0.15±0.00	0.17±0.00	0.22±0.04
2	0.37±0.03	0.41±0.02	0.43±0.05	0.20±0.00	0.23±0.00	0.25±0.00
3	0.46±0.06	0.50±0.03	0.57±0.03	0.27±0.04	0.30±0.04	0.32±0.03
4	0.66±0.16	0.70±0.05	0.73±0.06	0.32±0.04	0.35±0.04	0.37±0.04
5	0.82±0.07	0.86±0.01	0.98±0.03	0.35±0.00	0.40±0.00	0.47±0.03

ตารางที่ ค2. ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	5.42±0.44	9.47±0.71	3.88±0.13	2.98±0.29	4.98±0.29	1.90±0.43
2	10.09±0.06	11.76±0.29	4.08±0.15	5.77±0.28	7.66±0.15	3.48±0.41
3	12.64±0.13	10.44±0.72	4.48±0.15	8.17±0.29	8.86±0.12	2.29±0.15
4	11.59±0.47	11.22±0.43	4.38±0.28	7.66±0.12	9.96±0.28	2.39±0.56
5	9.23±0.64	9.16±0.55	4.48±0.14	9.88±0.42	9.65±0.13	1.89±0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค3. ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	32.23±0.17	40.70±0.09	47.85±0.07	21.79±0.5	42.44±0.25	56.45±0.53
2	45.67±0.66	75.16±0.28	109.82±0.21	43.67±0.20	74.09±0.38	88.84±0.27
3	60.55±0.03	90.60±0.31	112.62±0.13	58.24±0.19	84.16±0.48	105.97±0.43
4	70.85±0.30	97.21±0.23	121.42±0.56	69.81±0.22	98.46±0.11	113.75±0.87
5	81.88±0.09	108.93±0.53	129.72±0.46	76.23±0.47	100.30±0.17	120.11±0.78

ตารางที่ ค4. ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (ร้อยละ)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	11.25±0.71	12.50±0.00	14.00±0.00	6.25±0.35	7.75±0.35	8.75±0.35
2	13.50±1.06	16.25±0.35	18.25±0.35	8.35±0.35	13.50±0.71	15.00±0.7
3	15.50±0.71	21.00±1.41	22.50±0.00	12.75±0.35	18.25±1.77	20.25±0.35
4	18.75±0.35	24.50±0.71	26.75±0.35	15.50±0.71	21.75±1.06	24.50±0.00
5	21.25±0.35	28.00±0.00	31.25±0.35	18.50±0.71	24.25±0.35	29.50±0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค5. ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ค่าความหนืด (cP)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	67.10±2.40	69.75±0.92	75.10±1.13	64.90±1.27	65.50±1.41	67.90±0.14
2	70.85±0.49	74.60±0.99	81.05±1.77	67.20±1.70	70.40±0.85	74.40±0.28
3	74.10±0.57	79.70±1.27	88.70±1.56	72.95±0.21	84.65±1.63	84.95±0.35
4	75.75±0.92	84.65±1.34	98.65±0.64	77.30±0.57	88.95±1.34	96.40±0.42
5	77.15±0.21	90.00±0.99	108.65±1.06	83.50±2.12	94.70±0.99	109.90±1.4

ตารางที่ ค6. ความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ความสว่าง (L*)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	84.86±0.14	81.71±0.03	78.47±0.06	86.18±0.04	86.34±0.13	84.43±0.40
2	83.24±0.21	78.63±0.20	77.18±0.03	85.15±0.06	83.35±0.30	81.62±0.30
3	80.17±0.12	76.24±0.06	73.10±0.04	84.84±0.05	81.61±0.40	79.49±0.01
4	77.44±0.12	73.57±0.11	69.59±0.06	82.44±0.06	79.52±0.40	77.28±0.12
5	74.38±0.02	69.92±0.04	66.48±0.25	80.31±0.02	77.56±0.3	74.47±0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค7. ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ค่าสีแดง (a*)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	-4.82±0.06	-2.80±0.01	2.11±0.08	-4.93±0.07	-4.73±0.19	-4.50±0.07
2	-4.53±0.20	1.49±0.08	3.96±0.21	-4.24±0.17	-3.42±0.04	-2.13±0.19
3	-2.90±0.02	3.94±0.10	8.44±0.16	-2.47±0.03	-1.69±0.42	1.12±0.19
4	2.46±0.11	5.45±0.12	10.44±0.15	-1.54±0.06	2.25±0.20	4.75±0.21
5	3.78±0.13	10.13±0.21	14.59±0.18	0.56±0.09	5.36±0.04	8.86±0.21

