

การปรับปรุงกระบวนการผลิตหลักของการผลิตข้าวแต่นของกลุ่มแม่บ้าน
เกษตรกรสันทรายหลวง

THE IMPROVEMENT OF MAIN PROCESS FOR FRIED RICE
CRACKERS MADE BY SANSAILUANG FARMERS'
HOUSEWIVES GROUP

วาธินี อินทรพจน์วัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2550

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ชื่อเรื่อง

การปรับปรุงกระบวนการผลิตหลักของการผลิตข้าวแตนของกลุ่มแม่บ้าน
เกษตรกรรมทรายหลวง

โดย

วราณี อินทรพงษ์วิวัฒน์

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราณี วราสวัสดิ์)

วันที่ 11 เดือน ธ.ค. พ.ศ. 2550

กรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.กรรภา อรรถนิตย์)

วันที่ 11 เดือน ธ.ค. พ.ศ. 2550

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ หวังเจริญ)

วันที่ 11 เดือน ธ.ค. พ.ศ. 2550

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(อาจารย์ ดร.สุทธยา พิมพ์พิไล)

วันที่ 11 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2550

โครงการบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)

ประธานคณะกรรมการโครงการบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 11 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2550

ชื่อเรื่อง	การปรับปรุงกระบวนการผลิตหลักของการผลิตข้าวแตนของ กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวง
ชื่อผู้เขียน	นางสาววราณี อินทรพจน์วัฒน์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราณี วราสวัสดิ์

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวแตนให้มีประสิทธิภาพและคุณภาพดีมีขึ้นอยู่กับการมวิธีการผลิต คือ การขึ้นรูป วิธีการทำแห้ง ปริมาณความชื้นที่เหลือหลังการทำแห้ง ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด ในการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตโดยเฉพาะการขึ้นรูปก็มีความสำคัญในแง่ต้นทุนการผลิต ผลของการศึกษาถึงประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละหลายชิ้นที่มีความหนาแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยแม่พิมพ์ขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ชนิดที่มีความหนา 0.50 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากแม่พิมพ์ที่มีความหนา 0.4 0.5 และ 0.6 เซนติเมตร ส่วนแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 เซนติเมตร ชนิดที่มีความหนา 0.80 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากแม่พิมพ์ที่มีความหนา 0.6 0.8 และ 1.0 เซนติเมตร

ส่วนการศึกษาดูอุณหภูมิในการอบแห้งและความชื้นที่เหลือหลังการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพข้าวแตน พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 10 ได้ข้าวแตนหลังการทอดที่มีลักษณะที่ดีที่สุด คือ มีความกรอบดี ดูดซับน้ำมันได้น้อยรวมทั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ในการทอดน้อยที่สุด ส่วนการศึกษานิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด พบว่าการทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ให้ค่าความสว่างมากที่สุด และยังมีผลทำให้การดูดซับน้ำมันของข้าวแตนมีค่าน้อยที่สุดและมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันในระหว่างทอดน้อยที่สุด เมื่อวัดการเพิ่มขึ้นของปริมาณคอนจูเกตไดอิน ค่าเพอร์ออกไซด์และค่าที่บารัส

อย่างไรก็ดีการลดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์และน้ำมันที่ใช้ทอดโดยการเติมสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันก่อนการทอดโดยเติม TBHQ BHA ผสมร่วมกับ BHT และไบเตย พบว่าการเติม TBHQ มีแนวโน้มให้ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือไบเตย โดยช่วยให้สามารถเก็บรักษาได้ 60 วัน ขณะที่ข้าวแตนที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันจะเก็บรักษาเพียง 30 วัน ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน

Title	The Improvement of Main Process for fried rice crackers Made by Sansailuang farmers' housewives Group
Author	Miss Watinee Intharapongnuwat
Degree of	Master of Science in Food Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Pranee Warasawas

ABSTRACT

The efficiency of production process and the quality of Thai-style fried rice crackers depend on production processes including molding and drying processes, moisture content remaining after drying, frying oil type, frying temperature, and frying time. The efficiency especially of molding process affects the cost of product. This study concentrated on the efficiency of the molds that produce several pieces instead of one piece at a time. The thicknesses of the molds affected both quality and time of molding. A small size mold of 2.5 centimeters in diameter gave the best result at 0.5 centimeter thickness compare with 0.4 and 0.6 centimeter while the bigger mold of 4.0 centimeters in diameter was best at 0.8 centimeter thickness compare with 0.6 and 1.0 centimeter.

The study on drying temperatures and the remaining moistures revealed that drying at 65 °C to get a moisture content to 10% yielded the best product with crispiness, least oil uptake, and the least chemical change of frying oil. While the study on frying oil types, frying temperatures, and frying times showed that frying rice crackers with palm olein at the temperature of 210°C for 30 seconds resulted in the highest value for brightness, the least oil uptake of the product, and the least chemical change of frying oil with respect to conjugated dienes content, peroxide value, and TBARS value.

The study on using antioxidants to decrease deterioration of product and frying oil were also carried out. The uses of TBHQ, BHA with BHT, and natural Pandan leaves were compared. It was found that TBHQ tended to yield the best result, followed by Pandan leaves. Both antioxidants extended the shelf life of rice crackers to 60 days while the shelf lives of crackers without antioxidant were only at 30 days in PP packaging.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราณี วราสวัสดิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา พร้อมทั้งจัดหาทุนในการทำวิจัย คอยติดตามการทำงานและแก้ไขงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. กรพกา อรรถนิตย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ หวังเจริญ กรรมการที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อแก้ไขในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และลุล่วงจนสำเร็จ รวมทั้งอาจารย์ ดร. สมชาย จอมดวง ประธานกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและภาควิชาวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำปรึกษา ให้ความสะดวกในการใช้สถานที่ อุปกรณ์ สารเคมี เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีทางอาหารและนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อบำรุงและคุณแม่โรชาเลีย อินทรพงษ์นุวัฒน์ ที่เป็นผู้ให้กำเนิด ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์และสติปัญญา ตลอดจนญาติพี่น้องและเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการศึกษาจนสำเร็จ และข้าพเจ้าน้อมรำลึกถึงพระคุณของครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตั้งแต่เล็กจนโต

วาธินี อินทรพงษ์นุวัฒน์

26 เมษายน 2550

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	1
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ข้าวแตนหรือข้าวแตน	3
กระบวนการผลิตที่สำคัญ	6
การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหาร	38
ข้อเสนอแนะสำหรับการทอดอาหารโดยทั่วไป	41
การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวแตน	42
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	43
วัตถุดิบและสารเคมี	43
อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวแตน	43
อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพข้าวแตน	44
สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพข้าวแตน	45
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส	47
การวิเคราะห์ทางสถิติ	47
วิธีการวิจัย	47
การศึกษาคุณภาพของแม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์เดิม ของกลุ่มแม่บ้าน	47

การศึกษาปริมาณความชื้นของข้าวแตนแห้งของกลุ่มแม่บ้าน	50
การศึกษากกรรมวิธีการอบแห้งข้าวแตนโดยใช้ตู้อบลมร้อน	50
การศึกษานิคของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เวลาอุณหภูมิในการทอดที่มีผลต่อข้าวแตน	52
การศึกษานิคของสารต้านออกซิเดชันที่ใช้ในกระบวนการทอดที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาข้าวแตนในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ	54
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	58
การศึกษาคุณภาพของแม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์เดิมของกลุ่มแม่บ้าน	58
การศึกษาปริมาณความชื้นของข้าวแตนแห้งของกลุ่มแม่บ้าน	63
การศึกษากกรรมวิธีการอบแห้งข้าวแตนโดยใช้ตู้อบลมร้อน	64
การศึกษานิคของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เวลาอุณหภูมิในการทอดที่มีผลต่อข้าวแตน	82
การศึกษานิคของสารต้านออกซิเดชันที่ใช้ในกระบวนการทอดที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาข้าวแตนในช่วงระยะเวลาต่าง	103
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	124
สรุปผลการวิจัย	124
ข้อเสนอแนะ	125
บรรณานุกรม	126
ภาคผนวก	134
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ	135
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี	140
ภาคผนวก ค แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	155
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	164

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ข้อดี-ข้อเสียของการทำแห้งด้วยการตากแดดและใช้ตู้อบลมร้อน	8
2	องค์ประกอบของสารต้านออกซิเดชันในใบเตยแห้ง 100 กรัม	13
3	องค์ประกอบและสมบัติบางประการของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าว	14
4	ตัวอย่างน้ำมันพืชสำหรับใช้ทอดหรือประกอบอาหารที่วางจำหน่ายในท้องตลาด	16
5	ประสิทธิภาพในการขึ้นรูปและสมบัติของข้าวแตนจากแม่พิมพ์ขนาดต่าง ๆ	62
6	ปริมาณความชื้นและค่า A_w ของข้าวแตนแห้งของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวง	64
7	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแตนเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก	72
8	คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแตนหลังทอดที่แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับและความชื้นก่อนทอด 3 ระดับ	73
9	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังทอดข้าวแตนที่แสดงอิทธิพลจากปัจจัยหลัก	80
10	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันหลังการทอดข้าวแตนที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ 3 ระดับและเหลือความชื้น 3 ระดับ	81
11	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพหลังการทอดข้าวแตนเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก	87
12	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพหลังการทอดข้าวแตนเนื่องจากอิทธิพลของ 2 ปัจจัย	88
13	คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแตนหลังการทอดที่แสดงอิทธิพลของน้ำมันที่ใช้ทอด 2 ชนิด อุณหภูมิในการทอด 3 ระดับและเวลาในการทอด 3 ระดับ	90
14	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังทอดข้าวแตนที่แสดงอิทธิพลจากปัจจัยหลัก	98
15	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังทอดข้าวแตนที่แสดงอิทธิพลของ 2 ปัจจัย	99
16	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันหลังทอดข้าวแตนที่แสดงอิทธิพลของน้ำมันที่ใช้ทอด 2 ชนิด อุณหภูมิในการทอด 3 ระดับและเวลาในการทอด 3 ระดับ	101

17	คุณภาพทางกายภาพของข้าวแต่นและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมัน หลังการทอดที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันก่อนการทอดข้าวแต่น	107
18	ค่าเฉลี่ยสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวแต่นภายหลังการทอดเนื่องจาก อิทธิพลของปัจจัยหลัก	113
19	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวแต่นภายหลังการทอดที่แสดงอิทธิพลของ ในสารต้านออกซิเดชัน 4 ชนิดและเวลาในการเก็บรักษา 7 ช่วง	114
20	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแต่นเนื่องจากอิทธิพลของ ปัจจัยหลัก	121
21	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแต่นที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสาร ต้านออกซิเดชันและการเก็บรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ	122
22	ความจำเพาะของน้ำหนักของตัวอย่างตามปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในความ เข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรด ไขมันอิสระในตัวอย่าง	143
23	การให้คะแนนในการทดสอบเชิงพรรณนา	163
24	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านการขึ้นรูปข้าวแต่นเปียกและทางกายภาพ ภายหลังการทอดข้าวแต่นของแม่พิมพ์ขนาดเล็กที่มีความหนา 3 ขนาด เทียบกับ แม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้าน	165
25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านการขึ้นรูปข้าวแต่นเปียกและทางกายภาพ ภายหลังการทอดข้าวแต่นของแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่มีความหนา 3 ขนาด เทียบกับ แม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้าน	165
26	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของข้าวแต่นหลังการทอดที่มีผลมาจาก อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้น	166
27	การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ที่มี ผลมาจากอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้น	167
28	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพภายหลังการทอดข้าวแต่นที่มีผลมาจาก ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด	168
29	การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ที่มี ผลมาจากชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด	169
30	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพภายหลังการทอดข้าวแต่นที่ผ่านการ ทอดในน้ำมันที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ	170

- 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ที่
เต็ม 170
สารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านการทอดข้าวแตน
- 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของข้าวแตนและการเปลี่ยนแปลง
คุณภาพทางเคมีของน้ำมันในข้าวแตนที่มีผลมาจากชนิดสารต้านออกซิเดชันชนิด
ต่าง ๆ ที่เติมลงในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษาในช่วงต่าง ๆ 171
- 33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวแตนที่มี
ผลมาจากชนิดของสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ที่เติมลงในน้ำมันที่ใช้ทอด
และระยะเวลาในการเก็บรักษาในช่วงต่าง ๆ 172

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต่น้ำแดงโมของกุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวง	3
2 แผนภูมิขั้นตอนการผลิตข้าวแต่น	5
3 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชั้นอาหารระหว่างการอบแห้ง	10
4 ภาพตัดขวางแสดงการเปลี่ยนแปลงในอาหารของชั้นอาหารที่ทอดแบบน้ำมัน ท่วมและภาพสแกนตัดขวางของผิวมันฝรั่งทอดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	12
5 ภาพตัดขวางของมันฝรั่งแห้งทอดกรอบจาก confocal laser scanning microscopy ที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที	18
6 ปฏิกริยาการเกิดไฮโดรไลซิสของไตรเอซิลเซอรอล	21
7 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงระหว่างเกิดออกซิเดชันของไขมัน	24
8 การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดโอเลอิก	25
9 การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดลิโนเลอิก	26
10 การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดลิโนเลนิก	27
11 แผนภูมิการสลายตัวของไขมันหรือน้ำมันเนื่องจากความร้อน	30
12 ภาพโดยรวมของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันและปฏิกิริยาของสารต้าน ออกซิเดชัน	31
13 โครงสร้างของ BHA	33
14 โครงสร้างของ BHT	34
15 โครงสร้างของ TBHQ	35
16 โครงสร้างของโทโคเฟอรอล	37
17 แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปข้าวแต่น	61
18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและปริมาณความชื้นของข้าวแต่น ภายหลังการอบแห้ง	65
19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและค่ากิจกรรมของน้ำของข้าวแต่น ภายหลังการอบแห้ง	66
20 สีของข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 ระดับ จนเหลือความชื้น 3 ระดับ	68

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประชากรในอำเภอสนทรายส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม โดยมากจะทำการปลูกข้าว ถั่วเหลือง มันฝรั่งและทำสวนมะม่วง เป็นต้น หลังฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตประชากรส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพเสริม เช่น การแปรรูปอาหาร ได้แก่ การทำเต้าเจี้ยวถั่วเหลือง มันฝรั่งทอดกรอบ ไข่เค็ม ไข่สมุนไพร และข้าวแตน โดยเฉพาะข้าวแตนของกลุ่มแม่บ้านเกษตรสนทรายหลวงซึ่งมีสมาชิกกลุ่ม 50 คน ได้รับการคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ดีเด่นและเป็นสินค้าหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล ที่ได้รับการประเมินของจังหวัดในระดับ 4 ดาว เนื่องจากการมีรสชาติอร่อย กรอบมันและมีสีสวยงามจากน้ำแดงโม ซึ่งได้รับความนิยมรับประทานเป็นอาหารว่าง สามารถสร้างรายได้ให้แก่กลุ่มแม่บ้านตำบลสนทรายหลวงไม่ต่ำกว่า 30,000 – 50,000 บาทต่อเดือน แต่ในส่วนของกระบวนการผลิตในขั้นตอนการทำแห้งที่ใช้เป็นวิธีการผึ่งแดดทำให้สูญเสียรายได้จากการผลิตไม่ต่อเนื่องที่ไม่สามารถผลิตข้าวแตนได้ในช่วงฤดูฝนประมาณเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม รวมไปถึงหากเหลือความชื้นในข้าวแตนแห้งในปริมาณที่สูงอาจมีผลต่อการเสื่อมเสียของแดนเนื่องจากเชื้อราและการเหม็นหืนก่อนเวลาอันควร โดยทั้ง 2 ปัญหาอาจส่งผลทำให้มีอายุการเก็บรักษาล้นลง การเก็บรักษาในปัจจุบันสามารถเก็บได้เพียง 2 เดือน โดยเก็บในถุงพลาสติก Polypropylene (PP) จึงศึกษากรรมวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบ นอกจากนี้การขึ้นรูป ปัจจุบันทำได้ครั้งละชิ้นดังนั้นเพื่อประหยัดเวลาและแรงงานจึงมีความจำเป็นในการหากรรมวิธีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต รวมทั้งการศึกษาถึงความเหมาะสมของน้ำมันที่ใช้ในการทอดโดยปัจจุบันกลุ่มแม่บ้านใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วน 2:1 ตามลำดับ ในขณะที่อาหารทอดทั่วไปใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน รวมทั้งการศึกษผลของการใช้สารต้านออกซิเดชันเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวแตน

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อปรับปรุงกรรมวิธีการขึ้นรูปข้าวแตน
2. เพื่อศึกษากรรมวิธีการทำแห้งข้าวแตน โดยใช้ตู้อบร้อน
3. เพื่อศึกษาระดับความชื้นที่เหมาะสมของข้าวแตนก่อนทอด
4. เพื่อศึกษากรรมวิธีการทอดข้าวแตนที่เหมาะสม
5. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของน้ำมันที่ใช้ในการทอด
6. เพื่อศึกษาการใช้สารต้านออกซิเดชันเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวแตน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เกิดความร่วมมือในการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวแตนของกลุ่มแม่บ้าน
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเผยแพร่แก่กลุ่มผู้ผลิตข้าวแตนกลุ่มอื่นๆ
3. สามารถลดระยะเวลาและจำนวนแรงงานในการขึ้นรูป
4. สามารถผลิตข้าวแตนได้ตลอดทั้งปีรวมถึงการประยุกต์ร่วมกันระหว่างวิธีการผึ่งแดดและวิธีการอบแห้ง
5. สามารถผลิตข้าวแตนที่ได้คุณภาพเพื่อลดการเสื่อมคุณภาพจากสาเหตุของการเกิดการเหม็นหืนก่อนเวลาอันควรและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเฉพาะข้าวแตนพื้นฐาน ไม่รวมข้าวแตนที่มีการเติมเครื่องปรุงรสต่างๆ เช่น น้ำอ้อย น้ำตาล หมูหยอง หรือหน้าปลาแห้ง รวมทั้งรูปร่างข้าวแตนที่ศึกษาจะศึกษาเฉพาะรูปแบบดั้งเดิมที่เป็นแผ่นกลมเท่านั้นและระยะเวลาในการเก็บรักษา 3 เดือน

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ข้าวแตนหรือข้าวแต๋น

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.36/2546) ให้คำจำกัดคำของข้าวแตน คือ อาหารว่างที่ทำจากข้าวเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก โดยนำข้าวเหนียวมาแช่น้ำ นึ่งสุก อาจผสมกับส่วนประกอบอื่น เช่น น้ำแดงโมหรือน้ำผลไม้อื่น เกลือ น้ำอ้อย ไข่ น้ำกะทิ แล้วทำให้เป็นแผ่นหรือรูปแบบอื่น ทอดให้พอง อาจปรุงแต่งหน้าด้วยเครื่องปรุงต่าง ๆ เช่น น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว หมูหยอง น้ำพริกเผา เป็นต้น ในกรณีที่แผ่นข้าวทำมาจากข้าวเหนียวโดยไม่มีส่วนประกอบอื่นเป็นส่วนผสม และมีน้ำตาลเคี้ยวเป็นเครื่องปรุงแต่งหน้า เรียกว่า “นางเล็ด” (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)



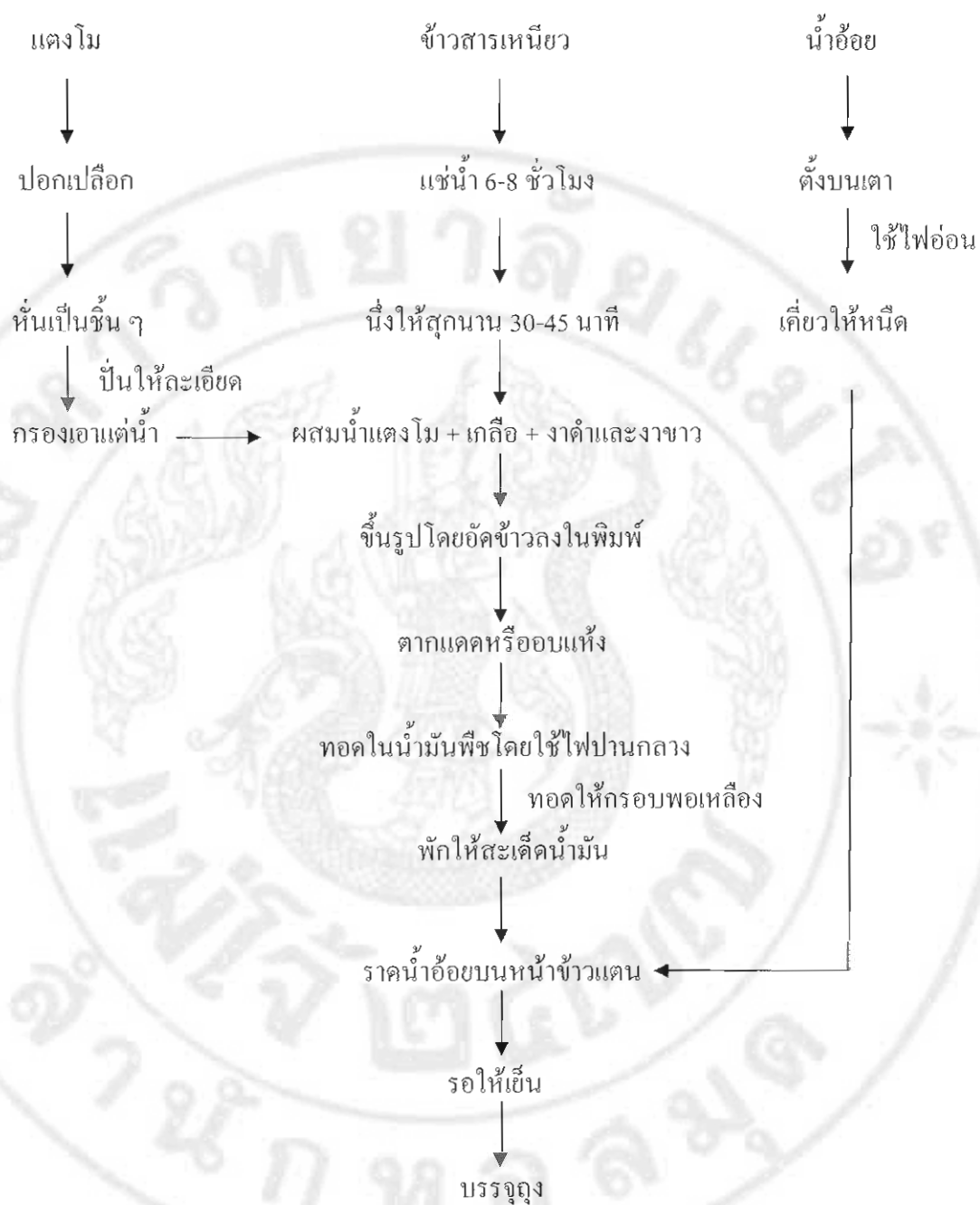
ภาพ 1 ผลิตภัณฑ์ข้าวแตนน้ำแดงโมของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวง
ที่มา: อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ (2547)

ขั้นตอนการผลิตข้าวแตน

ส่วนผสม (สูตรการทำข้าวแตน 4 กก.)

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 1. ข้าวสารเหนียว 5 ลิตร (พันธุ์กข 6) | 4. งาดำและงาขาว 4 ชีด |
| 2. น้ำแดงโม 5 ถ้วย หรือประมาณ 2 กก. | 5. เกลือ 2 ช้อนโต๊ะ |
| 3. น้ำอ้อย 2 กก. | 6. น้ำมันพืช 4 ลิตร |

จากการสัมภาษณ์กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวงพอสรุปได้ดังนี้ วิธีการทำเริ่มจากการนำข้าวสารเหนียวมาแช่น้ำ 1 คืนหรือ 6-8 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย หลังจากนั้นนำมาึ่งให้สุก ในขณะที่รอให้ข้าวเหนียวสุก ทำการปอกแดงโม หั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น และคั้นเอาแต่น้ำแดงโมเดิมเกลือ งาดำและงาขาวลงไปคลุกเคล้าให้เข้ากัน ราดลงบนข้าวเหนียวที่ ึ่งสุกแล้ว จากนั้นนำข้าวแตนเปียกที่ได้มาขึ้นรูปด้วยการกดลงพิมพ์ที่เตรียมไว้ แล้งวางลงบนตะแกรงมุ้งลวด นำไปผึ่งแดดประมาณ 1 – 2 วัน (แดด) หรืออบแห้งจนข้าวแห้งสนิท จึงนำข้าวแตนแห้งไปทอดในน้ำมันพืช (น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันเมล็ดปาล์มในอัตรา 1:2) ที่ตั้งไฟจนร้อน ซึ่งก่อนการทอดข้าวแตนทางกลุ่มแม่บ้านฯ ได้นำใบเตยมาทอดก่อนเพื่อป้องกันการไหม้ไหมของน้ำมันและจะทำการทอดใบเตยทุกครั้งหลังจากที่เติมน้ำมันใหม่ หลังจากนำข้าวแตนแห้งใส่ลงในกระทะ ทำการกดข้าวแตนแห้งให้จมน้ำมันแล้วทำการกดถ่ายไปมาด้วยกระชอนเพื่อให้ข้าวพองและมีสีที่สม่ำเสมอ ข้าวแตนที่ได้จะมีลักษณะพองกรอบและมีสีน้ำตาล เมื่อทอดเสร็จแล้วนำมาพักไว้สักครู่ จากนั้นนำน้ำอ้อยที่ผ่านการเคี้ยวแล้วมาราดลงบนข้าวแตน (ในกรณีทำข้าวแตนหน้าปลาแห้งและหน้าหมูหยองจะนำข้าวแตนที่ราดน้ำอ้อยแล้วมาคลุกปลาแห้งและหมูหยองอีกครั้งหนึ่ง) แล้วนำมาวางเรียงกัน ทิ้งไว้สักครู่รอให้เย็นแล้วจึงนำมาบรรจุถุง ผนึกปากถุงด้วยความร้อนและรอการจำหน่ายต่อไป



ภาพ 2 แผนภูมิขั้นตอนการผลิตข้าวแต่น

ลักษณะของข้าวแตนที่ดี คือ ต้องกรอบ มีกลิ่นหอมและมีสีทองจากน้ำแดงโม ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนหรือกลิ่นแปลกปลอม เนื่องจากข้าวแตนจัดอยู่ในจำพวกอาหารแห้งหรืออาหารว่าง คุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานชุมชน (มผช.36/2546) ของข้าวแตนมีดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป ต้องเป็นแผ่นหรือรูปแบบอื่น กรอบร่วน อาจแตกหักได้เล็กน้อย เมื่ข้าวมีการพองตัวดีและสม่ำเสมอ
2. เครื่องปรุงแต่งหน้า (ถ้ามี) ต้องเกาะติดแผ่นข้าวแตนและกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ
3. สี มีสีสม่ำเสมอและเป็นไปตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้
4. กลิ่นรส มีกลิ่นรสเฉพาะของส่วนประกอบที่ใช้และปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน
5. สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบในการทำข้าวแตน เช่น เส้นผม แมลงหรือชิ้นส่วนของแมลง
6. จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม และต้องไม่มีราปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจน

กระบวนการผลิตที่สำคัญ

1. การขึ้นรูปข้าวแตน

การขึ้นรูปข้าวแตนของกลุ่มแม่บ้านฯ แต่เดิมใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากแผ่นสังกะสีโดยการตัดเป็นแผ่นให้มีความสูง 1 เซนติเมตร และสามารถขดเป็นวงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร และพันด้วยเชือกไนลอนเพื่อลดความคมของแผ่นสังกะสี สามารถขึ้นรูปข้าวแตนได้ครั้งละชั้น จึงปรับปรุงแม่พิมพ์โดยทำจากแผ่นพลาสติกอะคริลิก (acrylic plastic sheet) ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพของพลาสติกอะคริลิกดังปรากฏใน Ridout plastic company Inc., 2006 โดยแสงสามารถส่องผ่านได้ดีเนื่องจากมีความใสเป็นประกายเหมือนแก้ว ทนต่อแรงกระแทก ทนแดด ทนฝน มีความทนทานต่อสารเคมี ทนทานต่อความร้อนและง่ายต่อการประดิษฐ์และดัดแปลง

2. การอบหรือการตากแห้งข้าวแตน

หลังจากที่นำข้าวเหนียวผ่านการคลุกเคล้าผสมน้ำปรุงรสและทำการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่เป็นรูปวงกลม ทำการเรียงข้าวแตนเปียกลงบนตะแกรงมุ้งลวดอย่างเป็นระเบียบ หลังจากนั้นจึงเป็นการระเหยเอาน้ำออกจากข้าวแตน ในปัจจุบันการระเหยเอาน้ำออกจากข้าวแตนสามารถทำได้โดยวิธีง่าย ๆ 2 วิธี คือ การตากแดดและการอบแห้ง หลักในการทำแห้งดังกล่าวในนิธิยา (2543) คือ จะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอล้วนเคลื่อนย้ายออกจาก

อาหาร แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจากธรรมชาติและกระแสลมที่พัดผ่านอาหารทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำ เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่ได้สูงมากนักและกระแสลมธรรมชาติไม่สูงพอ ทำให้การตากแห้งต้องใช้เวลาาน ใช้พื้นที่มากในการกระจายผลิตภัณฑ์ให้ได้รับความร้อนในปริมาณที่เพียงพอ แต่ในแง่ของการสิ้นเปลืองพลังงานถือว่าประหยัดกว่าการใช้ตู้อบลมร้อนที่ต้องใช้เชื้อเพลิง จากการสำรวจกลุ่มแม่บ้านฯ การตากแห้งข้าวแตนใช้วิธีการผึ่งแดด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้ตู้อบลมร้อนจำเป็นต้องใช้ก๊าซหุงต้มและกระแสไฟฟ้าเป็นตัวให้พลังงาน โดยจะต้องอุ่นเครื่องให้ได้ระดับความร้อนที่ต้องการก่อนจากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่การอบ ต้องควบคุมอัตราเร็วลม ตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ แต่การใช้ตู้อบลมร้อนในการระเหยน้ำข้าวแตนสามารถลดเวลาในการอบแห้งให้สั้นลง ลดพื้นที่ในการอบแห้ง ง่ายต่อการควบคุมในการลดความชื้นให้ได้ในระดับที่ต้องการ ลดการปนเปื้อนทั้งจากสิ่งสกปรกภายนอกและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และทำได้ตลอดแม้ในช่วงฤดูฝน เนื่องจากการอบแห้งประเภทนี้เป็นการทำแห้งในระบบปิดซึ่งมีข้อดี-ข้อเสีย ดังตาราง 1

อาหารที่นิยมถนอมรักษาด้วยวิธีการลดความชื้นหรือการอบแห้งนี้จะมีอยู่เกือบทุกประเภท การอบแห้งจะมีประโยชน์หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการถนอมรักษาเพราะอาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสีย เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อยหรือเพื่อลดปริมาตรและน้ำหนักของอาหาร ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่งได้มาก (รัชนิ, 2532) การอบแห้งเป็นการให้ความร้อนแก่อาหารในระดับที่สามารถได้น้ำออกจากอาหารให้เหลืออยู่ปริมาณน้อยที่สุด การอบแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด (sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying) การทำแห้งใช้ตู้อบลมร้อน (hot air drier) ตู้อบลมสุญญากาศ (vacuum shelf drier) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และการอบ (baking) เป็นต้น ซึ่งสามารถลดค่าปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ให้อาหารให้น้อยลงได้และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

ตาราง 1 ข้อดี – ข้อเสียของการทำแห้งด้วยการตากแดดและใช้ตู้อบลมร้อน

กรรมวิธี	ข้อดี	ข้อเสีย
การตากแดด	วิธีการทำได้ง่าย ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน	ใช้เวลานาน ใช้เนื้อที่มาก เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย ไม่สามารถลดความชื้นได้ในระดับที่ต้องการ
การอบแห้ง	ใช้เวลาสั้น ใช้เนื้อที่น้อย สามารถป้องกันการปนเปื้อนได้ดี สามารถลดความชื้นได้ในระดับที่ต้องการ	วิธีการทำยุ่งยาก สิ้นเปลืองพลังงาน

ศิริชัยและสัมพันธ (2547) ได้ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการใช้ตู้อบลมร้อนเพื่อลดความชื้นข้าวแดง พบว่าสามารถใช้อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาอบนาน 8 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นเริ่มต้นจากร้อยละ 81 ของน้ำหนักแห้ง ให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้ง

2.1 หลักการอบแห้ง

เป็นกระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ หรืออาหารที่ขึ้นเพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหย ทั้งนี้พบว่าปรากฏการณ์ทางกายภาพสำคัญที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งส่งผลเป็นอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นั้น คือ การถ่ายเทความร้อนและการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหาร ดังกล่าวในพรณีและศศิเกษม (2530) คือ

2.1.1 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้น ณ จุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ นั่นคือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารและตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารและตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น การระเหยนํ้าออกจากอาหารก็จะรวดเร็วขึ้นด้วย การดำเนินการอบแห้งอาจใช้การถ่ายเทความร้อนด้วยวิธี การนำความร้อน การพาความร้อน หรือใช้หลายวิธีร่วมกัน

2.1.2 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นการส่งผ่านความร้อนในรูปของพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ระหว่างโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ข้างเคียงกัน โดยที่โมเลกุลเหล่านั้นไม่ได้เคลื่อนที่ เกิดขึ้นกับอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ข้นหนืด เช่น ผักบรอกโคลีในซอส อาหารแป็งที่บรรจุอย่างหนาแน่น เป็นต้น

2.1.3 การพาความร้อน (Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนเมื่อโมเลกุลของสารได้รับความร้อนแล้วจะมีการเคลื่อนที่และส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลอื่น เกิดขึ้นกับอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวหรือกึ่งของเหลว เช่น ผลไม้บรรจุในน้ำเชื่อม เป็นต้น (สงวนศรี, 2536) รวมทั้งการใช้ลมร้อนผ่านเข้าสู่อาหาร

2.1.4 การเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหาร

เมื่ออาหารได้รับความร้อนในระหว่างการอบแห้ง น้ำบริเวณผิวหน้าของอาหารจะระเหยออกไปก่อน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์บริเวณผิวหน้าของอาหารเพิ่มสูงขึ้นจึงเกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากเซลล์ที่อยู่ข้างในไปยังเซลล์ที่อยู่บริเวณผิวหน้าเพื่อปรับแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างเซลล์ของเนื้ออาหารให้สมดุลกัน และน้ำเมื่อเคลื่อนที่ออกมาภายนอกก็จะระเหยเป็นไอไปสู่บรรยากาศของตู้อบต่อไป ทำให้การเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเคลื่อนย้ายนี้จะหยุดลงก็ต่อเมื่อในเซลล์ผิวหน้าไม่สามารถระเหยออกไปได้อีกนั่นเอง การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชั้นอาหารออกมาที่ผิวเมื่อได้รับพลังงานความร้อนมี 2 วิธี คือ

2.4.1.1 การเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบ (Capillary Force)

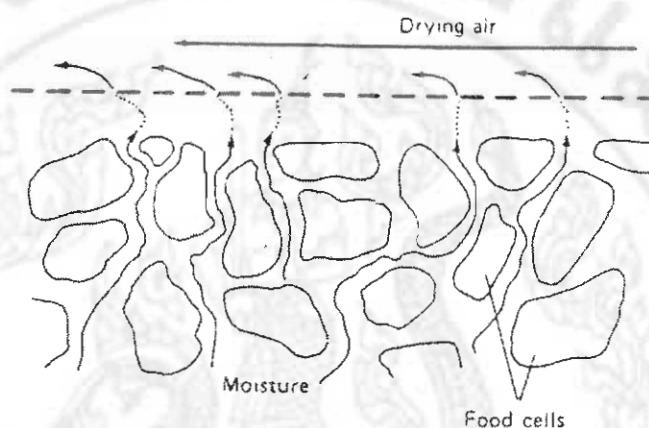
เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารที่มีเซลล์โปร่ง มีช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นทางแคบ ๆ เกิดแรงดันของน้ำขึ้นมาตามท่อ การเคลื่อนที่ของน้ำเกิดขึ้นได้สะดวกรวดเร็ว แต่จะหยุดเมื่อทางแคบ ๆ นั้นขาดตอนลง

2.4.1.2 การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (Diffusion)

เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเซลล์ เป็นการเคลื่อนที่ในอาหารที่มีเนื้อแน่น ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ต่อเนื่องเป็นทางแคบ ๆ หรือเกิดในอาหารที่อบแห้งไปในระยะหนึ่งซึ่งแรงผ่านช่องแคบหมดไปแล้ว น้ำที่จะต้องแพร่ผ่านเซลล์จึงเคลื่อนที่ได้ช้า เมื่อน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวของอาหารแล้วจึงระเหยกลายเป็นไอน้ำเคลื่อนย้ายออกไปกับกระแสลมหรือถูกดูดออกไปด้วยระบบสูญญากาศของเครื่องอบแห้ง (พรรณี และ ศศิเกษม, 2530)

การอบแห้งโดยทั่วไปจึงเป็นการให้อากาศร้อนเป่าลงบนชั้นอาหารที่ยังเปียก ความร้อนจะถ่ายเทไปที่ผิวของอาหารและทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ แพร่กระจายสู่บรรยากาศ จึงเป็นการ

พาไอน้ำออกไปจากตัวอย่างอาหาร โดยหมุนเวียนเอาอากาศชื้นออกไปแล้วให้อากาศแห้งเข้ามาแทนที่ดังภาพ 3 ทำให้บริเวณผิวด้านนอกของอาหารมีความดันไอของไอน้ำลดลงเกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหาร จึงเป็นแรงขับ (driving force) ให้น้ำออกจากภายในโดยเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวด้านนอกของอาหารได้โดยเคลื่อนที่ได้โดย capillary force และโดยการแพร่กระจายของน้ำ เนื่องจากตัวถูกละลายมีความเข้มข้นแตกต่างตามแต่ละบริเวณภายในชิ้นอาหาร



ภาพ 3 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง
ที่มา: Fellow (1997) อ้างโดย นิธิยา (2543)

อัตราการเร็วในการทำแห้งจะแตกต่างกันไปดังผลการทดลองของ Sukumar *et al.* (2003) ได้ศึกษาขนมขบเคี้ยวที่ทำมาจากแป้งถั่วเขียว โดยนำส่วนผสมทั้งหมดรวมกันและใส่ลงใน extruder การอบแห้งผลิตภัณฑ์จะใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที การอบแห้งทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 0.39 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เหลือเพียง 0.1 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

Krokida *et al.* (2001a) ได้ศึกษาถึงผลของการทำแห้งที่มีผลต่อมันฝรั่งแท่งทอดกรอบ โดยนำมันฝรั่งที่ผ่านการหั่นให้มีขนาด กว้าง $\times$ ยาว เท่ากับ 5×5 ตารางมิลลิเมตร และสูง 40 มิลลิเมตร มาอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในเวลาต่างๆ คือ 20 30 40 60 และ 120 นาที พบว่าการอบแห้งโดยใช้เวลานาน 20 30 40 60 และ 120 นาที สามารถลดความชื้นลงเหลือเพียง 0.4 0.32 0.28 0.2 และ 0.1 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อเทียบกับการทอดโดยไม่ผ่านการอบแห้งทำให้เหลือปริมาณความชื้นถึง 0.6 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

2.2 อิทธิพลของการอบแห้งต่อคุณภาพของอาหาร

ในการพิจารณาคุณภาพของอาหารประเภทใดก็ตามนั้น โดยทั่วไปจะพิจารณาในด้านการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านต่างๆที่กำหนดไว้ อาทิเช่น คุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ทั้งนี้คุณภาพต่างๆเหล่านี้ จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆหลายประการ อาทิเช่น คุณค่าทางโภชนาการจะขึ้นกับปริมาณและประสิทธิภาพในการนำไปใช้ในร่างกายนของสารอาหารจำพวก โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามินต่างๆ และเกลือแร่เป็นสำคัญ ส่วนคุณภาพด้านประสาทสัมผัสขึ้นขึ้นอยู่กับเนื้อสัมผัสและกลิ่นรส ส่วนคุณภาพในการเก็บรักษานั้น ก็จะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปริมาณจุลินทรีย์และปัจจัยเกื้อหนุนการเจริญของจุลินทรีย์เป็นสำคัญ (นิธิยา, 2543)

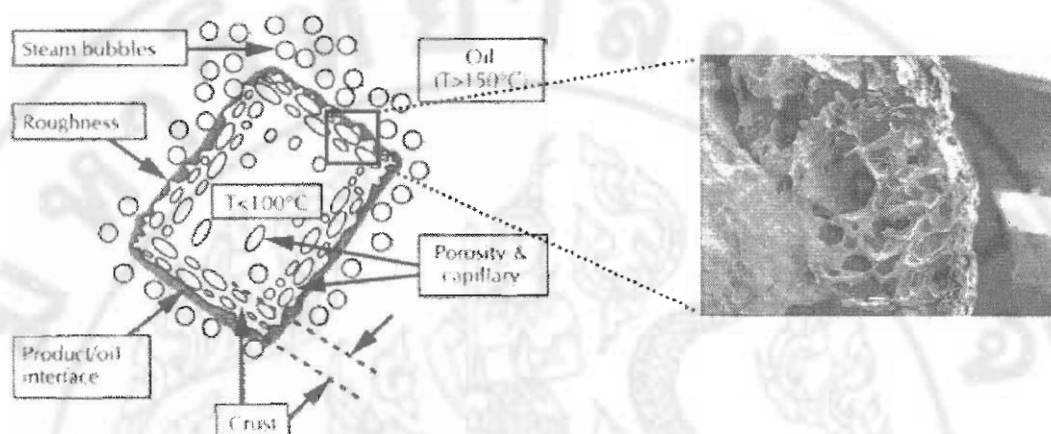
สำหรับอาหารอบแห้งคุณภาพทางด้านสีมีผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวของน้ำตาลรีดิวซ์กับสารอะมีนที่เป็นอิสระของกรดอะมิโน เปปไทด์หรือโปรตีน เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นจะเกิดอย่างต่อเนื่องกันและซับซ้อนมากขึ้น โดยเริ่มจากการเกิดสารประกอบ sugar amine จากนั้นมีการสูญเสีย น้ำ เกิดการจัดโครงสร้างเป็นวง เกิดการแตกสลายของพันธะจนกระทั่งถึงขั้นสุดท้าย ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดสารพอลิเมอร์หลายชนิด จะได้สารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีสีน้ำตาลเรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidin) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดมักจะเกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียเนื่องจากทำให้มีสีที่ไม่พึงปรารถนา และการเสื่อมเสียคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน แต่พบว่าปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดกลิ่นรสที่พึงประสงค์ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการอบ ปิ้งย่างหรือคั่ว เช่น กลิ่นของกาแฟ เป็นต้น

การทำอาหารให้แห้งมักจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นสีน้ำตาล ในการศึกษาของ Özkan *et al.* (2003) ได้ศึกษาถึงผลของความชื้นในผลแอปเปิ้ลอบแห้งต่อค่าสีพบว่า ปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีเพียงร้อยละ 19.32 แต่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่สูงถึงร้อยละ 20.10 25.21 และสุดท้าย 30.20 มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) ลดลงในผลแอปเปิ้ลอบแห้งในทุกระดับความชื้น ผลที่ได้แสดงถึงปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นมีผลต่อค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไป

3. กระบวนการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม

การทอดอาหารโดยใช้น้ำมันท่วม (Deep fat frying) ดังกล่าวใน Moreira *et al.* (1999) เป็นวิธีการทอดที่ทำให้อาหารทั้งชิ้นจมอยู่ในน้ำมันขณะที่ทอด เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากในการที่จะใช้ผลิตอาหารให้มีความกรอบพองและมีรสชาติที่อร่อย ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร คือ ปริมาณความชื้นที่เหลือ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสีและรสชาติอาหารคือ การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) กระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมถูกอธิบายไว้ในภาพ 4 การเพิ่ม

อุณหภูมิในการทอดให้สูงขึ้นน้ำมันที่ร้อนจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักในอาหารเกิดการเดือด เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนตัวออกจากผลิตภัณฑ์โดยผ่านทางรูพรุนของเซลล์อาหารผ่านเข้าสู่น้ำมันที่เป็นตัวกลางในการให้ความร้อนจนผิวหน้าของอาหารแห้ง (Mellema, 2003)



ภาพ 4 ภาพตัดขวางแสดงการเปลี่ยนแปลงในอาหารของชิ้นอาหารที่ทอดแบบน้ำมันท่วมและภาพสแกนตัดขวางของผิวมันฝรั่งทอด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา: Mellema, 2003

อาหารที่ทอดด้วยระยะเวลาที่นานปริมาณความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ และมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและกายภาพขึ้น เช่น เกิดรีโทรเกรเดชันและมีปฏิกิริยาเมลลาร์ด (retrogradation and millard reaction) ในอาหารจำพวกแป้ง รุ่งนภา (2543)

จากการตรวจสอบกระบวนการผลิตของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวงในการทอดของข้าวแต่นต้องการให้ข้าวแต่นพองกรอบและเกิดสีน้ำตาลที่เท่ากันทั่วทั้งชิ้น ในการทอดจึงจำเป็นต้องใช้กระชอนกดข้าวแต่นให้จมน้ำมันแล้วกดส่ายไปมาเพื่อให้ข้าวแต่นรับความร้อนได้ทั่วถึงพองเท่ากันทั่วทั้งชิ้น น้ำมันที่ใช้ทอดข้าวแต่นของกลุ่มแม่บ้านฯ คือ น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วน 2:1 อุณหภูมิขณะทอดอยู่ในช่วง 190-200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทอดตั้งแต่ 30 - 60 วินาทีในแต่ละครั้ง ซึ่งทอดครั้งละ 45-60 ชิ้น ได้จากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 5 วัน ก่อนการทอดข้าวแต่นทางกลุ่มแม่บ้านฯ มีการใช้ใบเตย 3-5 ใบ (น้ำหนักประมาณ 15-20 กรัม/น้ำมันทอด 6 ลิตร) ซึ่งจาก Ling และ Suhaila (2001) รายงานว่าตรวจพบ α -โทโคเฟอรอล ในใบเตย 131.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสารต้านออกซิเดชันอื่น ๆ ดังตาราง 2

ในการทอดอาหาร ไขมันหรือน้ำมันจะเป็นตัวนำความร้อนทำให้อาหารสุก ช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะขณะทอด ทำให้อาหารมีสีและเพิ่มรสชาติ สมบัติของไขมันหรือน้ำมันทอดอาหารต้องมีความคงตัว คือ มีจุดหลอมเหลวต่ำและอนุมูลในการเกิดควันสูง ไขมันหรือน้ำมันที่มีโมโนหรือไดกลีเซอไรด์ หรือกรดไขมันอิสระผสมปนอยู่ด้วยจะทำให้เกิดควันได้ง่าย และทำให้อาหารที่ทอดมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ติดไปด้วย ไขมันหรือน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนจะมีความคงตัวเพิ่มขึ้น แต่ทำให้จุดหลอมเหลวสูงขึ้นด้วย น้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่มาก ซึ่งจะไวต่อการเกิดออกซิเดชัน (autooxidation) หากไม่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันลงไป น้ำมันใดก็ตามที่มีสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติ เช่น วิตามินอีหรือโทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอล ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้ (Lawson, 1995) น้ำมันที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีชนิดของกรดไขมันและอนุมูลในการเกิดควัน ดังตาราง 3

ตาราง 2 องค์ประกอบของสารต้านออกซิเดชันในใบเตยแห้ง 100 กรัม

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณที่พบ(มก)
เบต้าแคโรทีน	8.29
แซนโทฟิลล์	7.41
วิตามินซี	19.08
วิตามินอี	0.004
แทนนิน	4.48
สารประกอบฟีนอลิก	43.60

ที่มา: นวลศรีและคณะ (2545)

ตาราง 3 องค์ประกอบและสมบัติบางประการของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอิน^a

กรดไขมัน	น้ำมันเมล็ดปาล์ม (%)	น้ำมันมะพร้าว (%)	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน
กรดคาโปรอิก (Caproic)	0.2 (<0.5)	0.5 (<1.0)	-
กรดคาไพริลิก (Caprylic)	3.3 (2.4-6.2)	7.6 (9.0-10.0)	-
กรดคาพริก (Capric)	3.4 (2.6-7.0)	7.3 (5.0-10.0)	-
กรดลอริก (Lauric)	48.2 (41.0-55.0)	48.2 (40.0-54.0)	0.3 (0.2-0.4)
กรดไมริสติก (Myristic)	16.2 (14.0-20.0)	16.6 (15.0-23.0)	1.1 (0.9-1.2)
กรดปาล์มิติก (Palmitic)	8.4 (6.5-11.0)	8.0 (6.0-11.0)	40.9 (36.8-43.2)
กรดสเตียริก (Stearic)	2.5 (1.3-3.5)	3.8 (1.0-4.0)	4.2 (3.7-4.8)
กรดโอเลอิก (Oleic)	15.3 (10.0-23.0)	5.0 (4.0-11.0)	41.5 (39.8-44.6)
กรดลิโนเลอิก (Linoleic)	2.3 (0.7-5.4)	2.5 (1.0-3.0)	11.6 (10.4-12.9)
กรดลิโนลินิก (Linolenic)	-	-	0.4 (0.1-0.6)
กรดอะราซิดิก (Arachidic)	-	-	0.4 (0.3-0.5)
จุดเกิดควัน (°C)	218 ^b	198 ^c	216 ^d

ที่มา: ^aRichard and Brien, 1988 ^b KIC Chemicals Inc., 2006 ^c Atkinson, M., 2006 และ ^d Razali and Badri, 2003

Quiles *et al.* (2001) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติในน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์และน้ำมันมะกอกด้วยการทอดมันฝรั่งแท่งทอดกรอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาที พบว่าวิตามินอีในน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์และน้ำมันมะกอกที่มีสูงถึง 1,400 400 และ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ลดลงเหลือเพียง 201 127 และ 77.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อผ่านการทอดนาน 60 นาที แสดงให้เห็นว่าความร้อนสามารถทำลายวิตามินอีในน้ำมันที่ใช้ในการทอดได้โดยถ้าเพิ่มระยะเวลาในการทอดให้นานขึ้นวิตามินอีในน้ำมันจะยิ่งลดลง

การทอดอาหารประเภทที่ต้องใช้น้ำมันท่วม ที่เรียกว่า deep-fat frying หากใช้ความร้อนสูงมาก หรือใช้น้ำมันทอดอาหารซ้ำหลาย ๆ ครั้ง วิตามินอีจะถูกทำลายจนหมดทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ง่าย โดยเฉพาะการทอดอาหารที่มีความชื้นสูง เช่น การทอดไก่ ผลของปฏิกิริยาจะมีสารประกอบที่เป็นสารพิษต่อร่างกายเกิดขึ้นและบางชนิดก็เป็นสารก่อมะเร็งได้ด้วย อาหารทอดที่ใช้อุณหภูมิสูงจะสามารถลดระยะเวลาในการทอดให้น้อยลง แต่การใช้อุณหภูมิสูงในการทอดจะเร่งให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพได้เร็วขึ้น โดยจะให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ มีความหนืดเพิ่มขึ้น น้ำมันมีกลิ่นและสีที่เปลี่ยนไปทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อย ๆ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนี้น้ำมันยังสลายตัวได้เป็นอะครีลีน (acrolein) ที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดควันสีน้ำตาลขึ้นบริเวณผิวหน้าน้ำมันขณะทอด ทำให้เกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ อุณหภูมิที่ใช้ทอดยังผันแปรตามชนิดของอาหารด้วย น้ำมันที่เคยทอดอาหารมาแล้ว 2-3 ครั้ง หรือผ่านความร้อนสูง ๆ มาแล้ว หากเหลือใช้ควรเททิ้งไม่ควรนำกลับมาใช้ทอดอาหารซ้ำแล้วซ้ำอีก เพราะจะก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งปนอยู่ในอาหารที่ทอด ซึ่งจะให้ผู้บริโภคเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งได้ (นิธิยา, 2541)

ผลของการทอดอาหารที่มีผลกระทบต่ออาหารที่ทอดขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติของน้ำมันที่ใช้ คุณภาพของอาหาร และผลของความร้อนต่ออาหารที่ทอด (นิธิยา, 2543)

3.1 ผลของความร้อนต่อน้ำมัน

น้ำมันที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานขณะทำการทอด มีน้ำและออกซิเจนปล่อยออกมาจากอาหารจะให้น้ำมันเกิดออกซิเดชันเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น สารคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโต และกรดอีพอกซี ทำให้อาหารมีกลิ่นผิดปกติและน้ำมันมีสีคล้ำ การเกิดโพลีเมอไรเซชันของโมเลกุลน้ำมันในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดสารประกอบที่มีวงแหวน (cyclic compounds) และโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น ลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างทอดและเพิ่มปริมาณน้ำมันในอาหารทอดมากขึ้น สารประกอบที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำมันอาจเป็นพิษต่อร่างกายและให้น้ำมันมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง เกิดออกซิเดชันของวิตามินที่ละลายได้ในไขมันทั้งวิตามินเอ แคลโรทีนอยด์ และวิตามินอี กรดไขมันที่จำเป็น เช่น กรดลิโนเลอิกยังถูกทำลายได้ด้วยความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดลิโนเลอิกจะสูญเสียพันธะคู่ทำให้อัตราส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเปลี่ยนไป (Kilgore และ Bailey, 1970)

3.2 ผลของความร้อนต่ออาหารที่ทอด

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นและออกซิเจนออกจากอาหาร การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันหรือไขมันที่เป็นองค์ประกอบในอาหารทำให้เกิดสารต่าง ๆ เช่น สารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) กรดไฮดรอกซิล (hydroxyl acids) และกรดอีพอกซี (epoxy acids) ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ กลิ่นเหม็นหืน สีของน้ำมันคล้ำขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันไปเป็นไดเมอร์ (dimer) หรือพอลิเมอร์ (polymer) ที่อาจเป็นสารประกอบพวงวงแหวน (cyclic compound) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงทำให้ความหนืดของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับผลที่เกิดขึ้นในน้ำมันที่ใช้ทอด (Fellow, 1990) ปัจจัยสำคัญที่สามารถควบคุมกระบวนการทอด ได้แก่

3.2.1 ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด

3.2.2 อายุและความทนต่อความร้อนของน้ำมัน

3.2.3 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอด

3.2.4 ขนาดและลักษณะผิวของอาหาร

3.2.5 การจัดการภายหลังการทอด (post – frying treatment)