ตารางที่ ค8. ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ค่าสีเหลือง (b*)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	63.66±0.16	69.47±0.06	76.50±0.04	40.43±0.06	48.35±0.01	53.36±0.01
2	61.39±0.01	71.44±0.16	80.43±0.35	55.42±0.36	61.39±0.04	65.56±0.23
3	67.33±0.16	73.95±0.04	86.11±0.03	59.65±0.28	67.50±0.19	75.92±0.35
4	71.22±0.15	77.37±0.06	87.71±0.08	61.63±0.13	73.37±0.08	83.74±0.5
5	73.13±0.01	81.53±0.21	89.69±0.21	64.61±0.08	80.57±0.29	90.35±0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค9. ค่าความเข้มของสี (C) ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวหลังการทอดมันฝรั่งชิ้นบางที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด (วัน)	ค่าความเข้มของสี (C)					
	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันรำข้าว		
	150	170	190	150	170	190
1	63.84±0.16	67.53±0.06	76.53±0.04	40.72±0.07	48.58±0.00	53.54±0.35
2	61.55±0.01	70.45±0.16	80.52±0.34	55.58±0.37	61.49±0.04	65.59±0.35
3	67.39±0.16	76.05±0.04	86.52±0.01	59.70±0.27	67.52±0.20	75.92±0.34
4	71.26±0.15	79.72±0.07	88.32±0.06	61.64±0.13	73.40±0.07	83.87±0.33
5	73.22±0.01	86.12±0.18	90.86±0.17	64.61±0.08	80.74±0.29	90.78±0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค10. ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งที่ทอดในอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

เวลาในการทอด (วัน)	TBA (mg malondialdehyde/kg. sample)									
	น้ำมันปาล์ม					น้ำมันรำข้าว				
	เวลาในการเก็บรักษา (วัน)					เวลาในการเก็บรักษา (วัน)				
	0	30	60	90	120	0	30	60	90	120
1	0.87±0.06	0.60±0.08	0.85±0.13	0.72±0.03	0.84±0.13	0.64±0.04	0.63±0.11	0.89±0.12	1.04±0.18	1.26±0.11
2	0.95±0.13	0.92±0.23	0.99±0.14	1.00±0.07	1.27±0.17	0.76±0.08	0.92±0.13	1.20±0.12	1.14±0.12	1.32±0.13
3	1.29±0.26	1.25±0.21	1.40±0.21	1.55±0.09	1.72±0.15	0.98±0.08	0.97±0.08	1.29±0.23	1.67±0.04	1.88±0.16
4	1.48±0.14	1.53±0.15	1.77±0.09	2.08±0.16	2.03±0.13	1.23±0.06	1.14±0.25	1.60±0.11	2.06±0.12	2.28±0.27
5	1.63±0.04	1.60±0.14	2.04±0.17	2.21±0.18	2.25±0.11	1.38±0.23	1.63±0.12	1.91±0.05	2.21±0.23	2.37±0.22

ตารางที่ ค11. ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งที่ทอดในอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

เวลาในการทอด (วัน)	TBA (mg malondialdehyde/kg. sample)									
	น้ำมันปาล์ม					น้ำมันรำข้าว				
	เวลาในการเก็บรักษา (วัน)					เวลาในการเก็บรักษา (วัน)				
	0	30	60	90	120	0	30	60	90	120
1	0.92±0.14	0.94±0.07	0.89±0.16	0.99±0.08	1.14±0.01	0.80±0.08	0.84±0.08	1.04±0.04	1.17±0.05	1.20±0.04
2	1.01±0.04	0.98±0.14	1.04±0.07	1.10±0.16	1.32±0.07	0.89±0.15	1.04±0.06	1.19±0.16	1.31±0.14	1.43±0.14
3	1.38±0.14	1.30±0.07	1.42±0.14	1.61±0.06	1.66±0.18	1.05±0.04	1.15±0.08	1.13±0.17	1.13±0.01	1.53±0.20
4	1.53±0.18	1.56±0.20	1.48±0.08	1.74±0.06	2.03±0.18	1.10±0.16	1.28±0.04	1.87±0.12	1.82±0.22	2.14±0.06
5	1.67±0.16	1.64±0.08	1.87±0.13	2.09±0.15	2.28±0.05	1.17±0.08	1.63±0.16	2.13±0.03	2.08±0.09	2.32±0.35