ปัจจัยต่าง ๆ ดังที่กล่าวข้างต้นยังมีผลต่อน้ำมันที่เหลือค้างอยู่ในอาหารด้วย (วิไล, 2543)

ตาราง 4 ตัวอย่างน้ำมันพืชสำหรับใช้ทอดหรือประกอบอาหารที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

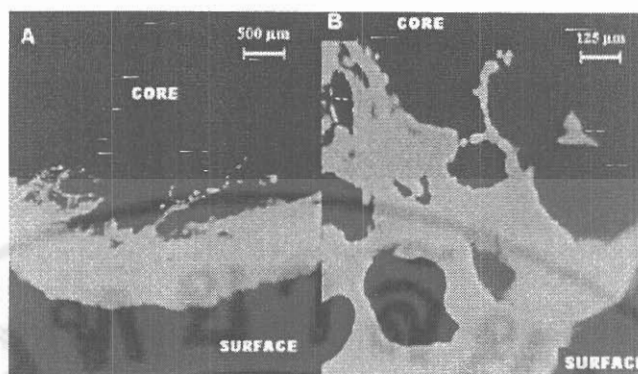
ยี่ห้อของน้ำมันพืช	ชนิดของน้ำมันพืช
อรุณ, กุ๊ก, หยก, ทิพ, โอสิน, เบสท์ฟู้ด	น้ำมันถั่วเหลือง 100%
ธงสิงห์, หยก, ทิพ, โอสิน, มรกต	น้ำมันปาล์มโอเลอินจากเนื้อปาล์ม 100%
กุ๊ก, หยก, ทิพ, มรกต	น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน 100%
ทิพ, Muzola, Golden drop	น้ำมันข้าวโพด 100%
กิง	น้ำมันรำข้าว 100%
ทิพ	น้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำมันเมล็ดฝ้าย 4:1
ทิพ	น้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำมันปาล์มโอเลอินจากเนื้อปาล์ม 4:1

ที่มา: Carrefour สาขาเชียงใหม่, 20/07/2547

3.3 การดูดซับน้ำมัน

การดูดซับน้ำมัน (Oil uptake) คือ ปรากฏการณ์ที่น้ำมันถูกดูดซับเข้าไปยังด้านในของชิ้นอาหาร โดยในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม น้ำที่ผิวเปลือกจะระเหยและเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร อัตราการระเหยของไอน้ำจะเกิดอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำที่มากพอจะสามารถย้ายจากตรงกลางของอาหารไปยังด้านผิวนอกและที่ผิวก็จะระเหยออกไปสู่บรรยากาศได้ ในความเป็นจริงไอน้ำจะไม่สามารถระเหยออกไปได้หากมีชั้นของน้ำมันอยู่ ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมการดูดซับน้ำมันจะหาจากปริมาณความชื้นของอาหารที่หายไปไม่ได้ในลักษณะที่เหมือนกัน ความชื้นที่หายไปของอาหารจะแสดงให้เห็นถึงการดูดซับน้ำมัน และปริมาณน้ำมันทั้งหมดจะเท่ากับปริมาณน้ำทั้งหมดที่เคลื่อนที่ออกไปจากอาหาร ในการทดสอบการระเหยของน้ำที่เพิ่มขึ้น จะสร้างความเสียหายให้กับผิวอาหารคือ จะมีการดูดซับน้ำมันบริเวณที่เกิดรูพรุนและการดูดซับน้ำมันดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่เวลาต่างๆในระหว่างการทอด

Bouchon *et al.* (2003) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันลึก โดยทำการทอดมันฝรั่งด้วยการทอดแบบน้ำมันลึกและแบ่งการศึกษาถึงองค์ประกอบในการดูดซับน้ำมัน 3 ระดับ ได้แก่ การดูดซับน้ำมันระหว่างการทอด การดูดซับน้ำมันบนผิวหน้าอาหารและการดูดซับน้ำมันระหว่างพักให้เย็น พบว่าการดูดซับน้ำมันมากที่สุดของมันฝรั่งทั้งทอดกรอบ คือ การดูดซับน้ำมันช่วงของการพักให้เย็น โดยร้อยละ 88 และ 89 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่อุณหภูมิ 170 และ 185 องศาเซลเซียส การดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดมีเพียงไม่ถึงร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดเท่านั้น น้ำมันส่วนที่เหลือจึงเป็นน้ำมันบนผิวหน้าที่เป็นน้ำมันส่วนเกินซึ่งสามารถกำจัดออกได้ง่ายด้วยการใช้กระดาษซับมัน น้ำมันจะซึมผ่านรูพรุนของเซลล์อาหารที่เป็นเปลือกแข็งที่ห่อหุ้มบนผิวหน้าอาหาร รูพรุนต่าง ๆ เหล่านี้ที่เกิดจากการปะทุออกจากผิวหน้าของอาหาร ไอน้ำซึ่งเป็นน้ำหรือความชื้นภายในชิ้นอาหารที่ได้รับความร้อนจึงเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอน้ำดังกล่าว น้ำมันจะแทรกซึมและแทนที่อยูภายในรูพรุนนั่นเอง ซึ่งจะเกิดการอมน้ำมันในช่วงพักให้เย็น เมื่ออุณหภูมิบนผิวหน้าของชิ้นอาหารลดลงจะทำให้ไขมันที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าของอาหารถูกแรงดันภายในชิ้นอาหารที่มีค่ามากกว่าผิวหน้าของชิ้นอาหารดูดน้ำมันเข้าสู่ภายในชิ้นอาหาร เนื่องจากภายในชิ้นอาหารยังคงระอุจากน้ำมันที่ได้รับความร้อนที่แทรกซึมอยู่ในรูพรุนของชิ้นอาหารดังกล่าว ดังภาพ 5 ภาพตัดขวางของมันฝรั่งทั้งทอดกรอบจาก confocal laser scanning microscopy ที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที



ภาพ 5 ภาพตัดขวางของมันฝรั่งแท่งทอดกรอบ จาก confocal laser scanning microscopy ที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

A เป็นภาพของน้ำมัน (สีเทา) ซึ่งอยู่ภายในชั้นของเปลือกแข็งที่เป็นชั้นบาง ๆ อยู่บริเวณรอบนอกของชิ้นอาหาร

B เป็นภาพการซึมผ่านของน้ำมันเข้าสู่รูพรุนของเซลล์อาหาร

ที่มา: Bouchon *et al.*, 2003

จากการทดสอบ tortilla chip ของ Moreira และ Barrufet (1998) พบว่าการพองตัวในระหว่างทอดทำให้ tortilla chip อมน้ำมันได้ถึงร้อยละ 20 ของน้ำมันทั้งหมดที่มีในอาหาร แต่ภายหลังการทอดในช่วงที่อุณหภูมิลดลงการอมของน้ำมันกลับเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 80 ของน้ำมันทั้งหมดที่มีในอาหาร

Math *et al.* (2004) ได้ศึกษาผลของการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์แป้ง papad (เป็นแป้งที่ทำจากแป้ง black gram ร่วมกับเกลือและพริกป่น โดยมีรูปร่างเป็นวงกลมและหนาประมาณ 0.3-20 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้น คือ 165 175 และ 180 ± 1 องศาเซลเซียส มีการดูดซับน้ำมันร้อยละ 42.22 45.70 และ 50.6 ของน้ำหนักแห้งของอาหาร เมื่อทอดนาน 40 วินาที

Sun และ Moreira (1994) ได้ศึกษาการแทรกซึมของน้ำมันใน tortilla chip ทอดกรอบ โดยจะเหลือปริมาณน้ำมันที่อยู่ในของอาหารซึ่งจะทำการสกัดด้วยวิธี Soxhlet ทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำมันบนผิวหน้า tortilla chip ทอดกรอบในระหว่างการทอดซึ่งใช้เวลานาน 60 วินาที ก่อนการทอด tortilla chip จะต้องผ่านการอบแห้งและเหลือความชื้นในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 27.2 44.1 และ 56.7 ตามลำดับ พบว่าเมื่อผ่านการทอด ตัวอย่างเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ โดยปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับบนผิวหน้าของตัวอย่างสูงร้อยละ 4.3 5.8 และ 7.8 ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับจะคงที่โดยตลอดเมื่อเข้าสู่ช่วงของการทอดแต่ยกเว้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งที่จะมีการดูดซับปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 20 วินาทีแรกของการทอด ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับจะสูง

ถึงร้อยละ 20-24 ในช่วงของการทอด เมื่อเข้าสู่ช่วงของการพักให้เย็น tortilla chip ทอดกรอบจะดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อยกออกจากเครื่องทอดโดยจะมีค่าปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับสูงสุดในช่วง 160 วินาทีหลังจากทอด แสดงให้เห็นถึงเกือบร้อยละ 64 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ถูกดูดซับของ tortilla chip ทอดกรอบถูกดูดซับในช่วงของการพักให้เย็น เนื่องมาจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ความแตกต่างกันของหลอดเลือด capillary ในเซลล์อาหารและแรงดึงดูดของน้ำมันและก๊าซที่เกิดภายในช่องว่างของรูพรุนที่เกิดขึ้นหลังจากการทอดเสร็จสิ้นลง

ผลการทดลองของ Bouchon *et al.* (2003) ที่ศึกษาถึงการดูดซับน้ำมันในการทอดมันฝรั่งแท่งทอดกรอบก็ได้ผลในลักษณะเดียวกัน คือ การดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดเป็นเพียงส่วนน้อยคือ ร้อยละ 26-27.5 น้ำมันที่เหลือจะถูกดูดซับสู่อาหารในช่วงของการพักให้เย็น

Sukumar *et al.* (2003) ได้ศึกษาขนมขบเคี้ยวที่ทำมาจากแป้งถั่วเขียว โดยนำส่วนผสมทั้งหมดรวมกันและใส่ลง extruder จากนั้นทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและเข้าสู่การทอดด้วยน้ำมันที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นาน 45 วินาที ซึ่งการอบแห้งทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 0.39 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เหลือเพียง 0.1 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สามารถลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ได้ถึงร้อยละ 54 จากการประเมินสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาณความชื้นและน้ำมันระหว่างการทอด

Krokida *et al.* (2001a) ได้ศึกษาถึงผลของการทำแห้งที่มีผลต่อมันฝรั่งแท่งทอดกรอบ โดยน้ำมันฝรั่งแท่งมาอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 20 30 40 60 และ 120 นาที และนำมาทอดในน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ผ่านกรรมวิธีและผ่านการเติมไฮโดรเจนในอัตราส่วน 1:1 โดยทำการเปลี่ยนน้ำมันทุก ๆ 1 ชั่วโมง ทอดนาน 20 วินาที พบว่าการอบแห้งโดยใช้เวลานาน 20 30 40 60 และ 120 นาที สามารถลดความชื้นลงได้โดยเหลือเพียง 0.4 0.32 0.28 0.2 และ 0.1 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อเทียบกับการทอดโดยไม่ผ่านการอบแห้งทำให้เหลือปริมาณความชื้นถึง 0.6 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณการดูดซับน้ำมันหลังการทอดของแต่ละเวลาที่ใช้อบ คือ 0.19 0.17 0.16 0.14 และ 0.11 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับการทอดโดยไม่ผ่านการอบแห้งทำให้เหลือปริมาณการดูดซับน้ำมันสูงถึง 0.25 กิโลกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการอบแห้งที่ใช้เวลานานก่อนการทอด ยิ่งลดปริมาณความชื้นในตัวอย่างก่อนทอดให้น้อยลง การดูดซับน้ำมันหลังการทอดจะลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับน้ำมันมีดังต่อไปนี้ (นิธิยา, 2543)

3.3.1 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทอด ควรเลือกใช้ภาชนะทอดที่เป็นโลหะชนิดที่นำความร้อนได้ดี ใช้อุณหภูมิปานกลาง และควรทอดอาหารในจำนวนที่ไม่มากเกินไป

3.3.2 พื้นที่ผิวของอาหารที่สัมผัสกับไขมันหรือน้ำมัน อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก หยาบและขรุขระจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีพื้นที่ผิวน้อยและเรียบ

3.3.3 จุดเกิดควันของไขมันหรือน้ำมัน ไขมันหรือน้ำมัน หรือน้ำมันเก่าที่ใช้แล้วจะมีจุดเกิดควันต่ำ ทำให้อาหารอมน้ำมันมากขึ้น

3.3.4 ส่วนผสมของอาหาร อาหารที่มีส่วนผสมของไขมันหรือน้ำมันที่มากจะอมน้ำมันมากในขณะทอด เช่น โคนัท

3.4 การเสื่อมคุณภาพของไขมันในอาหาร

Naz *et al.* (2005) กล่าวว่า น้ำมันพืชที่ใช้ปรุงอาหารในแต่ละวันมีประโยชน์และเป็นที่ยอมรับเนื่องจากมีกรดไขมันอิ่มตัวและโคเลสเตอรอลต่ำ ไขมันจากสัตว์ซึ่งมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ แต่กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีในน้ำมันพืชจะทำปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าหากสัมผัสกับอากาศ ความร้อน แสง โลหะและความชื้น ปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้จะทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรส คุณค่าทางอาหารรวมทั้งการเสื่อมเสียอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมันที่ใช้ทอดและเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงที่มีผลมาจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศ หรือมีผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งมีการเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ไลเปสจากอาหารหรือจุลินทรีย์ ผลกระทบจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นน้อยหากเก็บในที่เย็น มีการขนส่งที่ดี มีความระมัดระวังต่อบรรจุภัณฑ์และมีการใช้กระบวนการสเตอริไลเซชัน (sterilization) อย่างไรก็ตาม การเหม็นหืนเนื่องจากออกซิเดชันหรือออโตออกซิเดชัน (auto-oxidation) จะไม่สามารถหยุดลงได้โดยการเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากยังมีปฏิกิริยาเคมีที่ใช้พลังงานต่ำอยู่

เกศราภรณ์ (2545) ได้รวบรวมข้อมูลและกล่าวว่า การเหม็นหืนของน้ำมัน หมายถึง การที่ไขมันมีกลิ่นผิดปกติขณะเก็บ การที่ไขมันจะเหม็นหืนช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรักษา จึงควรเก็บไขมันและน้ำมันไว้ในที่ที่ปิดมิดชิด การเหม็นหืนของไขมัน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี 2 แบบ คือ การเหม็นหืนเนื่องจากออกซิเจน (oxidative rancidity) และการเหม็นหืนเนื่องจากน้ำ (hydrolytic rancidity)

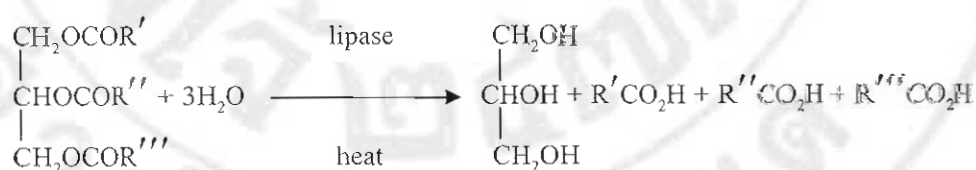
นิธิยา (2545) ได้กล่าวว่า hydrolytic rancidity เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์หรือไขมัน ด้วยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด ด่าง และความชื้น ทำให้ไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระ

ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม จะมีกลิ่นเหม็นหืนมาก เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ หรือไขมัน ดังภาพ 2.6 ด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ความร้อน กรด ด่าง และความชื้น โดยกรดและด่างอาจมาจากสารทำความสะอาดที่ตกค้างจากการชะล้างออกไม่หมด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า “hydrolytic rancidity หรือ lipolytic rancidity” การเกิดไฮโดรไลซิสจะเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในขณะทอดอาหารที่มีน้ำหรือมีความชื้นสูงและใช้อุณหภูมิสูงในการทอด ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสนี้ยังส่งผลทำให้อนุมูลที่เกิดขึ้นและแรงดึงผิวของน้ำมันลดต่ำลงด้วย น้ำมันจะเกิดควันได้ง่ายขณะทอดอาหาร เช่น การทอดโดนัทจะได้โดนัทที่มีสีคล้ำ ผิวแตก และดูดน้ำมันไว้มาก ทำให้โดนัทหรืออาหารที่ทอดนั้นมีคุณภาพต่ำ กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระยังมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าชนิดที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

- การเกิดฟองระหว่างการทอดมีสาเหตุจากสารลดแรงตึงผิวของน้ำมันมีเพิ่มขึ้นหลังจากน้ำมันผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูง น้ำมันจึงไม่สามารถระเหยความชื้นออกไปได้จึงเก็บกักไอน้ำไว้จนกลายเป็นฟองอากาศที่มีลักษณะคล้ายยางไม้และสีของน้ำมันมีสีคล้ำ

สำหรับปัญหาการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสนี้ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) แต่อาจแก้ไขได้ด้วยการใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพและกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม



ภาพ 6 ปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอรอล

ที่มา: Kristott, 2000

ส่วนการเหม็นหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (oxidative rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้มีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้

ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่ว จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย

การเกิดการหืนด้วยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายพวกวิตามินต่าง ๆ ที่ละลายในไขมันและน้ำมันได้อีกด้วย การหืนที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ยังอาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีเอนไซม์ไลพอกซิเดส (lipoxidase) ช่วยเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเป็น enzymatic oxidation

Naz และคณะ (2005) กล่าวว่า การเกิดออกซิเดชันสามารถลดได้โดยการบรรจุแบบสุญญากาศ การบรรจุภายใต้ก๊าซเฉื่อยที่ป้องกันออกซิเจน (modified atmosphere packaging) และการแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง การใช้สารต้านออกซิเดชันเป็นทางเลือกที่นิยมใช้ในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพราะมีการใช้ออกซิเจนปริมาณเพียงเล็กน้อยในการเป็นสารเริ่มต้นและเป็นตัวหลักของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงเป็นเรื่องยากที่จะกำจัดออกซิเจนตัวสุดท้ายให้ออกไปจากอาหารจนหมด

3.4.1 กลไกการเกิดออกซิเดชัน (Mechanism of oxidation)

นิธิยา (2545) กล่าวว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอิสระ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ในไขมันที่มีอยู่ในอาหารจึงทำให้อาหารดังกล่าวเกิดการเสื่อมคุณภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องเมื่อไขมันหรือไขมันที่เป็นองค์ประกอบในอาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free-radical chain reaction) ซึ่งมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.4.1.1 Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)

3.4.1.2 Propagation เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ

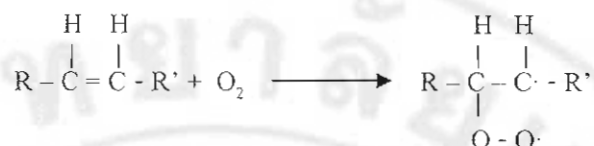
3.4.1.3 Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูล

อิสระ (non-radical product)

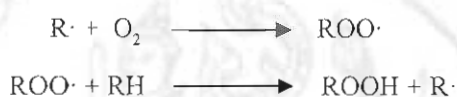
ผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนจะทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) โดยไฮโดรคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอมทำให้เกิดอนุมูลอิสระ



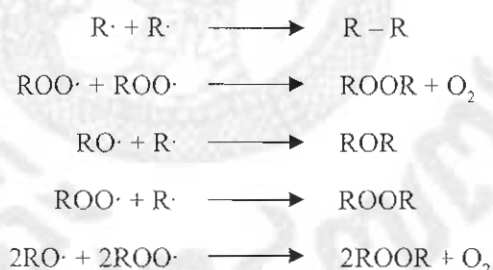
และออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่เกิดเป็น diradical ดังนี้



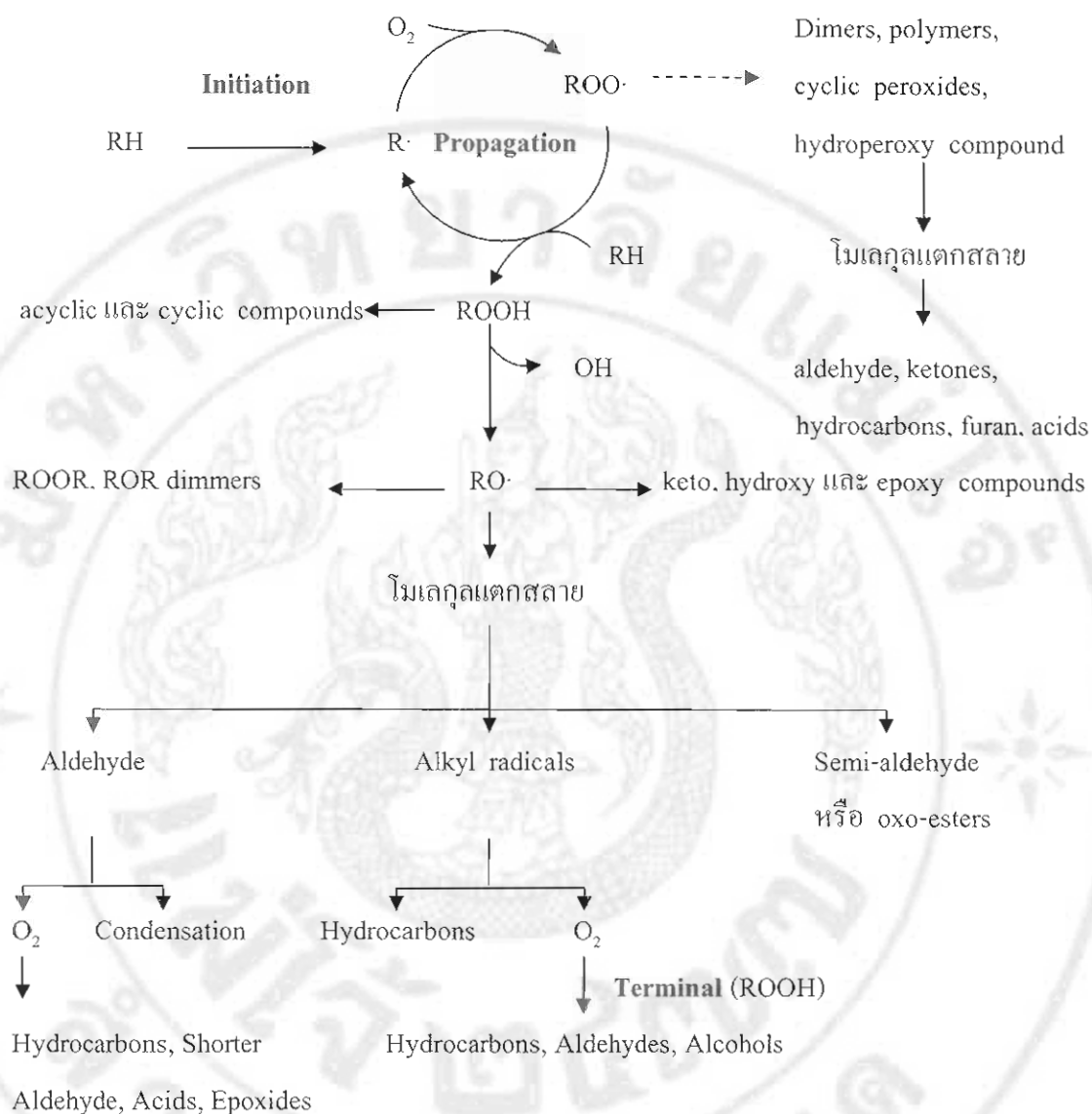
หลังจากนั้นอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อไปเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง



ได้เป็นอนุมูลเพอร์ออกไซด์ (ROO·) ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน (R·) อนุมูลที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป และเมื่อใดที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากันเองสามารถทำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะหยุดลง ตัวอย่างเช่น



ถ้าหากในปฏิกิริยาไม่เหลืออนุมูลอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนได้นั้น ปฏิกิริยาใดที่มีออกซิเจนในปริมาณมากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาในขั้นเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อช่วยให้เกิดอนุมูลอิสระได้ใหม่ ปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ต้องอาศัยพลังงานในการเข้าทำลายพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยจะใช้พลังงานถึง 35 กิโลแคลอรีหรือ 146 กิโลจูล/โมล แต่หากในปฏิกิริยามีอนุมูลของโลหะ แสง เอนไซม์และความร้อนจะช่วยกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้เร็วยิ่งขึ้นและช่วยลดการใช้พลังงานในการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนในพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวลงได้



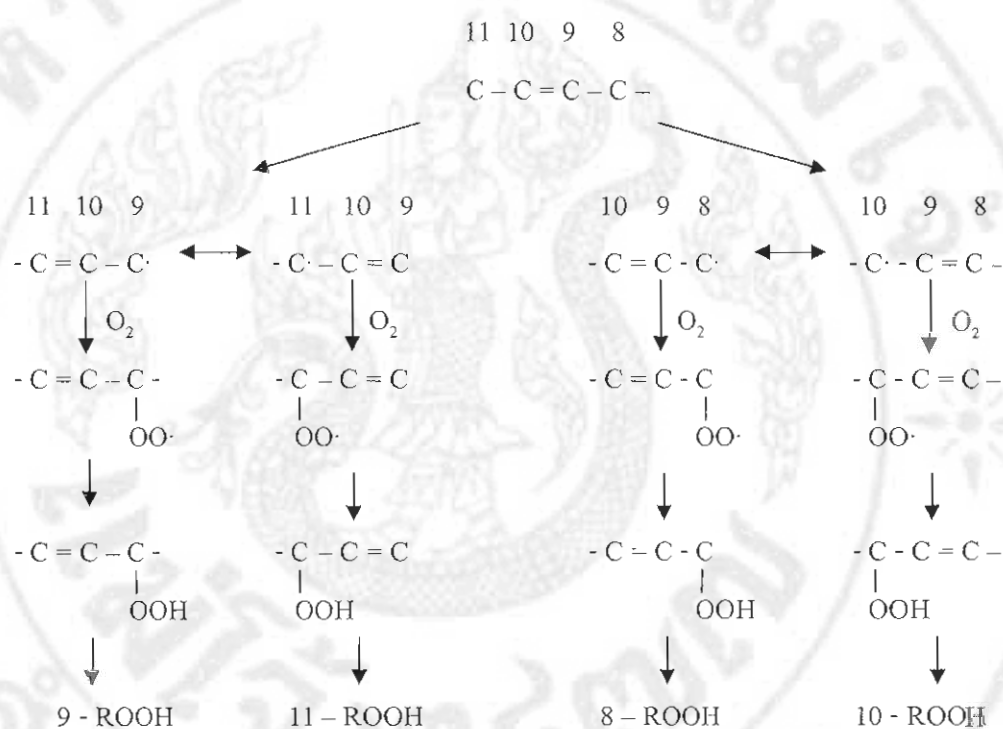
ภาพ 7 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดออกซิเดชัน (autoxidation) ของไขมัน
ที่มา: DeMan, 1990

3.4.2 การเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่สามารถเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acid) กรดไขมันเหล่านี้นอกจากเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ได้แล้วยังสามารถเกิดไอโซเมอร์ (isomer) ขึ้นได้ด้วยดังต่อไปนี้ (DeMan, 1990)

3.4.2.1 กรดโอเลอิก

โมเลกุลของกรดโอเลอิกมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 10 ดังนั้นไฮโดรเจนที่ตำแหน่ง 8 และ 11 ถูกดึงออกจากโมเลกุลกลายเป็น allylic radical ที่สามารถดึงไฮโดรเจนข้างเคียงจากตำแหน่งที่ 9 และ 10 ซึ่งเป็นตำแหน่งของพันธะคู่ให้กลายเป็น allylic radical ได้เช่นกัน จากการที่เปลี่ยนกลับไป-กลับมา จากนั้นออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับ allylic radical เกิดเป็นอนุมูล allylic hydroperoxide



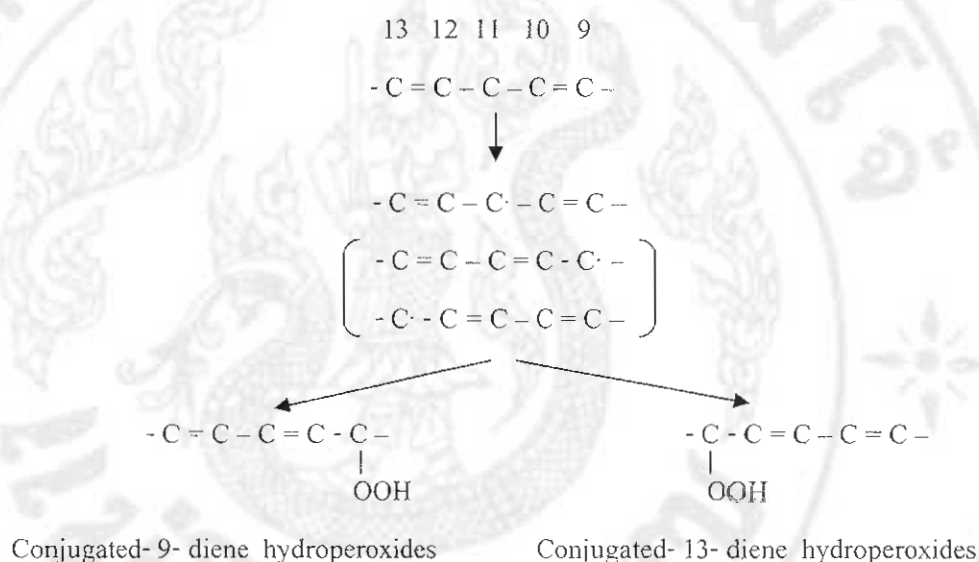
ภาพ 8 การเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของกรดโอเลอิก

ที่มา: DeMan, 1990

ปริมาณของ 8 และ 11-ไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะเกิดมากกว่า 9 และ 10-ไฮโดรเพอร์ออกไซด์เล็กน้อย ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเกิดไอโซเมอร์ในรูปทั้งซิส (cis) และทรานส์ (trans) ของ 8 และ 11-ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ในปริมาณเท่าๆ กัน ในขณะที่ 9 และ 10-ไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะเกิดทรานส์เป็นส่วนใหญ่

3.4.2.2 กรดลิโนเลอิก

ในโมเลกุลมีพันธะคู่อยู่ 2 ตำแหน่ง คือ ระหว่างคาร์บอนที่ตำแหน่ง 9 กับ 10 และระหว่างคาร์บอนที่ตำแหน่ง 12 กับ 13 ด้วยการกระตุ้นหมู่เมทิลีน (methylene group) ที่ทำปฏิกิริยาได้ถึง 2 เท่า ที่ตำแหน่ง 11 เกิดเป็น pentadienyl radical ที่สามารถดึงไฮโดรเจนข้างเคียงจากคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 13 ให้กลายเป็น pentadienyl radical ได้เช่นเดียวกันซึ่งเป็นตำแหน่งของพันธะคู่ จากนั้นออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับ 9 และ 13-dieneperoxides ในปริมาณที่เท่ากันและสามารถเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์-ทรานส์-ทรานส์-ทรานส์ได้



ภาพ 9 การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดลิโนเลอิก

ที่มา: DeMan, 1990

3.4.2.3 กรดลิโนเลนิก

ในโมเลกุลของกรดลิโนเลนิกมีพันธะคู่อยู่ 3 ตำแหน่งทำให้เกิด pentadienyl ได้ 2 ตำแหน่ง เนื่องจากมีหมู่เมทิลีนถึง 2 หมู่ที่ตำแหน่ง 11 และ 14 ทำให้เกิด pentadienyl radical ได้ 2 อนุโมล ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับ pentadienyl radical ที่คาร์บอนตำแหน่งสุดท้ายของแต่ละอนุโมลทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ผสมของ 9, 12, 13 และ 16 -ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ โดยที่พันธะคู่ของลิโนเลนิกที่ 2 พันธะแรกทำให้ conjugated diene เรียงตัวแบบซิส-ทรานส์ และทรานส์-ทรานส์ แต่ส่วนของพันธะคู่ตัวที่ 3 จะเกิดเป็น isolated double bond ซึ่งอยู่ในรูปของซิสเท่านั้น ปริมาณของ 9 และ 16 -ไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเกิดมากกว่า 12 และ 13 -ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เนื่องจาก 9 และ

3.4.3.2 กรดไขมันอิสระ

กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปของเอสเทอร์ (ester) กับ กลีเซอรอล (glycerol)

3.4.3.3 ความเข้มข้นของออกซิเจน

ในภาวะที่มีออกซิเจนในปริมาณน้อยอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน อย่างไรก็ตามผลของออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ด้วย เช่น อุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจน

3.4.3.4 อุณหภูมิ

อัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเกิดการแตกสลายด้วยความร้อนซึ่งมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจากเดิมที่เกิดเฉพาะในกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้น

3.4.3.5 พื้นที่ผิว

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของอาหารไขมันที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาณเพิ่มขึ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น

3.4.3.6 ความชื้น

อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับค่า a_w (Water activity) อาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำมาก ๆ ($a_w \sim 0.1$) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 0.3 จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน แต่เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นในช่วง 0.55-0.85 อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่มากพอสำหรับการเคลื่อนที่ของ คตะลิสต์ (catalyst) และออกซิเจน

3.4.3.7 การเกิดอิมัลชัน (Emulsion)

ในอาหารที่เป็นอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water) หยดน้ำมันจะกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของออกซิเจนผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำเข้าไปยังส่วนของชั้นน้ำมัน แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอิมัลชันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ รวมด้วย เช่น ชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ (emulsifying agent) ขนาดของอนุภาค หยดน้ำมัน พื้นที่ผิว ความหนืดของตัวกลางที่เป็นน้ำ ค่าพีเอช (pH) ส่วนประกอบของตัวกลาง

3.4.3.8 Pro – oxidants

แร่ธาตุหรือโลหะบางชนิด เช่น โคบอลต์ (cobalt) ทองแดง (copper) เหล็ก (iron) แมงกานีส (manganese) และนิกเกิล (nickel) ที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นให้เกิดการปฏิกิริยา

ออกซิเดชันได้เร็วยิ่งขึ้นที่ระดับความเข้มข้นเพียง 0.1 ppm อนุมูลโลหะเหล่านี้อาจเป็นเพื่อนจากอุปกรณ์โลหะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา

3.4.3.9 Radiant energy

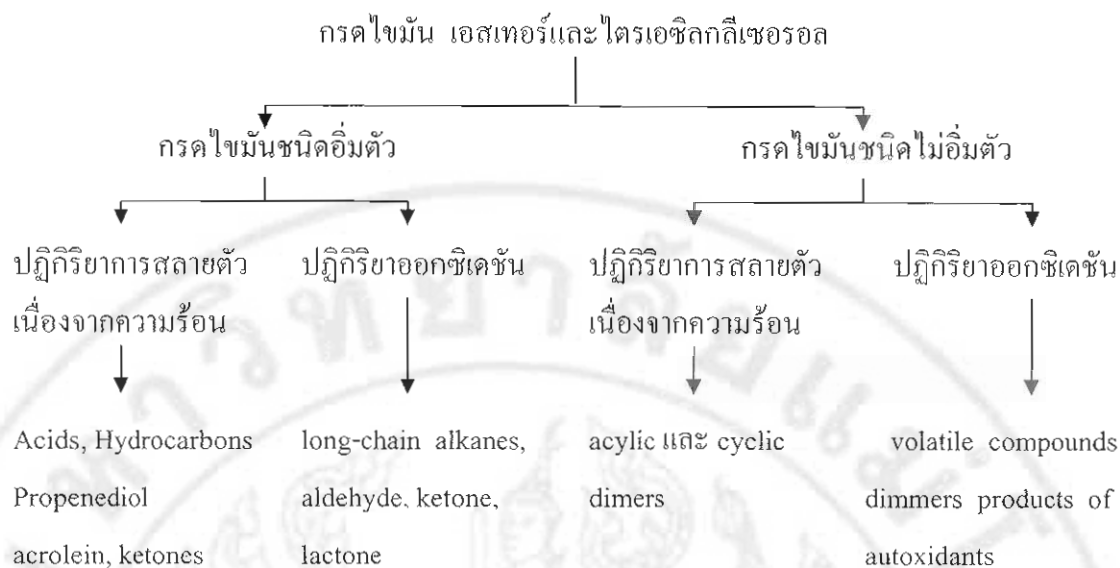
แสงและรังสีต่าง ๆ เช่น แสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) และแกมมาเรดิเอชัน (gamma radiation) มีผลช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วยิ่งขึ้น

3.4.3.10 antioxidant

แอนติออกซิแดนท์เป็นสารต้านออกซิเดชันโดยช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีทั้งสารต้านออกซิเดชันในธรรมชาติ เช่น วิตามินอีในน้ำมันพืช และสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้รับการอนุญาตให้เติมลงในอาหารได้ เช่น โพรพิลแกลเลต (propyl gallate) BHT (butylated hydroxytoluene) หรือ BHA (butylated hydroxy anisole)

3.4.4 การสลายตัวของไขมันหรือน้ำมันเนื่องจากความร้อน

เมื่ออาหารได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่นรสชาติ สี ลักษณะปรากฏ คุณค่าทางโภชนาการและเกิดสารพิษ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิค่อนข้างซับซ้อน ดังภาพ 11 แผนภูมิการสลายตัวของไขมันหรือน้ำมันเนื่องจากความร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาจะเกิดทั้งการสลายตัวด้วยความร้อนร่วมกับการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากออกซิเจนในอากาศซึ่งเกิดพร้อม ๆ กัน โดยสามารถเกิดได้ในกรดไขมันทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กลไกการสลายตัวเนื่องจากความร้อน (thermolytic reaction) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative reaction) ของไขมันหรือน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง



ภาพ 11 แผนภูมิการสลายตัวของไขมันหรือน้ำมันเนื่องจากความร้อน
ที่มา: DeMan, 1990

4. การแก้ไขปัญหาการเหม็นหืนของน้ำมันโดยใช้สารต้านออกซิเดชัน

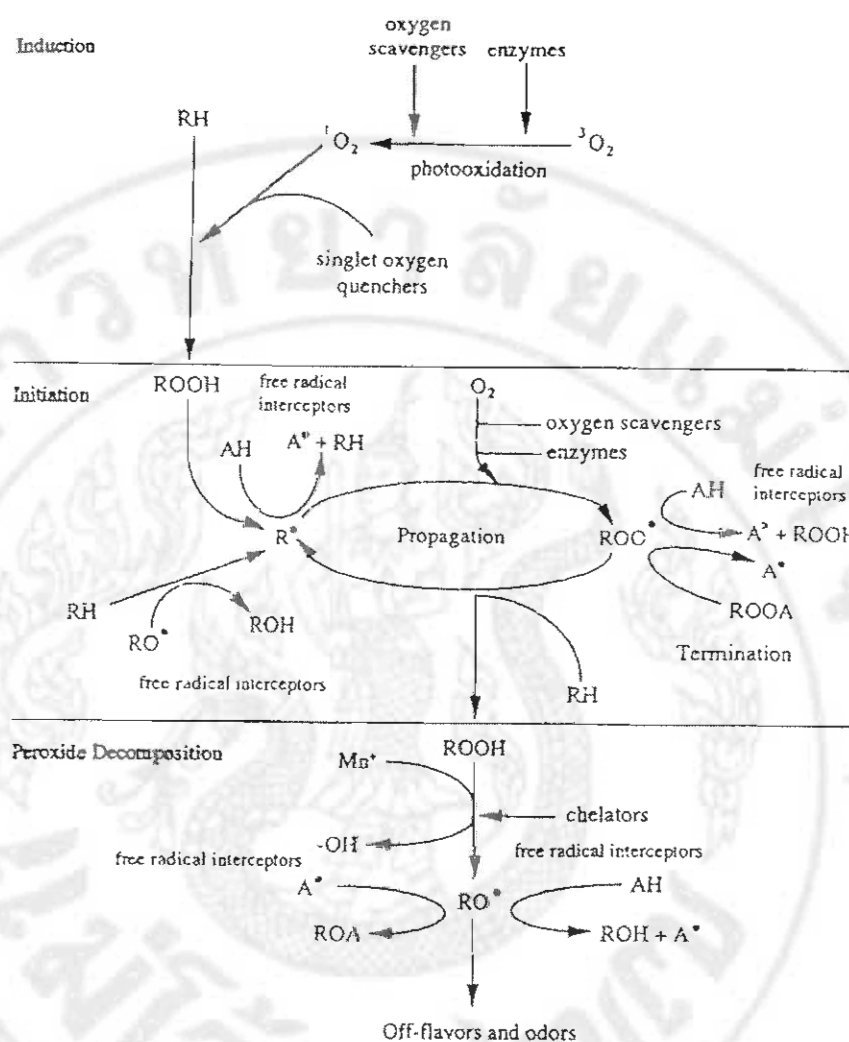
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ซึ่งไม่สามารถป้องกันไม่ให้เกิดได้ แต่สามารถชะลอให้เกิดช้าลงได้ ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นเริ่มต้นและขั้นต่อเนื่อง รวมถึงวิธีชะลอปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นช้าลง จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังภาพ 12 สามารถชะลอปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นช้าลงโดยวิธีเหล่านี้

4.1 ลดปริมาณความร้อนและแสงลงโดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในที่เย็นและมีด

4.2 อย่าให้มีการปนเปื้อนของอนุมูลของโลหะ เช่น ทองแดงและเหล็ก เนื่องจากการปนเปื้อนอนุมูลของโลหะแม้เพียง 0.1-1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ก็สามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

4.3 ป้องกันมิให้สัมผัสกับออกซิเจนโดยการเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท

4.4 ใช้สารต้านออกซิเดชันทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเพื่อยุติปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดขึ้น



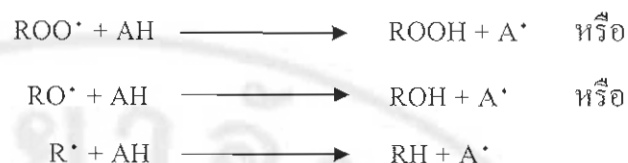
ภาพ 12 ภาพโดยรวมของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันและปฏิกิริยาของสารต้านออกซิเดชัน

ที่มา: Reische *et al.* (2002)

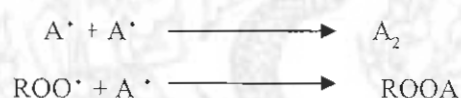
4.5 กลไกของสารต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอาจชะลอให้เกิดช้าลงได้ด้วยการใช้สารต้านออกซิเดชันซึ่งเป็นวัตถุเจือปนในอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารซึ่งเป็นสาเหตุของการเหม็นหืนหรือกลิ่นรสที่ผิดปกติ การที่สารต้านออกซิเดชันสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชันได้เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงักไป ดังสมการ



เมื่อสารต้านออกซิเดชันที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเหลืออนุมูลของสารต้านออกซิเดชันซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระมากและสามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัว ดังสมการ

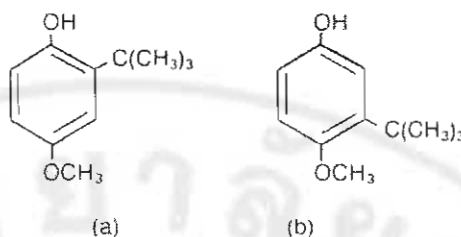


ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นข้างต้นสามารถอธิบายถึงวิธีการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการใช้สารต้านออกซิเดชันในอาหารที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้ยังพบว่าสารต้านออกซิเดชันบางชนิดสามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าน้ำมัน จึงอาศัยคุณสมบัติดังกล่าวของสารต้านออกซิเดชันช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหรือไขมัน

4.6 ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ทอดกรอบ

การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารผู้บริโภคมักจะตระหนักถึงความสดและกลิ่นรสเป็นปัจจัยหลัก ปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมันและน้ำมันมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี ลดคุณค่าทางโภชนาการ บางครั้งเกิดเป็นสารพิษหรือสารก่อมะเร็ง นักวิจัยส่วนใหญ่จึงพยายามในการหาวิธีป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น แต่มีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับการเติมสารต้านออกซิเดชันลงในอาหารโดยตรงเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันส่วนใหญ่เป็นพวก phenolic aromatic หรือบางครั้งเรียกว่า phenolic antioxidants มีทั้งอยู่ในรูปของแข็งและของเหลว สารต้านออกซิเดชันที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ทอดกรอบหรือน้ำมันที่ใช้ทอด ได้แก่ บิเอชเอ (butylated hydroxyanisole :BHA) บิเอชที (butylated hydroxytoluene :BHT) ทีบิเอชคิว (tertiary butyl hydroquinone :TBHQ) และ โพรพิลแกลเลต (propyl gallate)

4.6.1 บีเอชเอ (butylated hydroxy anisole :BHA)



ภาพ 13 โครงสร้างของ BHA

(a) 3-tert-butyl-4- hydroxyanisole

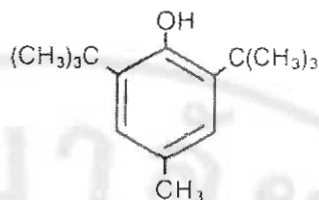
(b) 2-tert-butyl-4- hydroxyanisole

ที่มา: Sherwin, 1985

บีเอชเอเป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีการนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นสารประกอบที่เป็นผลึกสีขาวหรือเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ที่เข้มข้นร้อยละ 70 หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) ที่เข้มข้นมากกว่าร้อยละ 50 กลีเซอรอลโมโนโอเลเอต (glyceryl monooleate) ที่เข้มข้นร้อยละ 50 และในน้ำมันทุกชนิดที่เข้มข้นร้อยละ 30-50 มีจุดเดือดที่ 264-270 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ 48-65 องศาเซลเซียส (Sims และ Fioriti, 1980)

บีเอชเอที่นิยมนำไปใช้จะเป็นสารผสมระหว่าง 2 และ 3 บีเอชเอ โดยมี 3 บีเอชเอถึงร้อยละ 90 หรือมากกว่านั้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพดีกว่า 2 บีเอชเอและมีประสิทธิภาพดีในน้ำมันหรือไขมันสัตว์ น้ำมันพืชที่มีการเติมไฮโดรเจน ในส่วนน้ำมันพืชจะมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดี โดยบีเอชเอในระดับร้อยละ 0.01 ในน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่เติมไฮโดรเจนมีความคงตัวได้ 108 ชั่วโมง ในน้ำมันหมูมีความคงตัว 19 ชั่วโมง ในน้ำมันเมล็ดฝ้ายมีความคงตัว 9 ชั่วโมง (Chipault, 1962) บีเอชเอที่ใช้ในการผลิตน้ำมันพืชที่ระดับร้อยละ 0.02 พบว่าเกิดรสขมในน้ำมันพืชที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตทำให้คุณภาพของน้ำมันลดลง (Sherwin และ Luckadoo, 1970)

4.6.2 บีเอชที (butylated hydroxytoluene :BHT)



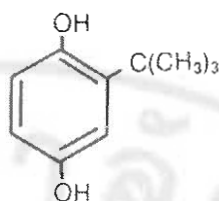
ภาพ 14 โครงสร้างของ BHT (2,6-ditertiary-butyl-p-cresol)

ที่มา: Sherwin, 1985

บีเอชทีเป็นสารประกอบที่เป็นผลึกสีขาวหรือเกล็ดสีขาว มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายในน้ำและโพर्फีนกลัยคอลแต่ละลายได้ในน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 25-40 หรือเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 25 และกลีเซอรอลโมโนโอเลเอตที่เข้มข้นร้อยละ 15 มีจุดเดือดที่ 265 องศาเซลเซียสและจุดหลอมเหลวที่ 69.7 องศาเซลเซียส (Sims และ Fioriti, 1980)

บีเอชทีที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมักอยู่ในรูปสารผสมของบีเอชทีในโพर्फีนกลัยคอลและโมโนกลีเซอไรด์ (monoglycerides) หรือบีเอชเอ บีเอชที และกรดซิตริกในโมโนกลีเซอไรด์ การใช้บีเอชทีร่วมกับบีเอชเอ โพर्फิลเกลเลตหรือทีบีเอชคิว และกรดซิตริก (citric acid) จะช่วยให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นเนื่องจากโลหะที่มักมีการปนเปื้อนในอาหารจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงต้องใช้กรดซิตริกซึ่งเป็นสารเสริมฤทธิ์สารต้านออกซิเดชันไปช่วยทำปฏิกิริยากับโลหะดังกล่าว โดยที่บีเอชทีชนิดเดียวมักทำปฏิกิริยากับโลหะเกิดเป็นสารประกอบ stibenequinone ซึ่งมีสีเหลือง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองได้ บีเอชทีอาจมีการสลายตัวโดยการระเหยหรือการกลั่นในระหว่างกระบวนการแปรรูป เช่น การทอด บีเอชทีนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทน้ำมันหรือไขมันสัตว์ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ในการศึกษาความคงตัวในช่วงของการเก็บรักษาของ Dugan และคณะ (1954) พบว่าการใช้บีเอชเอและบีเอชทีในระดับร้อยละ 0.01 ใน pastry cracker และมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ความคงตัวในการใช้บีเอชเอและบีเอชของ pastry อยู่ในช่วง 55 และ 40 วัน ส่วน cracker คงตัวในช่วง 42 และ 38 วัน และมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบคงตัวในช่วง 36 และ 29 วัน ตามลำดับ ประสิทธิภาพของบีเอชเอดีกว่าบีเอชที

4.6.3 ทีบีเอชคิว (tertiary butyl hydroquinone :TBHQ)



ภาพ 15 โครงสร้างของ TBHQ

ที่มา: Sherwin และ Thompson, 1967

ทีบีเอชคิวเป็นสารประกอบที่เป็นผลึกสีขาว มีกลิ่นเฉพาะตัว ละลายได้ในเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 60 หรือโพรพิลีนกลัยคอลเข้มข้นร้อยละ 30 กลีเซอรอลโมโนโอเลเอตเข้มข้นร้อยละ 10 และในน้ำมันทุกชนิดที่เข้มข้น 5-10 และในน้ำได้เล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 1) มีจุดเดือดที่ 295 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ 126.5-128.5 องศาเซลเซียส (Sherwin และ Thompson, 1967)

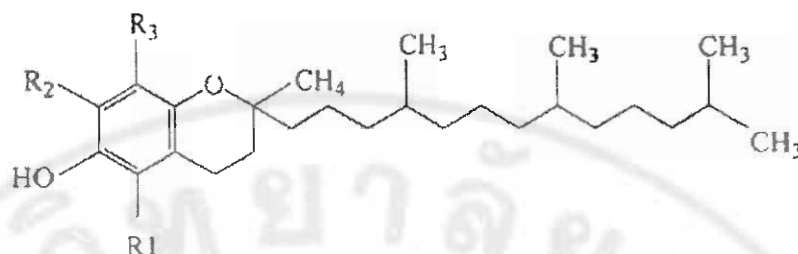
ทีบีเอชคิวเป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับน้ำมันพืช ในการศึกษาของ Sherwin และ Thompson (1967) พบว่าทีบีเอชคิวมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการช่วยให้น้ำมันพืชคงตัวในระหว่างการให้ความร้อนโดยการทอดได้ดีกว่าโพรพิลีนกลัยคอล บีเอชทีและบีเอชเอ โดยใช้สารต้านออกซิเดชันแต่ละชนิดในระดับร้อยละ 0.02

Razali *et al.* (2003) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของสารต้านออกซิเดชันที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มซูเปอร์โอเลอิน (palm superolein oil) โดยทำการทอดนักร้องไก่ (chicken nuggets) ที่อุณหภูมิ 117 ± 2 องศาเซลเซียส ในเวลา 3.5 นาที และทำการพักให้เย็น 30 นาที เวลาทั้งหมดที่ให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มซูเปอร์โอเลอิน คือ 40 ชั่วโมง ซึ่งทำการทอด 8 ชั่วโมง/วัน เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอดและผ่านการกรองเอาเศษอาหารออกจากน้ำมันจนหมดของแต่ละวันในปริมาณ 400 มิลลิลิตร เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพ จากนั้นทำการเติมน้ำมันใหม่ลงไปผสมในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำมันที่ใช้ในแต่ละวัน ส่วนตัวอย่างนักร้องไก่ที่ผ่านการทอดนำมาเก็บรักษาภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีการเติมก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อทำการตรวจสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยคะแนนตั้งแต่ 1-9 คือความกรอบน้อยที่สุดจนถึงกรอบมากที่สุด และทดสอบนักร้องไก่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันปาล์มซูเปอร์โอเลอินที่เติมสารต้านออกซิเดชัน คือ TBHQ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ silicone 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เปรียบเทียบกับนักร้องไก่ที่ผ่านการ

ทอดในน้ำมันปาล์มซูเปอร์โพลิเออร์ไอเลอินที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการทดสอบชิม จากการตรวจสอบทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอดทั้งที่ไม่เติมและเติมสารต้านออกซิเดชันเป็นเวลา 5 วัน พบว่าค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่ร้อยละ 0.04 เป็น 0.76 และ 0.48 ตามลำดับ ค่าสารประกอบมีขี้เริ่มต้นที่ร้อยละ 6.7 เป็น 20.8 และ 11.6 ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบโพลิเมอร์เริ่มต้นที่ร้อยละ 0.45 เป็น 3.8 และ 2.4 ตามลำดับ ค่าจุดเกิดควัน (smoke point) เริ่มต้นที่ 228 เป็น 182 และ 190 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณสารโทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอลเริ่มต้นที่ 745 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลดลงเหลือ 214 และ 450 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value: PV) จากเริ่มต้นที่ 0.99 มิลลิสมมูลย์ของออกซิเจนต่อกิโลกรัม น้ำมันควบคุมมีค่า PV เท่ากับ 7.17 มิลลิสมมูลย์ของออกซิเจนต่อกิโลกรัม ส่วนน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันมีค่า PV เริ่มต้นที่ 0.90 มิลลิสมมูลย์ของออกซิเจนต่อกิโลกรัม เป็น 2.14 มิลลิสมมูลย์ของออกซิเจนต่อกิโลกรัม และค่าแอซิด (Acid Value: AV) เริ่มต้นที่ 1.87 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำมันควบคุมเป็น 66.15 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนน้ำมันที่เติมแอนติออกซิแดนท์มีค่า AV เริ่มต้น 1.80 เป็น 20.27 เมื่อทำการทดสอบทางคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่า ค่าสี กลิ่นรส ความกรอบนอกและนุ่มในของนักเก็ต ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าผู้ทดสอบชิมสามารถยอมรับอาหารที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่ผ่านการเติมสาร TBHQ ในระดับดังกล่าวได้

โดยทั่วไปการอนุญาตให้ใช้สารต้านออกซิเดชันชนิดเดียวได้ไม่เกินร้อยละ 0.02 หรือใช้ร่วมกับสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่นอนุญาตให้ใช้แต่ละชนิดได้ไม่เกินร้อยละ 0.01 และรวมกันไม่เกินร้อยละ 0.02 ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 เพื่อใช้ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการทอดและต้องสามารถป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระได้ตลอดในช่วงของการเก็บรักษา