ตารางที่ ค12. ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งที่ทอดในอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

เวลาในการทอด (วัน)	TBA (mg malondialdehyde/kg. sample)									
	น้ำมันปาล์ม					น้ำมันรำข้าว				
	เวลาในการเก็บรักษา (วัน)					เวลาในการเก็บรักษา (วัน)				
	0	30	60	90	120	0	30	60	90	120
1	0.99±0.16	0.89±0.14	1.12±0.09	1.21±0.13	1.25±0.07	0.89±0.08	1.17±0.07	1.13±0.10	1.29±0.25	1.41±0.16
2	1.14±0.28	1.14±0.06	1.29±0.12	1.38±0.19	1.42±0.10	1.09±0.14	1.26±0.05	1.20±0.18	1.42±0.10	1.57±0.01
3	1.27±0.05	1.26±0.11	1.47±0.17	1.72±0.09	1.69±0.20	1.18±0.08	1.29±0.23	1.30±0.08	1.62±0.14	1.86±0.17
4	1.56±0.17	1.60±0.06	1.69±0.28	2.16±0.18	2.25±0.11	1.45±0.16	1.59±0.16	1.73±0.18	2.09±0.32	2.36±0.16
5	1.73±0.09	1.66±0.17	1.88±0.13	2.22±0.02	2.42±0.07	1.62±0.03	1.81±0.12	1.79±0.19	2.40±0.12	2.53±0.09

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ง1. การวิเคราะห์ทางสถิติค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage time	1.277	4	0.319	10.688	0.011
Error	0.149	5	0.030		
Frying time	9.935	4	2.484	127.488	0.000
Storage time * Frying time	0.727	16	0.045	2.332	0.038
Error	0.390	20	0.019		
Total	12.478	49			

ตารางผนวกที่ ง2. การวิเคราะห์ทางสถิติค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage time	1.146	4	0.286	60.838	0.000
Error	0.024	5	0.005		
Frying time	6.099	4	1.525	86.231	0.000
Storage time * Frying time	0.255	16	0.016	0.901	0.578
Error	0.354	20	0.018		
Total	7.878	49			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ง3. การวิเคราะห์ทางสถิติค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ในน้ำมันปาล์มและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage time	1.964	4	0.491	40.305	0.001
Error	0.061	5	0.012[a]		
Frying time	5.666	4	1.416	60.397	0.000
Storage time * Frying time	0.450	16	0.028	1.200	0.345
Error	0.469	20	0.023[b]		
Total	8.61	49			

ตารางผนวกที่ ง4. การวิเคราะห์ทางสถิติค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในน้ำมันรำข้าวและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage time	4.668	4	1.167	49.031	0.000
Error	0.119	5	0.024		
Frying time	7.303	4	1.826	81.328	0.000
Storage time * Frying time	0.757	16	0.047	2.108	0.058
Error	0.449	20	0.022		
Total	13.296	49			

ตารางผนวกที่ ง5. การวิเคราะห์ทางสถิติค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในน้ำมันรำข้าวและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage time	3.168	4	0.792	154.340	0.000
Error	0.026	5	0.005		
Frying time	5.363	4	1.341	64.889	0.000
Storage time * Frying time	1.063	16	0.066	3.215	0.008
Error	0.413	20	0.021		
Total	10.033	49			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ง6. การวิเคราะห์ทางสถิติค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ในน้ำมันรำข้าวและเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 120 วัน

source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage time	3.110	4	0.778	30.281	0.001
Error	0.128	5	0.026		
Frying time	5.197	4	1.299	58.694	0.000
Storage time * Frying time	0.692	16	0.043	1.955	0.078
Error	0.443	20	0.022		
Total	9.57	49			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้