4.6.4 โทโคเฟอรอล (tocopherol)



	R ₁	R ₂	R ₃
α- tocopherol	CH ₃	CH ₃	CH ₃
β- tocopherol	CH ₃	H	CH ₃
γ- tocopherol	H	CH ₃	CH ₃
δ- tocopherol	H	H	CH ₃

ภาพ 16 โครงสร้างของ tocopherol

ที่มา: Madhavi *et al.*, 1995

โทโคเฟอรอลจัดเป็นสารต้านออกซิเดชันที่พบตามธรรมชาติโดยเฉพาะในน้ำมันพืช ซึ่งในน้ำมันมะพร้าวมีร้อยละ 0.003-0.009 และน้ำมันปาล์มมีถึงร้อยละ 0.002-0.05 (Madhavi *et al.*, 1996) โทโคเฟอรอลที่มีประสิทธิภาพใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันได้มี 4 รูปแบบ ได้แก่ α, β, γ และ δ-โทโคเฟอรอล แต่ละโครงสร้างแตกต่างกันที่ตำแหน่งของกลุ่มเมทิลที่ aromatic ring จะมี phenolic hydroxy ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการต่อต้านเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน โดยหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ของอนุมูลอิสระด้วยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลของ hydroperoxyl ซึ่งอนุมูลของโทโคเฟอรอลมีความคงตัวและสามารถหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ได้ (สันติ, 2535) Jung และ David (1990) ได้ศึกษาถึงการใช้โทโคเฟอรอลในการคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ α, γ และ δ- โทโคเฟอรอล ที่ความเข้มข้น 100 250 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งใช้เครื่อง Rancimat ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ α, γ และ δ-โทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ มีค่าการเหนี่ยวนำสู่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ 57.8 49.9 และ 45.1 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมมีค่าการเหนี่ยวนำสู่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ 42.3 ชั่วโมง โดยที่ Evan (2002) ได้ศึกษาถึงการใช้ α, γ และ δ-โทโคเฟอรอล ผสมกันในน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเข้มข้นที่ 340-660 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่เมื่อใช้โทโคเฟอรอลผสมที่ความ

เข้มข้น 720-1,090 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กลับทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลง โดยทำให้เพิ่มการเกิดคอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) ให้สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงการไฮโดรโพรอดเป็นสารต้านออกซิเดชันจะใช้ได้ในปริมาณที่พอเหมาะ หากใช้ในปริมาณที่สูงเกินไปอาจช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นได้

การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหาร

ไขมันหรือน้ำมันในอาหารมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การตรวจสอบทางเคมีจึงเป็นวิธีหนึ่งในการทดสอบคุณภาพของไขมันในอาหาร การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อนและมีความสำคัญต่อการเสื่อมคุณภาพของไขมัน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ และทางเคมีของไขมัน การตรวจสอบเพื่อวัดการเกิดออกซิเดชันของไขมันทำได้หลายวิธี (Pegg, 2005) ได้แก่

1. การวิเคราะห์ค่าแอสิด (Acid Value, AV) หรือปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA)

เป็นการตรวจสอบการสลายตัวและการหืนของไขมันและน้ำมัน ค่าแอสิดของไขมันหรือน้ำมัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัมเป็นกลางพอดี

ค่าแอสิดหรือปริมาณกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้ใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลเปสเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าแอสิดสูง แสดงว่าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่ามี hydrolytic rancidity เกิดขึ้นที่ไขมันหรือน้ำมันนั้น ความร้อนและแสงช่วยเร่งการหืนได้เร็วขึ้น

2. การวิเคราะห์ปริมาณคอนจูเกตไดอีน (Conjugated Diene, CD)

ปริมาณ คอนจูเกตไดอีนเป็นปริมาณที่ใช้อ้างอิงพันธะคู่ที่มีอยู่ในโครงสร้างทางเคมี ซึ่งมีหมู่เมทิล (methyl group) แทรกอยู่ระหว่างพันธะคู่ สารประกอบพวกคอนจูเกตไดอีนเป็นสารที่ไม่พบในธรรมชาติแต่จะเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันเกิดการออกซิเดชัน สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 233 นาโนเมตร (A_{233}) หากค่าการดูดกลืนแสงมากแสดงว่ามีปริมาณคอนจูเกตไดอีนสูง

3. การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV)

เปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์แรกของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันออกซิเดชัน ซึ่งวัดปริมาณที่เกิดขึ้นโดยใช้ความสามารถของเปอร์ออกไซด์ที่จะทำปฏิกิริยาร่วมกับ iron (II) และ iron (III)

โดยเกิดสารประกอบของ ferric ion ร่วมกับ xylene orange และสามารถตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นโดยใช้ spectrophotometer และสามารถตรวจสอบได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร (A_{560}) วิธีการหา ferrous oxidation/xylene orange (FOX) เป็นวิธีที่รวดเร็ว ใช้ตัวอย่างน้ำมันน้อยและสามารถหาค่าเพอร์ออกไซด์ได้ต่ำถึง 0.1 มิลลิสมมูลของออกซิเจนต่อกรัมของไขมันหรือน้ำมัน ระหว่างการเกิดออกซิเดชันค่าเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดต่ำลงตามลำดับ

4. การวิเคราะห์ค่าทีบาร์ส (Triobarbituric acid reactive substances, TBARS)

การวิเคราะห์ TBARS เป็นการตรวจหาปริมาณ malonaldehyde ซึ่งเป็น secondary oxidation products ที่เกิดจากการแตกตัวของ hydroperoxides ที่เป็น primary oxidation products เกิดเป็นสารหอมระเหยตามธรรมชาติและเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Gillan, 2001) โดยใช้เทคนิคทาง spectrophotometer โดยการสกัดน้ำมันในตัวอย่าง และน้ำมันดังกล่าวทำปฏิกิริยากับ 2 โมเลกุลของ TBA (2-thiobarbituric acid) จะทำปฏิกิริยากับหนึ่งโมเลกุลของ malonaldehyde เกิดเป็นสารประกอบสีส้มที่ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 532 นาโนเมตร โดยรายงานในหน่วย mg. malonaldehyde/kg. sample

5. การวิเคราะห์ค่าพารา-อะนิซีน (p-Anisidine, p-AV)

การวิเคราะห์ค่าพารา-อะนิซีนเป็นการตรวจหาอนุพันธ์ของอัลดีไฮด์ (aldehydes) ในรูปของ 2-alkenals และ 2,4-dienals ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ โดยการเกิดปฏิกิริยาในกรดอะซิติกของสารประกอบอัลดีไฮด์ในน้ำมันและค่าพารา-อะนิซีนโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร (A_{350})

6. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl compounds, CC)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลเป็นการตรวจสอบหาปริมาณ saturated carbonyl และ unsaturated carbonyl โดยการทำปฏิกิริยาของน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างร่วมกับ 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) กับ trichloroacetic acid (TCA) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและ potassium hydroxide เกิดเป็นสารประกอบ hydrazone สีแดง (quinoidal ion) และสามารถวัดปริมาณความเข้มข้นได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 (A_{430}) และ 460 (A_{460}) นาโนเมตร

Moreno *et al.* (1998) ได้ศึกษาถึงการเกิดสารประกอบคาร์บอนิลในน้ำมันที่ใช้ทอด ความร้อนกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันและเกิดสารประกอบคาร์บอนิล เช่น อัลดีไฮด์ คีโตนและไฮโดรฟลิคในระดับสูงซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ การเสื่อมสภาพของน้ำมันเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และเมื่อน้ำมันตัวอย่างถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300

องศาเซลเซียส 40 นาที จะพบสารประกอบคาร์บอนิลในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันร้อยละ 11.3 น้ำมันมะกอกมีร้อยละ 10.5 น้ำมันข้าวโพดมีร้อยละ 3.0 น้ำมันผสมระหว่างเมล็ดดอกทานตะวัน ดอกคำฝอยและเมล็ดคาโนลา (canola seed) มีร้อยละ 6.6 และน้ำมันหมูสูงถึงร้อยละ 3.5 แสดงให้เห็นว่าการทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิปกติสำหรับการทอดทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมันโดยได้สารประกอบคาร์บอนิลเกิดขึ้นในระหว่างการทอด

Johari *et al.* (2003) ได้ศึกษาถึงการเกิดปริมาณกรดไขมันอิสระในการทอดมันฝรั่งแท่งทอดกรอบ โดยใช้น้ำมัน 2 ชนิดได้แก่ ชนิดที่ 1 คือ น้ำมันเมล็ดทานตะวันและน้ำมันข้าวโพดในอัตราส่วน 90:10 และน้ำมันชนิดที่ 2 คือ น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันเมล็ดทานตะวันในอัตราส่วน 70:30 ทำการเติมน้ำมันใหม่ทุก ๆ 4 ชั่วโมง ทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ได้ 14 ครั้ง ทอดนาน 156 ชั่วโมง พบว่าการทอดนาน 156 ชั่วโมงทำให้น้ำมันที่ใช้ทอดชนิดที่ 1 มีค่าปริมาณกรดอิสระเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 ส่วนในมันฝรั่งทอดกรอบมีค่าปริมาณกรดอิสระร้อยละ 0.33 ในขณะที่น้ำมันทอดชนิดที่ 2 เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 0.8 และในมันฝรั่งทอดกรอบมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพียงร้อยละ 0.28 แสดงให้เห็นว่าการทอดโดยการใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นส่วนผสมสามารถลดการเกิดปริมาณกรดอิสระได้ดีกว่าการใช้ น้ำมันเมล็ดทานตะวันเพียงอย่างเดียว

Chamber (2000) กล่าวถึงข้อแนะนำสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมภัตตาคารและร้านอาหารจานด่วนต่างๆ ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด เพื่อสรุปค่าที่ประเมินในการเสื่อมสภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด ได้แก่ น้ำมันจะเกิดตะกอนและมีกรดไขมันอิสระเกินร้อยละ 5 หรือมีสารประกอบที่มีขี้ผึ้งเกินร้อยละ 27 หรือกรดไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ (oxidized fatty acid) มากกว่าร้อยละ 6-8 มีกรดไขมันที่ไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ได้สูงกว่าร้อยละ 2 มีกลิ่นรสที่ผิดปกติหรือมีลักษณะปรากฏที่ไม่ยอมรับ เช่น มีสีคล้ำ เกิดฟองหรือมีสารคาร์บอนิลเหลืออยู่ระดับสูงและน้ำมันทอดมีจุดเกิดควันต่ำกว่า 170 องศาเซลเซียส มีกรดลิโนเลอิกไม่เกินร้อยละ 2

Pegg (2005) กล่าวถึง การตรวจวิเคราะห์ความเสื่อมเสียของไขมันและน้ำมันที่สามารถตรวจหาปริมาณสารที่สลายตัวจากไขมันและเกิดในขั้นตอนของปฏิกิริยา คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ หรือปริมาณคอนจูเกตไดอินหรือคอนจูเกตไตรอิน และสารดังกล่าวจะสลายตัวต่อไป ซึ่งสามารถตรวจหา secondary oxidation products คือ สารประกอบพวกคาร์บอนิลหรือตรวจหาค่า 1,2 thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) และ Rossell (1994) กล่าวว่า secondary oxidation products ที่สามารถตรวจได้อาจเป็นค่าพารา-อะนิซิดีน (p-anisidine value)

ข้อเสนอแนะสำหรับการทอดอาหารโดยทั่วไป

การนำน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นเหตุให้น้ำมันเสื่อมสภาพและทำให้คุณภาพของอาหารด้อยลงไปนั้น ได้มีการวิเคราะห์และศึกษาถึงการหาค่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid) การหาจุดเกิดควัน (smoke point) และการอมน้ำมัน (oil pick up) ในการตรวจคุณภาพอาหารและน้ำมันที่ใช้ทอดปัจจุบันมีการศึกษาถึงการลดการเสื่อมสลายของน้ำมัน โดยควบคุมการเกิดสารตั้งผิวเพื่อนำมาปรับปรุงถึงคุณภาพของน้ำมันและอาหารทอด ซึ่งสามารถลดการอมน้ำมันและการเปลี่ยนสีของน้ำมันได้ เนื่องจากสารตั้งผิวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวให้เพิ่มขึ้น (Blumental, 1991) ดังนั้นในทางการค้าควรจะเลิกใช้น้ำมันเก่าเมื่อน้ำมันที่ใช้แล้วเริ่มเกิดควันหรือฟองมากขึ้น หรือน้ำมันมีสีคล้ำขึ้น หรือมีกลิ่นผิดปกติ นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการทอดแบบน้ำมันท่วม (McGill, 1980) ดังนี้

1. เลิกใช้น้ำมันเก่าทอดก่อนที่จะเกิดควันและฟองโดยใช้ oxyfrit test (เป็นการทดสอบเบื้องต้นของน้ำมันที่น่ากลับมาใช้ใหม่โดยการเปรียบเทียบกับสีด้วยการหยด indicator ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบของกรดไขมันที่ถูกออกซิไดซ์) เพื่อหาเวลาที่สมควรจะเปลี่ยนน้ำมัน
2. กรองน้ำมันและล้างกระทะทุกวัน
3. ควรใช้อุณหภูมิทอดในช่วง 160-180 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิที่มากกว่า 191 องศาเซลเซียส สามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิส
4. อย่าใส่เกลือหรือเครื่องเทศในอาหารขณะทอด
5. ใช้น้ำมันในปริมาณที่เหมาะสมกับอาหารในอัตราส่วนระหว่างอาหารต่อน้ำมัน 1:6 ควรเติมน้ำมันก่อนให้ความร้อนและรักษาระดับน้ำมันที่ใช้ทอดให้คงที่
6. เมื่อเลิกใช้น้ำมันทอดควรลดอุณหภูมิและปิดฝามิให้น้ำมันได้รับแสงสว่าง
7. เลือกวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์อุปกรณ์การทอดที่เหมาะสม ควรหลีกเลี่ยงอุปกรณ์ที่ทำจากเหล็ก ทองแดง สังกะสี เนื่องจากโลหะเหล่านี้มีส่วนเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น
8. อาหารที่จะนำมาทอดควรระเหยน้ำออกก่อนหรือระเหยน้ำออกบางส่วนเพื่อป้องกันการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

กฎหมายและข้อบังคับในประเทศต่าง ๆ (Firstone *et al.*, 1991) โดยทั่วไปแล้วประเทศต่าง ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เยอรมัน สเปนและกลุ่มสแกนดิเนเวียไม่มีพระราชบัญญัติและข้อบังคับเกี่ยวกับน้ำมันทอด แต่มีข้อเสนอแนะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและภัตตาคารในการใช้น้ำมันทอดรวมถึงวิธีการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันทอด โดยควรให้อยู่ในค่าที่กล่าวไว้ใน Chamber (2000)

การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวแตน

ปัจจัยหลัก 2 ประการที่ทำให้เกิดความเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ข้าวแตน ได้แก่

1. การเหม็นหืน

โดยทั่วไปอาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยวทั้งหมดจะเป็นอาหารที่มีไขมันสูงและจัดเป็นอาหารแห้ง จากการดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ก่อนทอดทำให้เมื่อเวลานำไปทอดผลิตภัณฑ์จึงเกิดการพองกรอบจากการที่น้ำมันปะทะผ่านช่องว่างภายในชิ้นอาหาร ซึ่งมีผลต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส แต่ผลสุดท้ายอายุของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จึงขึ้นอยู่กับไขมันที่มีอยู่ในอาหารที่มีส่วนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศจนเกิดการเหม็นหืนตามมา

ไขมันในผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพจากการที่ไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดการเหม็นหืน หรือกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียจากการที่ไขมันเสื่อมคุณภาพทำให้กลิ่นฉุนที่รุนแรงซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Robertson, 1993)

ความว่องไวหรือความเร็วในการเกิดการเหม็นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันขึ้นอยู่กับชนิดของไขมันหรือน้ำมันที่ใช้โดยเฉพาะไขมันที่มีจำนวนพันธะของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง (Hine, 1987)

2. การสูญเสียความกรอบ

คุณลักษณะที่โดดเด่นทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารว่างซึ่งอาจสูญเสียไปเนื่องจากสามารถดูดความชื้นได้ง่ายจากบรรยากาศภายนอกจึงทำให้อาหารว่ามีความชื้นเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา การจำกัดความชื้นจึงมีผลต่อคุณภาพทางคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้ถ้าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีอยู่ในช่วง 3-3.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการจำกัดปริมาณความชื้นที่มีประสิทธิภาพจะต้องอาศัยวิธีการลดความชื้นอย่างได้ผล จากตัวอย่างมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่มีปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 1-1.5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ของผู้บริโภค แต่ถ้าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 4-5 ผลิตภัณฑ์อาจเสี่ยงต่อการเกิดการเหม็นหืน ความน่าเชื่อถือที่เห็นได้ชัดถึงสถานะความชื้นของผลิตภัณฑ์สามารถวัดจากค่ากิจกรรมของน้ำในอาหาร (Water activity; A_w) โดยจุดควบคุมที่ต้องพิจารณาค่า A_w ของมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบต้องอยู่ที่ 0.40 ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับข้าวโพดแผ่นทอดกรอบ ในส่วนของมันฝรั่งทอดกรอบที่มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ไม่พึงประสงค์จะมีค่า A_w ที่ 0.51 (Katz และ Labuza, 1981)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

- 1.1 ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6
- 1.2 แดงโมพันธุ์กษิรี
- 1.3 เกลือ
- 1.4 งาคั่วและงาขาว
- 1.5 น้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่
 - 1.5.1 น้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์มผสมน้ำมันมะพร้าวในอัตรา 2:1 (ตราผักกาดคู่)
 - 1.5.2 น้ำมันปาล์ม โอเลอิน (ตราดอกไม้)
- 1.6 ใบเตยสด
- 1.7 Butylated hydroxytoluene (BHT) (Fluka : Sigma-aldrich, USA)
- 1.8 Butylated hydroxyanisole (BHA) (Fluka : Sigma-aldrich, USA)
- 1.9 Tertiary butylhydroquinone (TBHQ) (Fluka : Sigma-aldrich, USA)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวแตน

- 2.1 อุปกรณ์งานครัว
- 2.2 ตู้อบลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ (Termaks: TS 7472 model, Norway)
- 2.3 ตะแกรงมุ้งลวดขนาด 15.5×18.5 เซนติเมตร
- 2.4 เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม (Sartorius: BP 610 model, Germany)
- 2.5 ถาดอลูมิเนียม
- 2.6 แม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกขนาดเล็ก 24.5×6.5×0.4, 24.5×6.5×0.5 และ 24.5×6.5×0.6 เซนติเมตร จลุลม 16 ช่อง โดยแต่ละช่องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และแม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกขนาดใหญ่ 26×11×0.6, 26×11×0.8 และ 26×11×1.0 เซนติเมตร จลุลมจำนวน 10 ช่อง โดยแต่ละช่องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 เซนติเมตร

- 2.7 นาฬิกาจับเวลา
- 2.8 เทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple: Yokogawa 2455 model, Japan)
- 2.9 เครื่องผนึกถุงพลาสติก (Sealer: Santo, Thailand)
- 2.10 ถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene)
- 2.11 เครื่องชั่งขนาด 1 กิโลกรัม และ 15 กิโลกรัม

3. อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพข้าวแทน

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

- 3.1.1 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier calipers: Mitutoyo, Japan)
- 3.1.2 เครื่องวัดสีด้วยระบบ Hunter (Tristimulus colorimeter: JC 801 model, Japan)
- 3.1.3 เครื่องวัดแอกติวิตีของน้ำ (Novarsina: MIK 3000 model, Switzerland)
- 3.1.4 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet apparatus: Soxtex system HT6 1043

Extraction Unit model, Foss Tecator Co. Ltd, Sweden)

- 3.1.5 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer: TA.XT plus model, Charpa techcenter Co. Ltd, UK)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

- 3.2.1 เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม (Sartorius: AC 211S model, Germany)
- 3.2.2 กระป๋องอลูมิเนียมขนาด 45-65 มิลลิเมตร สูง 20-25 มิลลิเมตร พร้อมฝาปิด (Moisture can)
- 3.2.3 โถสุญญากาศ (Duran vakuumfest: DN 250 model, Germany)
- 3.2.4 เครื่องปั่น-บดอาหาร (Moulinex)
- 3.2.5 ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 0.2 1 และ 5 มิลลิลิตร
- 3.2.6 อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil)
- 3.2.7 ซ้อนตักสาร
- 3.2.8 กรวยกรองแก้ว
- 3.2.9 ขวดสีชา ปริมาตร 5 และ 500 มิลลิลิตร
- 3.2.10 ขวดน้ำกลั่น
- 3.2.11 กระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No. 1)

- 3.2.11 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 3.2.12 กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.2.13 แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic bar)
- 3.2.14 ที่วางหลอดทดลอง
- 3.2.15 หลอดทดลอง ขนาด 16×150 มิลลิเมตร
- 3.2.16 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 5 10 25 50 100 250 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 3.2.17 ปีกเกอร์ ขนาด 50 100 250 และ 600 มิลลิลิตร
- 3.2.18 กระจกบดวลง ขนาด 50 100 และ 500 มิลลิลิตร
- 3.2.19 ขวดแก้วรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.2.20 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Poly Science: Standard controller model, Australia)
- 3.2.21 ตู้ควบคุมความชื้นระบบอัตโนมัติ (Sanplatec: D-Box model, Japan)
- 3.2.22 ตู้แช่เยือกแข็ง (Sanyo: SFC 992 NG model, Thailand)
- 3.2.23 ตู้เย็น (Sanyo: SR-NF 139 model, Thailand)
- 3.2.24 ตู้อบสูญญากาศ (WTB binder: VD model, Germany)
- 3.2.25 ตู้อบลมร้อน (Termaks: RS 8000 model, Norway)
- 3.2.26 เครื่องให้ความร้อนพร้อมระบบกวน (Corning: PC-351 model, Italy)
- 3.2.27 เครื่องเขย่า (Orbital mixer: OM8 model, Australia)
- 3.2.28 เครื่องปั่นเหวี่ยง (IKA: Eurostar model, Germany)
- 3.2.29 เครื่องล้างแก้วด้วยคลื่นเสียง (Branson: 8210 model, UK)
- 3.2.30 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Perkin Elmer: Lambda 2S model, Germany)

4. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพข้าวแตน

- 4.1 เอทานอลบริสุทธิ์ (Absolute ethanol, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.2 แบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.3 เบนซีน (Benzene, Analytical grade, VWR International Ltd., UK)
- 4.4 3,3'-bis(*N,N*-di(carboxymethyl)aminomethyl)-*o*-cresolsulfonephthalein (Xylenol orange, AR., Sigma-aldrich, Germany)
- 4.5 1-บิวทานอล (1-butanol, Analytical grade, Lab-scan, Thailand)
- 4.6 คาเฟอีน (Caffeine, food grade, J.T. Baker, Thailand)

- 4.7 คลอโรฟอร์ม (Chloroform, Analytical grade, Lab-scan, Thailand)
- 4.8 กรดซิตริก (Citric acid, food grade, J.T. Baker, Thailand)
- 4.9 ไดเอทิลอีเธอร์ (Diethyl ether, Analytical grade, Lab-scan, Thailand)
- 4.10 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน (2,4-dinitrophenylhydrazine, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.11 เอทานอล 95% (95% ethanol, Commercial grade, O.V. chemical and supply Co. Ltd, Thailand)
- 4.12 กรดอะซิติกเข้มข้น (Glacial acetic acid, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.13 เฮกเซน (Hexane, Analytical grade, J.T. Baker Chemical Co., USA)
- 4.14 ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 30% (30% Hydrogen peroxides, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.15 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.16 เฟอริก (III) คลอไรด์ (Iron (III) chloride, Analytical grade, Fisher scientific, UK)
- 4.17 เฟอรัส (II) ซัลเฟต (Iron (II) sulfate, Analytical grade, Fisher scientific, UK)
- 4.18 เมทานอล (Methanol, Analytical grade, J.T. Baker Chemical Co., USA)
- 4.19 พารา-อะนิซีน (p-anisidine, Analytical grade, Fluka : Sigma-aldrich, USA)
- 4.20 ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein, Analytical grade, Lab-scan, Thailand)
- 4.21 โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogenphthalate, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.22 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.23 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.24 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Analytical grade, Lab-scan, Thailand)
- 4.25 โซเดียมซัลเฟต แอนไฮดรัส (Sodium sulphate anhydrous, Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.26 กรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic acid (TCA), Analytical grade, Merck, Germany)
- 4.27 1,1,3,3-เตตระเมทอโรกซีโพรเพน (1,1,3,3-tetramethoxypropane (TMP), Analytical grade, Sigma-aldrich, USA)
- 4.28 2,2,4-ไตรเมทิลเพนเทน (2,2,4-trimethylpentane (iso-octane), Analytical grade, Asia Pacific Specially Chemical Ltd., Australia)

4.29 2-ไธโอบาร์บิทูริก (2-thiobarbituric acid (TBA), Analytical grade, Fluka: Sigma-aldrich, Germany)

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

5.1 อุปกรณ์ทดสอบ (ถาดพลาสติก จลาคติรหัส ถ้วยน้ำจิ้ม แก้วน้ำ)

5.2 แบบสอบถาม

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.0 for Windows และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี New Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิธีการ

1. การศึกษาคุณภาพของแม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้าน

ทำการศึกษาคุณภาพของแม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกที่ใช้ในการขึ้นรูปข้าวแตนเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์เดิมของกลุ่มแม่บ้าน ดังนี้

1.1 การเตรียมข้าวเพื่อการขึ้นรูป

นำข้าวสารเหนียวแช่น้ำเป็นเวลาอย่างน้อย 8-12 ชั่วโมง แล้วเทข้าวลงบนผ้าขาวบางที่กรุในรังถึงอย่างน้อย 45-60 นาที นำข้าวที่นึ่งสุกมาคลุกเคล้าด้วยน้ำแดงโม เกลือ งาขาวและงาดำ โดยใช้ข้าวสุก:น้ำแดงโม:งาเกลือ ในสัดส่วน 195:45:10:1 (น้ำแดงโมที่ได้มาจากแดงโมที่ถูกหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ผ่านการปั่นและกรองด้วยผ้าขาวบาง)

1.2 วิธีการขึ้นรูป

นำข้าวที่คลุกเสร็จแล้วมาขึ้นรูปด้วยการวางลงบนแม่พิมพ์วงกลม กดข้าวให้เต็มช่องและกดให้เรียบ นำข้าวที่ได้ถอดออกจากพิมพ์แล้ววางบนถาดสำหรับใช้อบ นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยให้เหลือความชื้นหลังการอบแห้ง 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5 10 และ 15

1.3 การศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการขึ้นรูปข้าวแต่น

โดยการทดลองออกแบบแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปข้าวแต่นด้วยการใช้แผ่นพลาสติกอะคริลิก 2 ขนาด ได้แก่ ขนาด 24.5×6.5 เซนติเมตร แม่พิมพ์ขนาดเล็กจุเป็นช่องกลม 16 ช่อง โดยแต่ละช่องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ซึ่งมีความหนา (ความสูงของแม่พิมพ์) แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.4, 0.5 และ 0.6 เซนติเมตร สามารถขึ้นรูปข้าวแต่นได้ครั้งละ 16 ชิ้น และแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ ขนาด 26×11 เซนติเมตร จุเป็นช่องกลมจำนวน 10 ช่อง โดยแต่ละช่องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ซึ่งมีความหนาแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 0.6, 0.8 และ 1 เซนติเมตร ขึ้นรูปข้าวแต่นได้ครั้งละ 10 ชิ้น เปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ของแม่บ้านที่ทำจากแผ่นสังกะสีเพื่อให้เป็นวงที่มี 2 ขนาด คือ แม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่มีความสูง 1.0 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4.0 เซนติเมตร และแม่พิมพ์ขนาดเล็กที่มีความสูง 0.5 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.5 เซนติเมตร จากนั้นทำการพันด้วยเชือกไนลอนเพื่อลดความคมของแผ่นสังกะสี โดยสามารถผลิตได้ที่ละชิ้น นำแม่พิมพ์ที่ได้ ออกแบบมาให้แม่บ้านขึ้นรูปข้าวแต่นเพื่อเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ของแม่บ้านและทำการตรวจสอบคุณภาพทั้งทางด้านการขึ้นรูปข้าวแต่นเปียกและทางกายภาพภายหลังการทอดข้าวแต่น ดังต่อไปนี้

1.3.1 อัตราเร็วในการผลิต

ในส่วนของอัตราเร็วในการผลิตจะทำการจับเวลาในการขึ้นรูปข้าวแต่นโดยจับเวลาตั้งแต่ นำข้าวแต่นมากดลงพิมพ์จนสำเร็จออกมาเป็นแผ่นวงกลมของแม่พิมพ์แต่ละขนาด จำนวน 3 ชิ้น แล้วคำนวณหาเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นจำนวนชิ้นของการผลิตข้าวแต่นต่อชั่วโมง

1.3.2 ปริมาณข้าวแตงที่คงรูปเมื่อถอดออกจากพิมพ์ของข้าวแตง

ทำตรวจสอบปริมาณข้าวแตงที่คงรูปเมื่อถอดออกจากแม่พิมพ์โดยนับจำนวนข้าวแตงเปียกที่สมบูรณ์ที่ไม่มีรอยแห้วใน 1 รอบของการขึ้นรูป จำนวน 3 ซ้ำ แล้วคำนวณเป็นร้อยละของจำนวนขึ้นทั้งหมด

1.4 การตรวจสอบคุณภาพภายหลังการทอด

1.4.1 ปริมาณการแตกหักหลังทอด

ทำการนับจำนวนชิ้นที่แตกหักภายหลังการทอด โดยดูจากการแตกหักร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับชิ้นที่สมบูรณ์ (ร้อยละ 100) ในแต่ละรอบของการทอด โดยเลือกตัวอย่างข้าวแตงแห้งที่มีลักษณะสมบูรณ์ของวงกลมและไม่มีรอยแห้วก่อนการทอด

1.4.2 ปริมาณที่ขยายภายหลังการทอดข้าวแตง

วัดปริมาตรทั้งก่อนและหลังการทอดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ เพื่อวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของข้าวแตงแห้ง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรของข้าวแตง แล้วหารร้อยละการขยายปริมาตรจากสูตร

$$\text{การขยายปริมาตร} = \frac{\text{ปริมาตรหลังการทอด} - \text{ปริมาตรก่อนทอด}}{\text{ปริมาตรก่อนทอด}} \times 100$$

1.4.3 จำนวนชิ้นข้าวแตงที่พอดีสำหรับการบรรจุถุง

ทำการนับจำนวนชิ้นที่พอดีกับขนาดถุงที่เคยใช้ในการบรรจุ ได้แก่ ข้าวแตงแผ่นเล็กสำหรับบรรจุถุงขนาด 8 x 12 นิ้ว และข้าวแตงแผ่นใหญ่สำหรับบรรจุถุงขนาด 8.75 x 6 นิ้ว

1.5 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.3.1-1.3.2 และ 1.4.1-1.4.3 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (F-test) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) ทดลองแต่ละสิ่งทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การศึกษาปริมาณความชื้นของข้าวแตนแห้งของกลุ่มแม่บ้าน

ทำการศึกษาปริมาณความชื้นของข้าวแตนแห้งของกลุ่มแม่บ้านที่ใช้วิธีทำแห้งโดยการผึ่งแดด โดยใช้ตัวอย่างข้าวแตนแห้งจำนวน 30 ตัวอย่าง ซึ่งผลิตในเดือนเมษายน-พฤษภาคม ปี 2547 เพื่อกำหนดความชื้นที่เหลือหลังการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแทนการผึ่งแดด

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวแตนแห้งก่อนทอด

2.1.1 ปริมาณความชื้น โดยชั่งตัวอย่างจำนวน 2 กรัม อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง (AOAC, 2000)

2.1.2 ค่าแอสคิวติวิตีของน้ำ โดยใช้เครื่อง Thermoconstanter (Novasina, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการปรับเทียบเครื่องมือก่อนการวัดด้วยสารละลายเกลือมาตรฐาน คือ SAL-90, SAL-75, SAL-53, SAL-11

2.2 จัดแบ่งความชื้นของข้าวแตนเป็นช่วง ๆ เพื่อศึกษาในหัวข้อต่อไป

3. การศึกษากรรมวิธีการทำแห้งข้าวแตนโดยใช้ตู้อบลมร้อน

ข้าวแตนที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจะถูกนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แล้วจึงทำการศึกษาค้างต่อไปนี้ คือ

3.1 การหาอัตราการทำแห้งข้าวแตนด้วยตู้อบลมร้อน

นำข้าวแตนที่ขึ้นรูปแล้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 เซนติเมตร หนา 0.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ชิ้น ที่ทราบความชื้นเริ่มต้นแล้ววางบนตะแกรงมุ้งลวด นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใน 5 ชั่วโมงแรกชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 นาที และตรวจหาค่าแอสคิวติวิตีของน้ำในตัวอย่าง จากนั้นชั่งน้ำหนักและหา

ค่าแอกติวิตีของน้ำในตัวอย่างทุก ๆ 2 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่ กำหนดหาปริมาณความชื้นแล้วทำการเขียนกราฟ โดยให้ปริมาณความชื้นอยู่บนแกน y และเวลาในการอบแห้งมีหน่วยเป็นชั่วโมงอยู่บนแกน x

3.1.1 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3.1.2 ค่าแอกติวิตีของน้ำ

3.1.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย

3.2 การศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นที่มีผลต่อคุณภาพข้าวแต่นที่ผ่านการทอด

อบแห้งข้าวแต่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 เซนติเมตร หนา 0.8 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 5 10 และ 15 นำข้าวแต่นแห้งที่เหลือระดับความชื้นทั้ง 3 ระดับ ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทั้ง 3 อุณหภูมิมาทอด โดยทำการอุ่นกระทะให้ร้อนพร้อมทั้งเติมน้ำมันในอัตราส่วน 1.200 มิลลิลิตร ต่อ ข้าวแต่นแห้ง 225 กรัม (ประมาณ 45 ชิ้น) ทำการทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วินาที และทอดต่อเนื่องกันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้น้ำมันเมล็ดปาล์มผสมร่วมกับน้ำมันมะพร้าวในสัดส่วน 2:1 ตั้งไฟจนน้ำมันร้อนพร้อมตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคอปเปิล เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการจึงทำการทอด โดยกดข้าวแต่นแห้งให้จมน้ำมันพร้อมทั้งจับเวลาในการทอดตั้งแต่ลงสู่กระทะจนถึงตักขึ้น จากนั้นทำการสะเด็ดน้ำมันนาน 8-10 วินาที แล้วนำมาวางบนกระดาษซับมันนาน 15 นาที ทำการตรวจสอบคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวแต่นหลังทอด

3.2.1.1 ค่าสีด้วยระบบ CIE โดยใช้เครื่อง Tristimulus colorimeter

โดยปรับเทียบเครื่องมือก่อนการวัดด้วยแผ่นมาตรฐานสีดำและสีขาว

3.2.1.2 ค่าความแข็ง โดยใช้เครื่อง Texture analyzer ดังวิธีทำในภาคผนวก ก

3.2.1.3 การขยายปริมาตร โดยใช้ Vernier Calipers

3.2.1.4 ค่าจำนวนชิ้นที่แตกหัก

3.2.1.5 ค่าปริมาณการดูดซับน้ำมันโดยใช้วิธี Soxhlet (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.2.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอด

3.2.2.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) (AOCS, 1998)

3.2.2.2 ค่าคอนจูเกตไดอีน (Conjugated dienes) (AOCS, 1998)

3.2.2.3 ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (Pegg, 2005)

3.2.2.4 ค่าทีบาร์ส (Thiobarbituric acid reactive substances: TBARS)

(Pegg, 2005)

3.2.2.5 ค่าพารา-อะนิซิดีน (p-Anisidine) (AOCS, 1998)

3.2.2.6 ค่าสารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl compounds) (Pegg, 2005)

3.2.3 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (F-test) โดยวางแผนการทดลองแบบ 3×3 factorial in completely randomized design ทดลองแต่ละถึงทดลองจำนวน 2 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปัจจัยในการทดลองมีดังนี้

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิในการอบแห้ง (T) ประกอบด้วยอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ ได้แก่

T₁ หมายถึง อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส

T₂ หมายถึง อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส

T₃ หมายถึง อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่เหลือภายหลังการอบแห้ง (M) ประกอบด้วยปริมาณความชื้น 3 ระดับ ได้แก่

M₁ หมายถึง ปริมาณความชื้นร้อยละ 15

M₂ หมายถึง ปริมาณความชื้นร้อยละ 10

M₃ หมายถึง ปริมาณความชื้นร้อยละ 5

4. การศึกษาชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดที่มีผลต่อข้าวแตน

ทำการศึกษาคูณภาพของข้าวแตนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 เซนติเมตร หนา 0.8 เซนติเมตร โดยใช้ข้าวแตนแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิในการอบแห้งและเหลือความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมตามการทดลองในข้อ 3 และใช้ข้าวแตนที่ได้จากการจากการผึ่งแดดโดยวิธีของกลุ่มแม่บ้านทดลองควบคุม เพื่อเป็นตัวอย่างควบคุมในกรณีหากจะใช้น้ำมันปาล์ม โอเลอินและทอดในน้ำมันผสมโดยใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 45 วินาที (ซึ่งเป็น

อุณหภูมิและเวลาในการทอดเค็มของกลุ่มแม่บ้าน) จะมีผลต่อคุณภาพข้าวแต่นหลังทอดและคุณภาพน้ำมันหลังทอด ทำการทอดโดยใช้น้ำมันต่างกัน 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์มผสมร่วมกับน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากนั้นทำการทอดโดยใช้น้ำมันในอัตราส่วน 1,200 มิลลิลิตร ต่อ ข้าวแต่นแห้ง 225 กรัม (ประมาณ 45 ชิ้น) ทอดที่อุณหภูมิ 200 210 และ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 40 และ 50 วินาที โดยตั้งไฟให้น้ำมันในกระทะได้อุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งตรวจสอบได้ด้วยใช้เทอร์โมคอปเปิลจึงทำการทอดโดยกดข้าวแต่นแห้งให้จมน้ำมันพร้อมทั้งจับเวลาในการทอดตั้งแต่ลงสู่กระทะจนถึงตักขึ้น และทำการสะเด็ดน้ำมันด้วยกระชอนนาน 8-10 วินาที แล้วนำมาวางบนกระดาษซับมันนาน 15 นาที บรรจุถุง

หลังกระบวนการทอดเก็บผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นในถุงพลาสติกใสชนิดหนา (PP) ปิดผนึกถุงด้วยความร้อนและเก็บในตู้ที่เก็บแสงที่อุณหภูมิห้อง โดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บน้ำมันภายหลังการทอดเค็มโดยปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น ใช้กระชอนตัก ๆ เก็บเศษข้าวแต่นที่หลุดออกเป็นชิ้น ๆ จากนั้นเก็บน้ำมันลงในขวดสีชาและทำการพ่นก๊าซไนโตรเจนแล้วจึงปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และเก็บน้ำมันไม่เกิน 2 สัปดาห์ ก่อนนำมาวิเคราะห์คุณภาพ

4.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพของข้าวแต่นหลังทอด

4.1.1 ค่าสี

4.1.2 ค่าความแข็ง

4.1.3 การขยายปริมาตร

4.1.4 ค่าจำนวนชิ้นที่แตกหัก

4.1.5 ค่าปริมาณการดูดซับน้ำมัน

4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอด

4.2.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

4.2.2 ค่าคอนจูเกตไดอิน

4.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์

4.2.4 ค่าทีบาร์ต

4.2.5 ค่าพารา-อะนิซิน

4.3 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 4.1 และ 4.2 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (F-test) โดยวางแผนการทดลองแบบ $2 \times 3 \times 3$ factorial in completely randomized design + control ทดลองแต่ละสิ่งทดลองจำนวน 2 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ปัจจัยในการทดลองมีดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด (O) ประกอบด้วยน้ำมัน 2 ชนิด ได้แก่
 O_1 หมายถึง น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าว
 O_2 หมายถึง น้ำมันปาล์มโอเลอิน

ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิในการทอด (T) ประกอบด้วยอุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่

T_c หมายถึง อุณหภูมิควบคุมในการทอดที่ 200 องศาเซลเซียส

(อุณหภูมิในการทอดข้าวแตนของกลุ่มแม่บ้าน)

T_1 หมายถึง อุณหภูมิในการทอดที่ 200 องศาเซลเซียส

T_2 หมายถึง อุณหภูมิในการทอดที่ 210 องศาเซลเซียส

T_3 หมายถึง อุณหภูมิในการทอดที่ 220 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 3 เวลาในการทอด (t) ประกอบด้วยเวลา 3 ระดับ ได้แก่

T_c หมายถึง เวลาควบคุมในการทอดที่ 45 วินาที

(เวลาในการทอดข้าวแตนของกลุ่มแม่บ้าน)

t_1 หมายถึง เวลาในการทอดที่ 30 วินาที

t_2 หมายถึง เวลาในการทอดที่ 40 วินาที

t_3 หมายถึง เวลาในการทอดที่ 50 วินาที

5. การศึกษาชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่ใช้ในกระบวนการทอดที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาข้าวแตนในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

5.1 ใช้ข้าวแตนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 เซนติเมตร หนา 0.8 เซนติเมตร ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 3

5.2 เลือกชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4 โดยการใช้สารต้านออกซิเดชัน 3 ชนิด ได้แก่ BHA ผสมรวมกับ BHT อย่างละ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สาร TBHQ ปริมาณ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสารจากธรรมชาติ คือ ใบเตยปริมาณ 20 กรัม/น้ำมัน 6 ลิตร โดยสิ่งทดลองในส่วนของสารต้านออกซิเดชันนั้นได้ทำการผสมรวมกับน้ำมันที่ใช้ทอดด้วยการคนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ส่วนสิ่งทดลองของใบเตยนั้นได้ทำการทอดใบเตยในน้ำมันที่ใช้ทอดให้กรอบก่อนจึงทำการทอดข้าวแตนในลำดับต่อไป ในอัตราส่วนของน้ำมัน 1,200 มิลลิลิตร ต่อ ข้าวแตนแห้ง 225 กรัม (ประมาณ 45 จัน)

5.3 การวิเคราะห์คุณภาพภายหลังการทอด

5.3.1 คุณภาพทางกายภาพของข้าวแตนหลังทอด

5.3.1.1 ค่าสีด้วย

5.3.1.2 ค่าความแข็ง

5.3.1.3 การขยายปริมาตร

5.3.1.4 ค่าจำนวนชิ้นที่แตกหัก

5.3.1.5 ค่าปริมาณการดูดซับน้ำมัน

5.3.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอด

5.3.2.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

5.3.2.2 ค่าคอนจูเกตไดอิน

5.3.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์

5.3.2.4 ค่าทึบวีส

5.3.2.5 ค่าพารา-อะนิซิน

5.3.2.6 ค่าสารประกอบคาร์บอนิล

5.4 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวแตนภายหลังการเก็บรักษา โดยตรวจสอบคุณภาพ ทุก ๆ 15 วัน เป็นเวลา 3 เดือน ประกอบด้วย

5.4.1 คุณภาพทางกายภาพของข้าวแตนภายหลังการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

5.4.1.1 ค่าความแข็ง

5.4.1.2 ค่าแอคติวิตีของน้ำ

5.4.2 คุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากข้าวแตนที่เก็บรักษา ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

5.4.2.1 การสกัดน้ำมันจากข้าวแตน (ดัดแปลงจาก Rafecas *et al.*, 1998)

นำตัวอย่างข้าวแตนที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ภายหลังการเก็บรักษาข้าวแตนในช่วงระยะเวลามาสกัดน้ำมันออกจากตัวอย่างวิเคราะห์หาค่าทางเคมีต่าง ๆ ต่อไปนี้

5.4.2.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

5.4.2.3 ค่าคอนจูเกตไดอิน

5.4.2.4 ค่าเปอร์ออกไซด์

5.4.2.5 ค่าทึบวีส

5.4.2.6 ค่าพารา-อะนิซิซีน

5.4.2.7 ค่าสารประกอบคาร์บอนิล

5.4.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวแตนภายหลังการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) ซึ่งพัฒนาจากวิธี Texture Profile การทดสอบในเชิงพรรณนาโดยปริมาณนี้ วิธีการแรกต้องทำการคัดเลือกผู้ทดสอบจำนวน 25 คน และทำการฝึกฝนและคัดเลือกให้เหลือ 10 คน ดังวิธีการคัดเลือกในภาคผนวก ก เมื่อทำการเลือกและฝึกฝนผู้ทดสอบแล้ว ผู้ทดสอบจะต้องเขียนคำที่คิดที่สุดในการอธิบายลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ตามแนวความคิดของตนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เช่น ลักษณะปรากฏและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ การทำงานช่วงนี้ผู้ทดสอบชิมจะต้องทำงานเป็นกลุ่ม ทำการปรึกษาหารือวิเคราะห์ วิเคราะห์ลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ จากนั้นกำหนดคำอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์ ทำการทดสอบ และสรุปผลการทดสอบร่วมกันทั้งกลุ่มที่มีต่อความหมายและความเข้มของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ ในช่วงนี้ค่าความเข้มของสเกลที่ทำการทดสอบจะถูกกำหนดขึ้น คุณลักษณะในการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การพองตัวของเม็ดข้าว สีและความสว่าง ความกรอบ กลิ่นหืน กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน จากนั้นเป็นการทดสอบผลิตภัณฑ์จริงซึ่งผู้ทดสอบจะต้องทำการทดสอบแยกออกจากกลุ่มแบบที่ใช้การทดสอบมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Line scale) ที่มีความยาว 6 นิ้ว หรือ 15 เซนติเมตร ที่มีการกำหนดความเข้มและอ่อนของแต่ละนิยามของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ (Stone and Slide, 1993) ทำการประเมินผลิตภัณฑ์ข้าวแตนทุก ๆ 15 วัน เป็นเวลา 90 วัน

5.5 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 5.3.1-5.3.2 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (F-test) โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design ทดลองแต่ละสิ่งทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนข้อมูลที่ได้จากข้อ 5.4 นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (F-test) โดยวางแผนการทดลองแบบ 4×7 factorial in completely randomized design ทดลองแต่ละสิ่งทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ปัจจัยในการทดลองมีดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ชนิดของสารกันหืนที่ใช้ (A) ประกอบด้วยสารกันหืน 4 ชนิด ได้แก่

A₁ หมายถึง การไม่ใช้สารกันหืน (ชุดควบคุม)

A₂ หมายถึง การเติมสาร BHA ผสมรวมกับ BHT

A₃ หมายถึง การเติมสาร TBHQ

A₄ หมายถึง การเติมสารจากธรรมชาติ (ใบเตย)

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาเก็บรักษา (T) ประกอบด้วยระยะเวลาเก็บรักษา 7 ระยะ ได้แก่

T₁ หมายถึง ระยะเวลาเก็บรักษา 0 สัปดาห์

T₂ หมายถึง ระยะเวลาเก็บรักษา 2 สัปดาห์

T₃ หมายถึง ระยะเวลาเก็บรักษา 4 สัปดาห์

T₄ หมายถึง ระยะเวลาเก็บรักษา 6 สัปดาห์

T₅ หมายถึง ระยะเวลาเก็บรักษา 8 สัปดาห์

T₆ หมายถึง ระยะเวลาเก็บรักษา 10 สัปดาห์

T₇ หมายถึง ระยะเวลาเก็บรักษา 12 สัปดาห์

6. สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. แหล่งผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นน้ำแดงโมของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวง ตำบลสันทรายหลวง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

7. ระยะเวลาการทํารว้จย

เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2547 ถึงสิงหาคม 2549

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณภาพของแม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้าน

1.1 ประสิทธิภาพในการขึ้นรูป

ประสิทธิภาพในการขึ้นรูปวัดจากเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปและปริมาณข้าวแต่นที่คงรูปหลังจากเอาพิมพ์ออก จากการเปรียบเทียบแม่พิมพ์ชนิดใหม่ 2 ขนาด คือ ขนาดเล็กใช้แม่พิมพ์ขนาด กว้าง × ยาว เท่ากับ 24.5×6.5 เซนติเมตร ซึ่งมีความหนาแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.4 0.5 และ 0.6 เซนติเมตร เจาะฉลุเป็นช่องกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ได้ 16 ช่อง จึงขึ้นรูปได้ครั้งละ 16 ชิ้น เปรียบเทียบกับแม่พิมพ์เดิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ขึ้นรูปได้ครั้งละ 1 ชิ้น ส่วนแม่พิมพ์ขนาดใหญ่มีขนาดกว้าง × ยาว เท่ากับ 26×11 เซนติเมตร ซึ่งมีความหนาแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.6 0.8 และ 1.0 เซนติเมตร เจาะฉลุเป็นช่องกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 เซนติเมตร ได้ 10 ช่อง จึงสามารถขึ้นรูปได้ครั้งละ 10 ชิ้น เปรียบเทียบกับแม่พิมพ์เดิมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 เซนติเมตร หนา 1.0 เซนติเมตร ขึ้นรูปได้ครั้งละ 1 ชิ้น ดังภาพ 17

1.1.1 อัตราเร็วในการผลิต

อัตราเร็วในการขึ้นรูปของแม่พิมพ์ขนาดเล็กที่มีความหนา 0.4 0.5 และ 0.6 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 614.45 ± 10.55 555.13 ± 58.33 และ 656.89 ± 50.46 ชิ้น/ชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่แม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้านผลิตได้ 384.11 ± 13.42 ชิ้น/ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตาราง 5 ขณะที่แม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่มีความหนา 0.6 0.8 และ 1.0 เซนติเมตร มีอัตราเร็วในการขึ้นรูป 425.71 ± 21.99 424.51 ± 7.29 และ 429.45 ± 6.15 ชิ้น/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่แม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้านผลิตได้ 297.10 ± 8.70 ชิ้น/ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 5 จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถลดระยะเวลาในการขึ้นรูปได้ เนื่องจากสามารถผลิตได้ 16 ชิ้น/ครั้ง สำหรับแม่พิมพ์ขนาดเล็ก และสามารถผลิต 10 ชิ้น/ครั้ง สำหรับแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ ในขณะที่แม่พิมพ์ของแม่บ้านสามารถขึ้นรูปได้ครั้งละ 1 ชิ้น

1.1.2 ค่าการทรงรูปเมื่อถอดออกจากแม่พิมพ์

สำหรับค่าการทรงรูปเมื่อถอดข้าวแตนเปียกออกจากแม่พิมพ์นั้นมียังค่าดังต่อไปนี้ ในส่วนของแม่พิมพ์ขนาดเล็กทั้ง 3 ขนาด คือ ร้อยละ 98.75±1.25 98.33±1.91 และ 95.83±3.61 ตามลำดับ โดยที่แม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้านขนาดเล็กเท่ากับร้อยละ 100 และแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ทั้ง 3 ขนาดมีค่าการทรงรูปเมื่อถอดจากพิมพ์เท่ากับร้อยละ 99.33±1.15 100 และ 99.33±1.15 ตามลำดับ ในขณะที่แม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้านขนาดใหญ่เท่ากับร้อยละ 100 จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าค่าการทรงรูปของข้าวแตนเมื่อถอดออกจากแม่พิมพ์ของแม่พิมพ์ทั้งเล็กและใหญ่ทั้ง 6 ขนาดและแม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้านทั้งขนาดเล็กและใหญ่ไม่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตาราง 5 แม่พิมพ์พลาสติกอะคริลิกทั้งขนาดเล็กและใหญ่มีขนาดไม่ใหญ่เกินไปและมีความหนาเพียงพอที่ทำให้มีการทรงรูปได้ดี ส่วนแม่พิมพ์สังกะสีของกลุ่มแม่บ้านทั้งขนาดเล็กและใหญ่นั้นขึ้นรูปครั้งละ 1 ชิ้น จึงทรงรูปได้ถึงร้อยละ 100

1.2 การตรวจสอบคุณภาพภายหลังการทอด

1.1.2 ปริมาณการแตกหักหลังทอด

ในส่วนของปริมาณการแตกหักหลังการทอดข้าวแตนในส่วน of แม่พิมพ์ขนาดเล็กทั้ง 3 ขนาดมีค่าดังนี้ คือ ร้อยละ 4.68±0.75 3.95±1.06 และ 4.55±0.32 ตามลำดับ ในขณะที่แม่พิมพ์ขนาดเล็กของกลุ่มแม่บ้านมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.94±0.32 ซึ่งไม่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในส่วนแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ทั้ง 3 ขนาดมีค่าปริมาณการแตกหักหลังการทอดเท่ากับร้อยละ 3.60±0.05 3.63±0.18 และ 2.49±0.66 ตามลำดับ โดยแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่มีความหนา 0.60 และ 0.80 เซนติเมตร มีค่าปริมาณการแตกหักหลังการทอดอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ ร้อยละ 3.60±0.05 และ 3.63±0.18 ในขณะที่แม่พิมพ์ขนาดใหญ่ของกลุ่มแม่บ้านมีค่ามากที่สุดถึงร้อยละ 5.01±0.05 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ดังตาราง 5 การแตกหักของข้าวแตนที่ได้จากแม่พิมพ์ขนาดใหญ่มีน้อยกว่าเนื่องจากมีความหนามากกว่า ข้าวจึงเกาะตัวกันได้ดีกว่า

1.1.3 ปริมาตรที่ขยายหลังการทอด

เมื่อตรวจสอบปริมาตรที่ขยายภายหลังการทอดในส่วนของแม่พิมพ์ขนาดเล็กไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือค่าปริมาตรที่ขยายของข้าวแตนในส่วนของแม่พิมพ์เดิมขนาดเล็กของกลุ่มแม่บ้านและแม่พิมพ์ใหม่ขนาดเล็กที่มีความหนาทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ 0.40 0.50 และ 0.60 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 345.39±67.86 348.60±39.02 366.31±9.42 และ 363.45±11.30 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ทั้งของกลุ่มแม่บ้านและแม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ที่มีความหนาทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ ความหนาที่ 0.60 0.80 และ 1.00 เซนติเมตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือค่าปริมาตรที่ขยายของข้าวแตนในส่วนของแม่พิมพ์เดิมขนาดใหญ่ของกลุ่มแม่บ้านมีค่าเท่ากับร้อยละ 298.92±11.20 ซึ่งสามารถขยายปริมาตรได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ รองลงมาคือ แม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ความสูง 0.60 เซนติเมตร มีค่าปริมาตรที่ขยายเท่ากับร้อยละ 251.52±30.08 และกลุ่มที่มีการขยายปริมาตรต่ำที่สุด ได้แก่ แม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ความสูง 0.80 และ 1.00 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 245.06±39.24 และ 226.42±11.20 ตามลำดับ ดังตาราง 5 ทั้งนี้เนื่องจากแม่พิมพ์ที่มีความหนามากกว่าอาจมีการกดให้แน่นได้มากกว่าจึงขยายปริมาตรได้น้อย แต่ขัดแย้งกับแม่พิมพ์เดิมของกลุ่มแม่บ้าน ซึ่งหนา 1.00 เซนติเมตร แต่ขยายปริมาตรได้สูงอาจเป็นเพราะมีการขึ้นรูปครั้งละชิ้นและมีความเค้นของแรงกดจึงกดไม่แรง จึงขยายปริมาตรได้ดีกว่า

1.1.4 จำนวนชิ้นข้าวแตนที่พอดีสำหรับการบรรจุถุง

การตรวจสอบจำนวนชิ้นข้าวแตนขนาดเล็กที่พอดีกับถุงบรรจุขนาด 8.75×6 นิ้ว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือสามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้ กลุ่มที่สามารถบรรจุข้าวแตนขนาดเล็กได้มากที่สุดคือ กลุ่มของแม่พิมพ์ใหม่ขนาดเล็กที่มีความสูง 0.4 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 34.67±0.50 ชิ้น รองลงมาคือ กลุ่มของแม่พิมพ์ขนาดเล็กของกลุ่มแม่บ้านและแม่พิมพ์ใหม่ขนาดเล็กที่มีความสูง 0.5 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากันคือ 29 ชิ้น และ กลุ่มของแม่พิมพ์ใหม่ขนาดเล็กที่มีความสูง 0.6 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 25.78±0.44 ชิ้น

ส่วนองจำนวนชิ้นข้าวแตนขนาดใหญ่พอดีกับถุงขนาด 8×12 นิ้ว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือสามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่มเช่นเดียวกับแม่พิมพ์ขนาดเล็ก ได้แก่ กลุ่มที่สามารถบรรจุข้าวแตนขนาดใหญ่ได้มากที่สุดคือ กลุ่มของแม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ที่มีความสูง 0.6 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 33.78±0.44 ชิ้น รองลงมาคือ กลุ่มของแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ของ

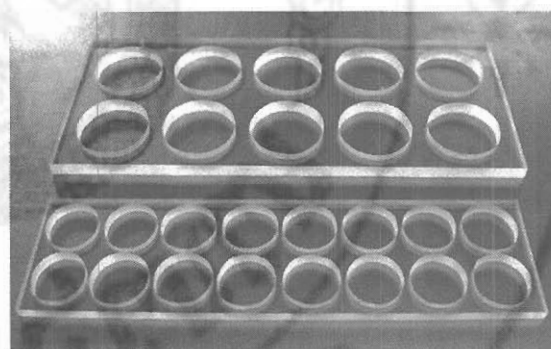
กลุ่มแม่บ้านและแม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ที่ความสูง 0.8 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.22 ± 0.44 และ 28.56 ± 0.53 ขึ้น ตามลำดับ และกลุ่มของแม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ที่ความสูง 1.00 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 24.78 ± 0.44 ขึ้น ดังตาราง 5

สำหรับค่าจำนวนขึ้นที่พอดีสำหรับการบรรจุขนาดต่าง ๆ ดังข้อมูลข้างต้นนั้นมีความสำคัญที่ช่วยในการพิจารณาในแง่ของการการค้า กล่าวคือ ถ้าบรรจุจำนวนขึ้นในปริมาณมากจะต้องใช้กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นและข้าวแต่นี่ที่ใช้จำนวนขึ้นมากแสดงถึงการไม่ขยายปริมาตรเท่าที่ควร ความกรอบที่ได้จึงน้อยลง ในกรณีที่ข้าวแต่นี่มีความกรอบมากซึ่งอาจทำให้การบรรจุข้าวแต่นี่มีปริมาณน้อยลงอาจเกิดการแตกหักได้ง่าย จึงน่าจะใช้เกณฑ์การบรรจุที่พอดีโดยใช้ข้าวแต่นี่ที่ทำจากแม่พิมพ์ขนาดเล็กที่ความหนา 0.50 เซนติเมตร เท่ากับขนาดบรรจุข้าวแต่นี่ที่ผลิตจากแม่พิมพ์ขนาดเล็กของกลุ่มแม่บ้านและแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่ความหนา 0.80 เซนติเมตร เท่ากับขนาดบรรจุข้าวแต่นี่ที่ผลิตจากแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ของกลุ่มแม่บ้านเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแม่พิมพ์ขนาดเล็กที่ความหนา 0.50 เซนติเมตร ใช้ได้ดีที่สุด ในขณะที่แม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่ความหนา 0.80 เซนติเมตร ใช้ได้ดีที่สุด



(ก)



(ข)

ภาพ 17 แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปข้าวแต่นี่: แม่พิมพ์ขนาดของกลุ่มแม่บ้าน (ก) และแม่พิมพ์พลาสติกอะคริลิก (ข)

ตาราง 5 ประสิทธิภาพในการขึ้นรูปและสมบัติของข้าวแตนจากแม่พิมพ์ขนาดต่างๆ

รายการทดสอบ	ความหนาของแม่พิมพ์ (ซม.)			
	ควบคุม (0.50)	0.40	0.50	0.60
1. แม่พิมพ์เล็ก				
1.1 อัตราเร็วในการผลิต (ชิ้น/ชั่วโมง)	384.11 ^c ±13.42	614.45 ^{ab} ±10.55	555.13 ^b ±58.33	656.89 ^a ±50.46
1.2 ค่าการคงรูปเมื่อถอดออก จากพิมพ์ (%) ^{ns}	100.00	95.83±3.61	98.33±1.81	98.75±1.25
1.3 ปริมาณการแตกหักหลังทอด (%) ^{ns}	4.94±0.32	4.68±0.75	3.95±1.06	4.55±0.32
1.4 ปริมาตรที่ขยายหลังการทอด (%) ^{ns}	345.39±67.86	348.60±39.02	366.31±9.42	363.35±11.30
1.5 จำนวนชิ้นที่พอดีกับถุง ขนาด 8.75×6 นิ้ว ² (ชิ้น)	29.00 ^b	34.67 ^a ±0.50	29.00 ^b	25.78 ^c ±0.44
2. แม่พิมพ์ใหญ่				
ความหนาของแม่พิมพ์ (cm)	ควบคุม (1.00)	0.60	0.80	1.00
2.1 อัตราเร็วในการผลิต (ชิ้น/ชั่วโมง)	297.10 ^b ±8.70	425.71 ^a ±21.99	424.51 ^a ±7.29	429.45 ^a ±6.15
2.2 ค่าการคงรูปเมื่อถอดออก จากพิมพ์ (%) ^{ns}	100.00	99.33±1.15	100.00	99.33±1.15
2.3 ปริมาณการแตกหักหลังทอด (%)	5.01 ^a ±0.05	3.60 ^b ±0.05	3.63 ^b ±0.18	2.49 ^c ±0.66
2.4 ปริมาตรที่ขยายหลังการทอด (%)	298.92 ^a ±11.20	251.52 ^{ab} ±30.08	245.06 ^{ab} ±39.24	226.42 ^b ±11.20
2.5 จำนวนชิ้นที่พอดีกับถุง ขนาด 8×12 นิ้ว ² (ชิ้น)	29.22 ^b ±0.44	33.78 ^a ±0.44	28.56 ^b ±0.53	24.78 ^c ±0.44

หมายเหตุ: แม่พิมพ์พลาสติกขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.50 เซนติเมตร โดยมีความสูงแตกต่างกัน ได้แก่ 0.40, 0.50 และ 0.60 เซนติเมตร และแม่พิมพ์พลาสติกขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.00 เซนติเมตร โดยมีความสูงแตกต่างกัน ได้แก่ 0.40 0.50 และ 0.60 เซนติเมตร ตัวเลขในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. การสำรวจปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำในข้าวแค้นแห้งของกลุ่มแม่บ้าน

2.1 การศึกษาปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของตัวอย่างข้าวแค้นแห้งจากกลุ่มแม่บ้านที่ผ่านการผึ่งแดด

2.1.1 ค่าปริมาณความชื้นภายหลังการผึ่งแดด

จากการสุ่มตรวจปริมาณความชื้นของข้าวแค้นที่ผลิตโดยกลุ่มแม่บ้านจำนวน 30 ตัวอย่างที่ได้การผลิตจำนวน 30 ครั้ง (ตัวอย่างข้าวแค้นแห้งผลิตในเดือนเมษายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2547) โดยวิธีการผึ่งแดดเพียงอย่างเดียว พบว่าข้าวแค้นของกลุ่มแม่บ้านมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.27-12.10 ดังตาราง 6 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 9.92 ± 1.11 และ จึงนำค่าปริมาณความชื้นดังกล่าวมาตั้งเป็นค่ามาตรฐานในการกำหนดช่วงความชื้นสุดท้ายหลังจากผ่านการอบแห้งข้าวแค้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน ค่าที่ได้กำหนดไว้คือ ค่าปริมาณความชื้น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5 10 และ 15

2.1.2 ค่าแอกติวิตีของน้ำภายหลังการผึ่งแดด

ตัวอย่างข้าวแค้นแห้งของกลุ่มแม่บ้านมีค่าแอกติวิตีของน้ำ (A_w) อยู่ในช่วง 0.56-0.67 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.61 ± 0.04 ดังตาราง 6 แสดงถึงผลการสำรวจปริมาณความชื้นและค่า A_w ของข้าวแค้นแห้งของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรลันทรายหลวงจำนวน 30 ตัวอย่างที่ได้การผลิตจำนวน 30 ครั้ง

จากข้อมูลเบื้องต้นของข้าวแค้นแห้งทำให้ทราบถึงปริมาณความชื้นและค่าแอกติวิตีของน้ำโดยปกติอาหารแห้งจะมีค่าแอกติวิตีของน้ำต่ำกว่า 0.70 จึงจะปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ (สุคนธ์ชื่น, 2546) ซึ่งข้าวแค้นแห้งของกลุ่มแม่บ้านมีปริมาณน้ำอิสระเพียง 0.56-0.67 แต่การเก็บรักษาไม่ทำให้ข้าวแค้นแห้งมีค่าแอกติวิตีของน้ำเพิ่มขึ้นนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นยิ่งกว่า โดยแม่บ้านเก็บในถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (polyethylene) ชนิดที่มีหูหิ้ว 2 ข้าง จำนวน 2 ชั้น และมีดปากถุงแบบหลวม ๆ ซึ่งอาจเป็นที่อยู่ของแมลงต่าง ๆ ได้ง่ายโดยเฉพาะมอดที่คอยกัดกินเมล็ดข้าวพร้อมกับวางไข่ รวมถึงข้าวแค้นแห้งมีสีที่ซีดลงเนื่องจากเก็บบนชั้นวางของที่แสงแดดสามารถส่องถึง การแก้ไขสามารถทำได้ด้วยการเก็บรักษาในถุงโพลิโพรพิลีนชนิดหนาและปิดผนึกปากถุงด้วยความร้อน เก็บในตู้ที่บแสงเพื่อป้องกันแมลงที่อาจเข้ามารบกวนและป้องกันการเกิดสีซีดของข้าวแค้นแห้ง เนื่องจากส่วนประกอบของข้าวแค้นมีน้ำแดงโมซึ่งประกอบด้วยแอนโทไซยานินที่ให้สีแดงและอาจซีดได้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา, 2545)

ตาราง 6 ปริมาณความชื้นและค่า A_w ของข้าวแตนแห้งของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรสันทรายหลวง

ตัวอย่างที่	ปริมาณ ความชื้น (%)	ค่าแอกติวิตี ของน้ำ	ตัวอย่างที่	ปริมาณ ความชื้น (%)	ค่าแอกติวิตี ของน้ำ
1	10.12	0.64	16	9.13	0.58
2	10.28	0.65	17	9.07	0.56
3	10.08	0.64	18	9.13	0.56
4	9.9	0.65	19	9.67	0.58
5	10.2	0.64	20	9.25	0.56
6	9.67	0.64	21	9.17	0.56
7	8.27	0.64	22	9.93	0.57
8	8.8	0.60	23	9.09	0.56
9	9.87	0.61	24	11.57	0.66
10	8.96	0.60	25	11.38	0.66
11	8.78	0.57	26	11.25	0.61
12	9.12	0.57	27	11.48	0.67
13	9.20	0.58	28	11.89	0.67
14	9.19	0.58	29	11.87	0.67
15	9.05	0.58	30	12.10	0.67

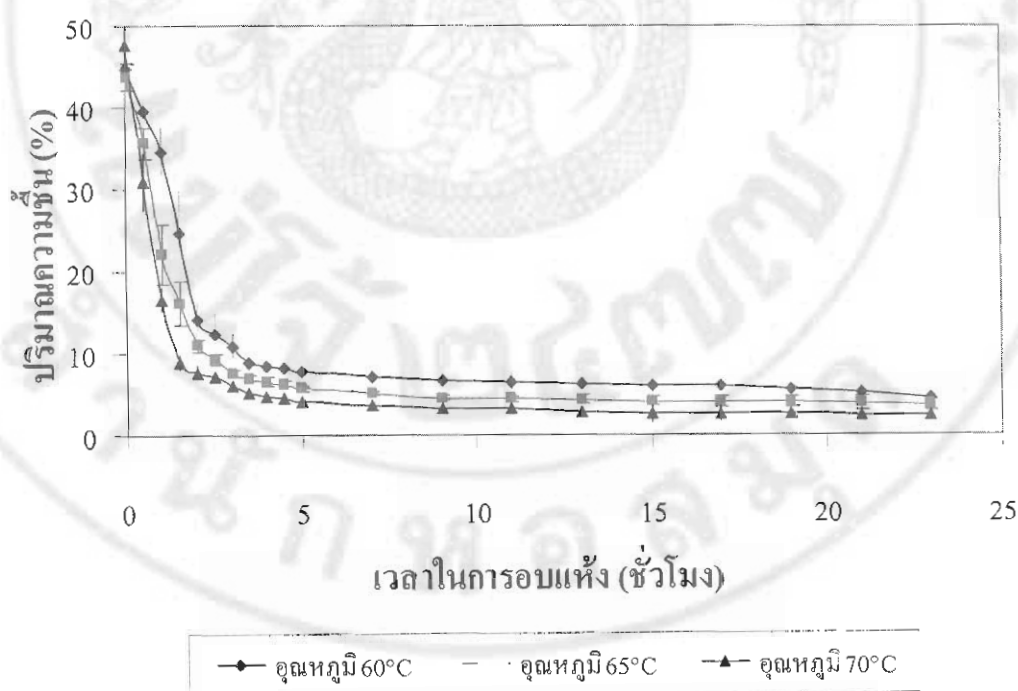
3. การศึกษากรรมวิธีการทำแห้งข้าวแตนด้วยตู้อบลมร้อน

3.1 การหาอัตราเร็วในการทำแห้งข้าวแตนด้วยตู้อบลมร้อน

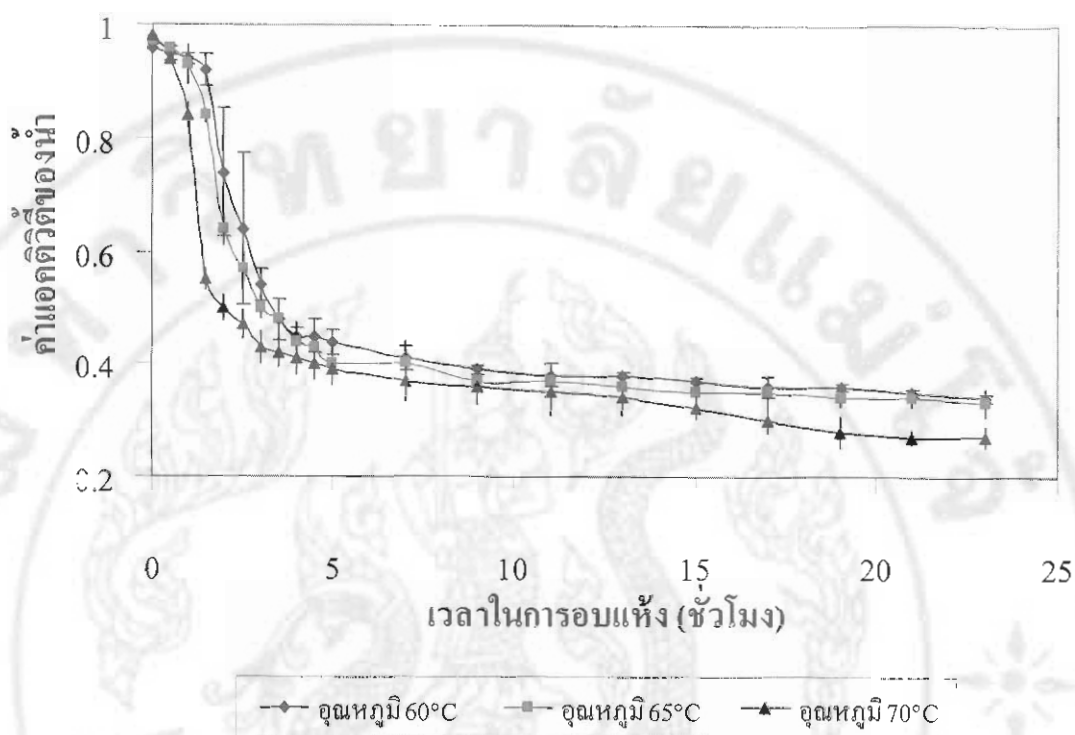
ในการศึกษาอัตราการทำแห้งข้าวแตนจำนวน 4 ชัน โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่มีขนาดความสูง×ความกว้าง×ความยาว เท่ากับ 2×1.5×1.5 เมตร ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวให้พลังงาน มีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มีตะแกรงสำหรับอบจำนวน 8 ชัน ความสามารถในการผลิต 1,152 ชัน สำหรับข้าวแตนขนาดใหญ่ที่มีความหนา 0.8 เซนติเมตร ที่ระดับความเร็วลม 7.36 ± 0.20 เมตร/วินาที ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วงร้อยละ 27-34 ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ จะได้อัตราเร็วในการทำแห้งของการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ดังภาพ 18 และ 19 ซึ่งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะให้อัตราเร็วในการทำแห้งสูงที่สุด และที่อุณหภูมิ 60 และ 65 องศาเซลเซียส จะให้อัตราเร็วในการทำแห้งลดลงตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากอาหารได้ดีกว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการกระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบแห้ง ช่วงอัตราการทำแห้งจึงลดลงด้วย (สุคนธ์ชื่น, 2540) จากภาพ 18 หากต้องการอบจนเหลือปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวแตนแห้ง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 พบว่าที่ระดับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 20.32 4.00 และ 2.50 ชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่ระดับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 7.30 2.18 และ 1.37 ชั่วโมง ตามลำดับ และระดับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 4.22 1.40 และ 1.03 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ทั้งนี้ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนวัตถุดิบที่ใช้อบและความชื้นสัมพัทธ์ในวันที่อบแห้งเป็นประการสำคัญด้วย

ภาพ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและปริมาณความชื้นของข้าวแตนภายหลังการอบแห้ง



ภาพ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและค่ากิจกรรมของน้ำของข้าวแตนภายหลังการอบแห้ง



3.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งและความชื้นที่เหลือก่อนทอดที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวแตนหลังทอด

หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส แต่ละอุณหภูมิให้ผลิตภัณฑ์เหลือความชื้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นร้อยละ 15.08 ± 0.36 10.54 ± 0.26 และ 5.56 ± 0.38 โดยมีค่า A_w เท่ากับ 0.84 ± 0.0201 0.63 ± 0.0314 และ 0.40 ± 0.0078 ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นร้อยละ 15.47 ± 0.26 10.36 ± 0.28 และ 5.53 ± 0.15 โดยมีค่า A_w เท่ากับ 0.84 ± 0.0144 0.58 ± 0.0179 และ 0.35 ± 0.0083 ตามลำดับ และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นร้อยละ 15.18 ± 0.16 9.98 ± 0.24 และ 5.33 ± 0.28 โดยมีค่า A_w เท่ากับ 0.85 ± 0.0116 0.57 ± 0.0212 และ 0.37 ± 0.0065 ตามลำดับ

จากนั้นนำข้าวแต่นที่อบที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ โดยเหลือความชื้นทั้ง 3 ระดับ ไปทอดด้วยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเมล็ดปาล์มที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 45 วินาที พบว่าได้สมบัติต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 สมบัติทางกายภาพของข้าวแต่นหลังการทอด

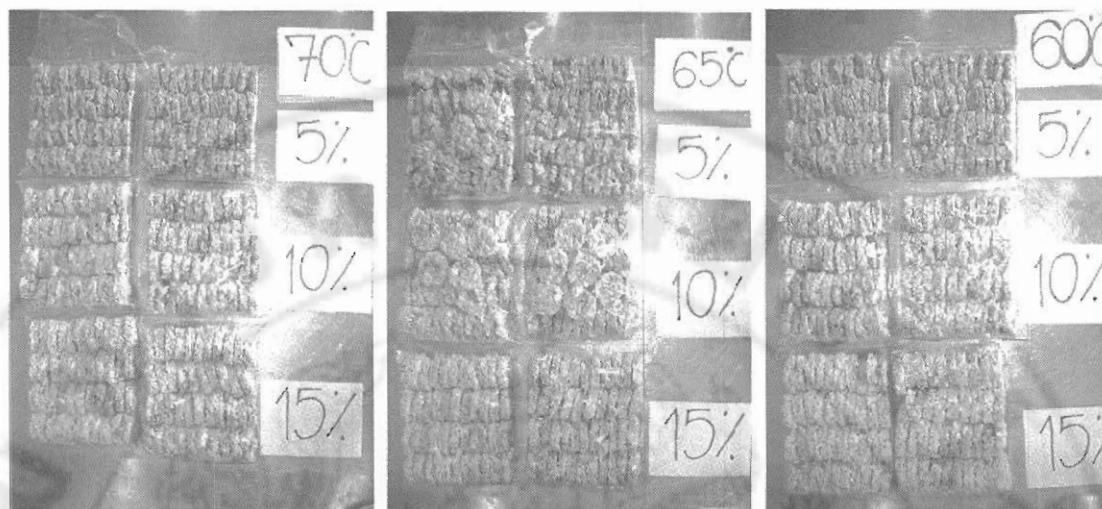
3.2.1.1 ค่าสี

ค่าสี คือ ค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่าสีในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Moreia *et al.*, 1999) ค่า L^* เป็นค่าความสว่างที่มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยค่า 0 แสดงว่าเป็นสีดำ และค่า 100 แสดงว่าเป็นสีขาว ค่า a^* เป็นค่าที่บอกความเป็นสีเขียว-สีแดง ค่า a^* มีค่าลบแสดงว่าเป็นสีเขียวและค่า a^* มีค่าบวกแสดงว่าเป็นแดง ค่า b^* เป็นค่าที่บอกความเป็นสีน้ำเงิน-สีเหลือง ค่า b^* มีค่าลบแสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน และค่า b^* มีค่าบวกแสดงว่าเป็นสีเหลือง (สุคนธ์ชื่นและวรรณวิบูลย์, 2546)

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งข้าวแต่นก่อนทอดมีผลต่อความแตกต่างของค่า L^* และค่า a^* ของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ค่า L^* สูงขึ้น ขณะที่ค่า a^* ลดลง แต่ค่า b^* คงที่ และปริมาณความชื้นก่อนทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า L^* , ค่า a^* และค่า b^* ของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยความชื้นลดลงทำให้ค่า L^* และค่า b^* ลดลงแต่ค่า a^* เพิ่มขึ้น ดังตาราง 7 ทั้งนี้เพราะทั้งอุณหภูมิและปริมาณความชื้นมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งที่มีผลต่อค่าสีที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจนคือค่า L^* และค่า b^* โดยค่า L^* ของตัวอย่างข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ เมื่อมีความชื้นลดลงค่า L^* จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า b^* มีแนวโน้มลดลงในทำนองเดียวกับค่า L^* ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่งผลให้ตัวอย่างข้าวแต่นมีสีคล้ำเนื่องจากค่า L^* และค่า b^* ลดลง ตัวอย่างข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 10 และตัวอย่างข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 10 พบว่าค่า L^* เท่ากับ 27.10 ± 0.56 และ 28.04 ± 1.86 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงปานกลางและมีค่า b^* เท่ากับ 4.98 ± 0.44 และ 4.92 ± 1.08 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าสูงสุด มีค่า a^* อยู่ในช่วง 4.46-5.91 พบว่าตัวอย่างข้าวแต่นมีความใกล้เคียงสีเหลืองทองมากที่สุด ดังตาราง 8 และภาพ 20

ภาพ 20 สีของข้าวแดงที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 ระดับ จนเหลือความชื้น 3 ระดับ



3.2.1.2 จำนวนชื้นที่แตกหัก

เป็นค่าจากการสังเกตและการตรวจนับจำนวนชื้นข้าวแดงภายหลังการทอด โดยดูจากการแตกหักของวงข้าวแดง มีการแตกหักมากกว่าร้อยละ 25 ของพื้นที่ทั้งหมดของแผ่นข้าวแดง

ปริมาณความชื้นมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าจำนวนชื้นที่แตกหักของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 7 ค่าจำนวนชื้นที่แตกหักมีผลมาจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนทอด ยิ่งเหลือปริมาณความชื้นก่อนทอดต่ำยิ่งเพิ่มการแตกหักของข้าวแดงให้เพิ่มขึ้นคือข้าวแดงที่เหลือความชื้นร้อยละ 15 10 และ 5 จะมีจำนวนชื้นที่แตกหักหลังทอดเท่ากับร้อยละ 4.74 ± 1.44 7.41 ± 1.69 และ 12.98 ± 1.58 ตามลำดับ เนื่องจากความชื้นในข้าวแดงเหลือน้อยทำให้การเกาะตัวของเม็ดข้าวต่ำลง

3.2.1.3 ค่าความแข็ง

ปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าความแข็งของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ เมื่อปริมาณความชื้นที่เหลือหลังการอบแห้งลดลงมีผลต่อค่าความแข็งลดลง เนื่องจากความชื้นทำให้ความกรอบในตัวอย่างข้าวแดงลดลงค่าความแข็งจึงเพิ่มขึ้น ดังตาราง 7

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าความแข็งของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นร่วมกับปริมาณความชื้นที่ลดลงส่งผลต่อค่าความแข็งของข้าวแต่นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลต่อการลดความชื้นในตัวอย่างให้ลดลงยิ่งตัวอย่างเหลือความชื้นน้อยเท่าไรส่งผลต่อการระเหยความชื้นออกจากตัวอย่างได้ง่ายเท่านั้นจากกระบวนการทอด ตัวอย่างข้าวแต่นจึงมีลักษณะเปราะและแตกหักได้ง่าย ค่าความแข็งจึงลดลง ตัวอย่างข้าวแต่นที่มีค่าแรงกดน้อยที่สุดคือ ข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 5 มีค่าเท่ากับ 4.58 ± 1.20 4.00 ± 1.39 และ 5.29 ± 1.22 นิวตัน ตามลำดับ ดังตาราง 8 เนื่องจากข้าวเม็ดยาวมีลักษณะไม่ค่อยพอง มีการเกาะตัวของเม็ดข้าวน้อย ตัวอย่างข้าวแต่นนี้จึงใช้แรงกดค่อนข้างน้อย ข้าวแต่นที่มีลักษณะกรอบพองดีที่สุดคือ ข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 10 มีค่าความแข็งเท่ากับ 6.85 ± 1.07 นิวตัน อย่างไรก็ตามค่าแรงกดที่ได้พบว่ามีความผันผวน เนื่องจากเม็ดข้าวในแต่ละชั้นมีการพองตัวไม่เท่ากันและตัวอย่างยังมีเนื้อสัมผัสที่ไม่เรียบ

3.2.1.4 ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ

ในการทอดอาหารสิ่งที่ควรระวังคือ การรอน้ำมันของอาหาร ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการเวียน ย่อยยากและได้รับพลังงานเกินกว่าที่ร่างกายต้องการ เนื่องจากไขมันให้พลังงานสูงมากถึง 9 กิโลแคลอรี/กรัม ปัจจุบันผู้บริโภคมักหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีไขมันสูง เนื่องจากมีผลต่อการเกิดโรคอ้วนและโรคอื่น ๆ ที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจล้มเหลว แต่ในอาหารทอดโดยทั่วไปมักหลีกเลี่ยงให้เกิดการรอน้ำมันไม่ได้แต่สามารถลดการรอน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้เท่านั้น

อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 7 โดยเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นการดูดซับน้ำมันจะลดลง เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการอบแห้งส่งผลต่อการเกิด case hardening เพิ่มขึ้นจึงดูดซับน้ำมันได้ลดลง ขณะที่ความชื้นหลังการอบแห้งลดลงมีผลต่อการดูดซับน้ำมันลดลง เนื่องจากการระเหยความชื้นออกจากตัวอย่างข้าวแต่นยิ่งเหลือความชื้นในปริมาณน้อยส่งผลต่อการเกิดรูพรุนภายในเนื้อข้าวแต่นได้น้อยลง ทำให้เกิดการแทนที่ของน้ำมันในโพรงอากาศในเนื้อข้าวแต่นในระหว่างการทอดได้น้อยลง การดูดซับน้ำมันจึงลดลง

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำมัน กล่าวคือเมื่อความชื้นในตัวอย่างข้าวแดงลดลงในทุกอุณหภูมิของการอบแห้ง การดูดซับน้ำมันของข้าวแดงจะลดลงเนื่องจากเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gamble และ Rice (1987) ที่ทำการศึกษากระบวนการทำแห้งที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันพบว่าอาหารที่ไม่ผ่านการทำแห้งจะดูดซับน้ำมันได้มากกว่าอาหารที่ผ่านการทำแห้งก่อนการทอด และปริมาณการดูดซับน้ำมันได้น้อยที่สุด คือ ตัวอย่างข้าวแดงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.14 ± 0.90 7.16 ± 1.00 และ 7.17 ± 0.79 ตามลำดับ ดังตาราง 8

3.2.1.5 ปริมาตรที่ขยาย

ในการขยายปริมาตรของตัวอย่างข้าวแดงเกิดขึ้นจากความร้อนในกระบวนการทอดทำให้ความชื้นภายในตัวอย่างระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็วจึงดันโครงสร้างทำให้เกิดช่องว่างภายในเกิดรูพรุนภายในเซลล์อาหารและทำให้เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันของการขยายปริมาตรของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 7 โดยปริมาณความชื้นที่เหลือหลังการอบแห้งลดลงมีผลต่อการขยายปริมาตรลดลง เนื่องจากขณะที่ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่างจะดันโครงสร้างให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นเมื่อเหลือความชื้นในตัวอย่างก่อนการทอดน้อยส่งผลต่อการขยายปริมาตรได้น้อยลง ขณะที่อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการขยายปริมาตรคือ ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60 และ 70 องศาเซลเซียส สามารถขยายปริมาตรได้มากกว่าอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งอธิบายได้ยากเนื่องจากตัวอย่างข้าวแดงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่เรียบและมีความขรุขระของเม็ดข้าวที่เกาะกันเป็นก้อนและลักษณะของเม็ดข้าวแต่ละเมล็ดมีปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ไม่เท่ากันจึงส่งผลต่อการขยายปริมาตรที่แตกต่างกัน

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าปริมาตรที่ขยายของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบว่า การขยายปริมาตรของข้าวแดงลดลงตามปริมาณความชื้นที่ลดลงในทุกอุณหภูมิของการอบแห้ง เหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวแล้วข้างต้น ค่าปริมาตรที่ขยายสูงที่สุดคือ ตัวอย่างข้าวแดงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 15 มีค่าเท่ากับร้อยละ

548±16 สามารถพองตัวได้ดีที่สุดเนื่องจากเหลือความชื้นในตัวอย่างค่อนข้างสูงพบว่า ปริมาตรจะขยายได้สูงสุดถึง 4-5 เท่า ของปริมาตรเดิมเป็นข้าวแตนที่มีความชื้นก่อนทอดร้อยละ 15 ในขณะที่ตัวอย่างข้าวแตนที่มีปริมาณความชื้นก่อนทอดต่ำสุดถึงร้อยละ 5 พบว่าปริมาตรที่ขยายได้ต่ำสุดเพียง 0.5-1 เท่า ส่วนข้าวแตนที่เหลือความชื้นก่อนทอดร้อยละ 10 มีการขยายปริมาตรปานกลาง แต่การขยายตัวเกิดได้มากเท่าไรยังทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันได้สูงขึ้น

หากพิจารณาสมบัติทางกายภาพจะพบว่าระดับอุณหภูมิในการอบแห้งและระดับความชื้นที่เหลือในข้าวแตนพบว่าตัวอย่างข้าวแตนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสและเหลือปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งร้อยละ 10 อยู่ในช่วงที่ระดับต่ำจึงปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ (สุคนธ์ชื่น, 2546) ค่า L^* มีค่าเท่ากับ 27.10 ± 0.56 และค่า b^* เท่ากับ 4.98 ± 0.44 มีลักษณะเป็นสีเหลืองทอง ในขณะที่ค่าแรงกดแตกอยู่ระดับ 6.85 ± 1.07 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างในสิ่งทดลองนี้มีความกรอบ ไม่เหนียว และมีปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับเท่ากับร้อยละ 15.19 ± 0.71 ซึ่งอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ ขณะที่การขยายปริมาตรมีค่าเท่ากับร้อยละ 266 ± 18 ดังตาราง 8 เป็นสิ่งทดลองที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมที่สุด

ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแต่นหลังทอดเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก

ปัจจัย	ค่าสี		จำนวนชั้น ที่แตกหัก (%)	ค่าความแข็ง (N)	ปริมาณน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (%)	ปริมาณที่ขยาย (%)
	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)				
อุณหภูมิอบแห้ง (T)						
60°C (T ₁)	24.84 ^b ±4.76	6.42 ^a ±2.15	7.30 ^{ns} ±3.48	8.40 ^{ns} ±3.33	14.67 ^a ±7.12	297.68 ^a ±175.16
65°C (T ₂)	24.44 ^b ±4.05	6.55 ^a ±2.17	8.72 ^{ns} ±4.37	7.75 ^{ns} ±3.78	14.82 ^a ±6.37	283.07 ^b ±171.51
70°C (T ₃)	25.93 ^a ±4.74	5.97 ^b ±2.25	9.10 ^{ns} ±4.00	8.01 ^{ns} ±2.30	13.42 ^b ±4.70	296.91 ^a ±184.17
ปริมาณความชื้น (M)						
15% (M ₁)	29.12 ^a ±1.59	3.97 ^c ±0.68	4.74 ^c ±1.44	10.47 ^a ±2.09	21.15 ^a ±3.85	498.12 ^a ±43.85
10% (M ₂)	26.90 ^b ±1.75	6.00 ^b ±0.77	7.41 ^b ±1.69	9.06 ^b ±2.34	14.60 ^b ±1.39	288.88 ^b ±74.05
5% (M ₃)	19.19 ^c ±0.97	8.97 ^a ±0.67	12.98 ^a ±1.58	4.63 ^c ±1.34	7.16 ^c ±0.79	90.67 ^c ±31.38

หมายเหตุ: ค่าในช่องสคริปต์เดียวกันที่เป็นผลมาจากอุณหภูมิอบแห้งระดับต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่าในช่องสคริปต์เดียวกันที่เป็นผลมาจากปริมาณความชื้นระดับต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 8 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแฉ่นหลังทอดที่แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ จนเหลือความชื้นก่อนทอด 3 ระดับ

ปัจจัย	ค่าสี			จำนวนชิ้น ที่แตกหัก (%)	ค่าความแข็ง (N)	ปริมาณน้ำมันที่ ถูกดูดซับ (%)	ปริมาณที่ ขยาย (%)
	L*	a*	b*				
T ₁ × M ₁	30.01 ^a ±0.92	4.06 ^{ns} ±0.51	4.21 ^b ±0.47	5.88 ^{ns} ±0.77	9.74 ^{bc} ±1.80	23.69 ^a ±1.35	450 ^c ±19
T ₁ × M ₂	25.55 ^c ±1.61	6.19 ^{ns} ±0.63	4.33 ^b ±0.43	7.28 ^{ns} ±1.49	10.86 ^b ±2.48	13.17 ^c ±1.26	385 ^d ±16
T ₁ × M ₃	18.96 ^d ±0.84	9.01 ^{ns} ±0.68	3.06 ^c ±0.60	13.02 ^{ns} ±1.77	4.58 ^c ±1.20	7.14 ^f ±0.90	58 ⁱ ±14
T ₂ × M ₁	27.34 ^b ±0.73	4.46 ^{ns} ±0.67	4.24 ^b ±0.57	4.73 ^{ns} ±1.13	12.40 ^a ±1.54	22.12 ^b ±1.35	497 ^b ±17
T ₂ × M ₂	27.10 ^b ±0.56	5.89 ^{ns} ±0.68	4.98 ^a ±0.44	5.67 ^{ns} ±2.01	6.85 ^d ±1.07	15.19 ^d ±7.16	266 ^e ±18
T ₂ × M ₃	18.88 ^d ±0.77	9.30 ^{ns} ±0.74	1.52 ^d ±0.30	13.58 ^{ns} ±1.74	4.00 ^c ±1.39	7.16 ^f ±1.00	87 ^h ±7
T ₃ × M ₁	30.02 ^a ±1.24	3.40 ^{ns} ±0.36	3.38 ^c ±0.20	3.61 ^{ns} ±1.46	9.27 ^c ±1.44	17.63 ^c ±0.83	548 ^d ±16
T ₃ × M ₂	28.04 ^b ±1.86	5.91 ^{ns} ±1.00	4.92 ^a ±1.08	5.95 ^{ns} ±1.32	9.46 ^{bc} ±1.08	15.45 ^d ±0.85	216 ^f ±14
T ₃ × M ₃	19.74 ^d ±1.10	8.60 ^{ns} ±0.38	3.32 ^c ±0.66	12.35 ^{ns} ±1.20	5.29 ^c ±1.22	7.17 ^f ±0.79	128 ^g ±12

หมายเหตุ: ตัวเลขในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p > 0.05$)

T₁ = อุณหภูมิในการอบแห้ง 60°C

T₂ = อุณหภูมิในการอบแห้ง 65 °C

T₃ = อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 °C

M₁ = ปริมาณความชื้นที่เหลือร้อยละ 15

M₂ = ปริมาณความชื้นที่เหลือร้อยละ 10

M₃ = ปริมาณความชื้นที่เหลือร้อยละ 5

3.2.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่เกิดขึ้นหลังการทอดที่เป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งข้าวแตนและความชื้นของข้าวแตนก่อนทอด

3.2.2.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA)

ในการตรวจสอบหาปริมาณ FFA เป็นการตรวจสอบหาการสลายตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอลซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในน้ำมันชนิดนั้นสลายตัวจากปฏิกิริยา hydrolytic rancidity ที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอรอลด้วยความร้อนและความชื้นที่อยู่ในตัวอาหาร หากมีค่าสูงแสดงว่าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระมากทำให้น้ำมันง่ายต่อการเกิดฟองบนผิวน้ำมันในขณะทอดและทำให้เกิดควันและจุดติดไฟมีค่าลดลงและมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ในการทอดไม่ควรมีปริมาณ FFA สูงเกินร้อยละ 2 (Chamber, 2000)

อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ของน้ำมันหลังการทอดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นความชื้นที่เหลือในตัวอย่างข้าวแตนก่อนทอดลดลง เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งส่งผลต่อการระเหยความชื้นออกไปได้มาก เหลือความชื้นในตัวอย่างน้อยจึงส่งผลต่อการเกิดกรดไขมันอิสระได้น้อยลง ขณะที่ปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งความชื้นที่อยู่ในตัวอาหารกระตุ้นให้เกิดการแตกพันธะของไตรกลีเซอรอลกลายเป็นกรดไขมันอิสระได้มากขึ้น ยิ่งเหลือความชื้นก่อนทอดมากเท่าใดส่งผลต่อการเกิด FFA ได้มากเท่านั้น ดังตาราง 9

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อความแตกต่างในการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ของน้ำมันที่ใช้หลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งที่ลดลงในทุกอุณหภูมิของการอบแห้งส่งผลต่อการเกิดปริมาณ FFA ลดลง เนื่องจากเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว ตัวอย่างข้าวแตนที่อบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 15 จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันที่ใช้ทอดมากที่สุด เนื่องจากน้ำในข้าวแตนมีมากจึงถูกปลดปล่อยมาทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ดีกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ขณะที่ตัวอย่างข้าวแตนที่อบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 5 จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันที่ใช้ทอดต่ำที่สุด ดังตาราง 10 แต่ทุกตัวอย่างก็ยังมีค่าต่ำมาก คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.0071-0.0024 เมื่อผ่านการทอดนาน 2

ข้าวโมง โดยทอดติดต่อกันและไม่เติมน้ำมันใหม่ในขณะทอด เพราะโดยปกติในน้ำมันพืชเมื่อผ่านการทำให้บริสุทธิ์จะมี FFA ไม่เกินร้อยละ 0.05 (Chamber, 2000) มาตรฐานของน้ำมันที่ใช้แล้วมีค่า FFA ไม่เกินร้อยละ 5 (Chamber, 2000) และในที่นี้ได้รายงานในรูปของกรดคลอริก เพราะน้ำมันที่ใช้ทอดเป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันจากเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าว ซึ่งปกติในน้ำมันเมล็ดปาล์มมีกรดคลอริกสูงถึงร้อยละ 41.0-55.0 ในขณะที่ในน้ำมันมะพร้าว มีกรดคลอริกถึงร้อยละ 40.0-54.0 (Richard และ Brien, 1988)

3.2.2.2 ปริมาณคอนจูเกตไดอีน (Conjugated diene, CD)

สารประกอบพวก CD เป็นสารที่ไม่พบในธรรมชาติแต่จะเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันเกิดการออกซิไดซ์ โดยเป็นสาร intermediate ของปฏิกิริยาก่อนการเกิดเพอรอกไซด์ (Wrolstad *et al.*, 1998)

อุณหภูมิในการอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มปริมาณ CD ในน้ำมันหลังการทอด โดยอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า CD ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิในการอบในระดับสูงส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากขึ้น สารจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นสารต้านออกซิเดชันจึงทำให้ปริมาณ CD ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงในข้าวแต่น รวมถึงการเปลี่ยนรูปแบบของ oxidation product ไปเป็นรูปแบบอื่น ค่า CD จึงมีแนวโน้มลดลง

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มปริมาณ CD ในน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหลังการทอด ดังตาราง 10 โดยค่า CD ในน้ำมันหลังทอดที่เกิดขึ้นของทุกอุณหภูมิในการอบแห้งและทุกระดับความชื้นก่อนทอดมีแนวโน้มที่ผันผวน เนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบของปฏิกิริยาออกซิเดชันไปเป็นรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า CD ในน้ำมันหลังทอดอยู่ในช่วง 3.54-15.03 ไมโครโมล/กรัม โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันที่ใช้ทอดในส่วนของการข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 5 มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันหลังทอดสูงที่สุด มีผลต่อการเกิดไฮโดรเพอรอกไซด์ได้มากที่สุด ในขณะที่น้ำมันที่ผ่านการทอดข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 5 และน้ำมันที่ผ่านการทอดข้าวแต่นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 10 ให้ค่า CD ในน้ำมันหลังทอดต่ำที่สุด เนื่องจากการอบแห้งข้าวแต่นจนเหลือความชื้นต่ำจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการอบนานสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากเช่นเดียวกัน

3.2.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV)

ปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหลังการทอด โดยปริมาณความชื้นที่ลดลงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหลังการทอด สูงขึ้น ดังข้อมูลในตาราง 9 ซึ่งขัดแย้งกับที่กล่าวไว้ใน Fenmena (1996) อาจเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสลายตัวกลายเป็นสารอื่นในอัตราเร็วกว่าในสถานะที่มีความชื้นต่ำ โดยการทอดในการทดลองนี้เป็นการทอดซ้ำติดต่อกันนาน 2 ชั่วโมง

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีความแตกต่างกันของการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 10 โดยการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังทอดที่เกิดขึ้นของทุกอุณหภูมิในการอบแห้งและทุกระดับความชื้นก่อนทอดมีแนวโน้มที่ผันผวน เพราะปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์จัดเป็น primary oxidation product ที่ไม่มีสีและกลิ่นแต่สามารถสลายตัวไปเป็นสารให้เกิดกลิ่นหืนอื่น ๆ ได้อย่างรวดเร็วและยากต่อการตรวจสอบ อัตราการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดสูงสุดและค่อย ๆ ลดลงตามลำดับในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การทอดเป็นเวลานานยิ่งทำให้ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนเป็นสารอื่นได้มากยิ่งขึ้น และในการตรวจสอบอาจจะกระทำในช่วงที่ผ่านจุดสูงสุดและลดลงแล้ว ตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอดข้าวแต๋นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 10 มีการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังทอดสูงที่สุดถึง 60.26 ± 8.82 มิลลิสมมูลย์ต่อกิโลกรัม ในขณะที่น้ำมันที่ผ่านการทอดข้าวแต๋นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส โดยเหลือความชื้นร้อยละ 15 กลับให้ค่าต่ำสุดเพียง 32.48 ± 1.13 มิลลิสมมูลย์ต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับอุณหภูมิในการอบแห้งเดียวกัน การกำหนดค่า PV ในน้ำมันใหม่ที่ใช้ปรุงอาหาร ควรมีค่าน้อยกว่า 10 มิลลิสมมูลย์ต่อกิโลกรัม ในขณะที่น้ำมันที่มีกลิ่นหืนจะมีค่า PV ประมาณ 20-40 มิลลิสมมูลย์ต่อกิโลกรัม (ปราณี, 2542)

3.2.2.4 ค่าพารา-อะนิซิน (p-Anisidine value, p-AV)

ในการตรวจสอบค่า p-AV เป็นการหาปริมาณอัลดีไฮด์ทั้งชนิด 2-alkenals และ 2, 4-dienals ที่เพิ่มขึ้น (AOCS, 1997) ซึ่งเป็น secondary oxidation product

อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอด ดังข้อมูล

ในตาราง 9 โดยอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ได้มากขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังทอดสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งที่ลดลงส่งผลต่อการเพิ่มค่า p-AV ในน้ำมันหลังทอดสูงขึ้น เนื่องจากขณะที่ความชื้นในตัวอย่างลดลง จะมีการเพิ่มค่า PV ในน้ำมันหลังทอดสูงขึ้น จึงสามารถแตกตัวเป็นอัลดีไฮด์ได้เพิ่มขึ้น

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีความแตกต่างกันของการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังทอดที่เพิ่มขึ้นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 10 โดยการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังทอดที่เกิดขึ้นของทุกอุณหภูมิในการอบแห้งและทุกระดับความชื้นก่อนทอดมีแนวโน้มที่ผันผวน เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวมาแล้วข้างต้น แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำ แตนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 65 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 10 จะมีการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ต่ำกว่าซ้ำแตนที่มีความชื้นร้อยละ 5 และ 15 ที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 29.40 ± 3.33 และ 38.07 ± 1.09 ในขณะที่ยังเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ที่ในระดับขึ้นสูงสุดเป็นของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำแตนที่ผ่านการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 15 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 45.89 ± 1.78

3.2.2.5 ค่าทิบาร์ส (Thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)

การวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS เป็นการหาปริมาณอัลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับ Thiobarbituric acid (TBA)

อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า TBARS ของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ของน้ำมันหลังทอดน้อยที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีการระเหยอัลดีไฮด์ออกจากน้ำมัน และปริมาณความชื้นที่เหลือในซ้ำแตนก่อนทอดร้อยละ 10 มีการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังทอดน้อยที่สุด เนื่องมาจากผลของการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์และการเปลี่ยนรูปแบบของ oxidation product มีปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัย เช่น สารที่เกิดขึ้นในขณะทอดซึ่งบางชนิดเป็นสารต้านออกซิเดชัน ความหนืดของน้ำมันจะสูงขึ้นหากทอดตัวอย่างที่มีความชื้นสูงและใช้น้ำมันในการทอดซ้ำ ซึ่งทำให้อัลดีไฮด์ระเหยได้ลดลง การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันที่ทอดซ้ำแตนที่มีความชื้นร้อยละ 15 มีค่าสูงกว่าชนิดที่มีความชื้นร้อยละ 10 ส่วนน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำแตนที่มีความชื้นร้อยละ 5

จะมีการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS สูงกว่าชนิดที่มีความชื้นร้อยละ 10 เพราะแตกตัวจากไฮโดรเปอร์ออกไซด์

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า TBARS ของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 10 โดยตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอดข้าวแตนทุกอุณหภูมิในการอบแห้งจนเหลือความชื้นร้อยละ 10 มีการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ต่ำสุด เนื่องจากเหตุผลดังที่กล่าวแล้ว

3.2.2.6 ปริมาณสารคาร์บอนิล (Carbonyl Compounds, CC)

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ไม่พึงประสงค์ของน้ำมันมีความสัมพันธ์กับสารประกอบคาร์บอนิลที่มาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเทอร์มอลออกซิเดชันของน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร สารประกอบคาร์บอนิลมีผลกระทบอย่างมากต่อกลิ่นรสของอาหารเมื่อต้องทำการเปรียบเทียบกลิ่นรสที่ต้องรับรู้ได้ในอาหาร โดยมากมาจากไฮโดรคาร์บอน ฟูแรน แอลกอฮอล์ และอัลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารหลักที่ทำให้สารที่ระเหยได้ซึ่งทำให้กลิ่นรสที่ดีในอาหารสูญเสียไป ดังนั้นการตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหรือไขมันในอาหารจะถูกวัดจากค่า CC

อุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ CC ของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CC ในน้ำมันหลังทอดต่ำลง เนื่องจากผลของการอบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชันเกิดเพิ่มขึ้นจึงทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ CC ที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีค่าต่ำลง และปริมาณความชื้นที่เหลือร้อยละ 10 มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CC ของน้ำมันหลังทอดน้อยที่สุด ดังเหตุผลที่คล้ายคลึงกับที่อธิบายในค่า TBARS

อิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นหลังการอบแห้งมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CC ของน้ำมันหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 10 โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งข้าวแตนสูงขึ้นการเพิ่มขึ้นของค่า CC ในน้ำมันหลังทอดสูงขึ้น และความชื้นข้าวแตนก่อนทอดสูงขึ้นมีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า CC ในน้ำมันหลังทอดสูงขึ้นด้วย

ดังนั้นในการคัดเลือกอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแตนนั้นสามารถเลือกได้ที่ระดับความชื้นร้อยละ 10 เนื่องจากที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 เมื่อผ่านระยะเวลาในการเก็บรักษาเพียง 2 วันที่ระดับอุณหภูมิห้อง สังเกตได้ว่ามีเชื้อราเจริญอยู่บนหน้า

ข้าวแตนแห้งเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถเก็บข้าวแตนแห้งที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 ที่อุณหภูมิห้องได้ เนื่องจากปริมาณความชื้นที่มีมากเกินไปในข้าวแตนแห้งจึงเป็นเหตุให้เชื้อราเจริญได้อย่างรวดเร็ว มีปริมาณการดูดซับน้ำมันมากที่สุดถึง 23.69 ± 1.35 เปอร์เซ็นต์ มีสีเหลืองซีด โดยมีค่า L^* สูงถึง 30.02 ± 1.24 มีค่า a^* เท่ากับ 3.40 ± 0.36 และมีค่า b^* เท่ากับ 3.38 ± 0.20 และมีความแข็งสูงถึง 12.40 ± 1.54 นิวตัน ซึ่งค่อนข้างแข็งเนื่องจากต้องใช้แรงกดมากที่สุดในการทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออก ส่วนข้าวแตนที่มีความชื้นร้อยละ 5 นั้นมีสีค่อนข้างคล้ำออกสีแดงอิฐ โดยมีค่า L^* เพียง 18.88 ± 0.77 มีค่า a^* สูงถึง 9.30 ± 0.74 และมีค่า b^* เพียง 1.52 ± 0.30 มีปริมาณชื้นที่แตกหักสูงถึง 13.58 ± 1.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ชื้นข้าวแตนแตกหักมากที่สุด ส่วนระดับอุณหภูมิในการอบแห้งทั้ง 3 ระดับนั้นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มในการใช้แรงกดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกน้อยที่สุด (กรอบมากที่สุด) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิปัจจัยเดียวจะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่หากพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 65 องศาเซลเซียส โดยเหลือความชื้นร้อยละ 10 จะพบว่าข้าวแตนมีความกรอบดี ดูดซับน้ำมันได้น้อยและมีสีไม่คล้ำ มีค่าความแข็ง 6.85 ± 1.07 นิวตัน และมีค่า L^* เท่ากับ 27.10 ± 0.56 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีที่ดี ส่วนข้าวแตนอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 70 มิลลิลิตรของออกซิเจนต่อ กิโลกรัมของไขมัน ที่ความชื้นร้อยละ 5 มีค่าความแข็ง 4.00 ± 1.39 และ 5.29 ± 1.22 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความกรอบที่น้อยที่สุด โดยที่ค่า L^* อยู่ที่ 18.88 ± 0.77 และ 19.74 ± 1.10 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำ

ส่วนสมบัติทางเคมีที่ได้เป็นการตรวจสอบน้ำมันที่ใช้ทอดข้าวแตนหลังจากผ่านการทอดนาน 2 ชั่วโมงติดต่อกัน เพื่อตรวจสอบถึงการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด ในกรณีนี้น้ำมันที่ใช้ทอดข้าวแตนที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส โดยเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 10 พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ มีค่าคอนจูเกตไดอินต่ำซึ่งเป็นสารเริ่มต้นจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ รวมทั้งค่าพารา-อะนิซินินและค่าทีบาร์สต่ำ

ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยของการเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังการทอดข้าวแต่นีเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก

ปัจจัย	ปริมาณ FFA (กรดลอริก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)	ปริมาณ CC ($\mu\text{mol/g}$)
อุณหภูมิอบแห้ง (T)						
60°C (T ₁)	0.0051 ^a ±0.0017	11.10 ^a ±7.55	42.85 ^{ns} ±9.71	38.58 ^b ±7.37	23.62 ^a ±9.81	1.33 ^a ±0.53
65°C (T ₂)	0.0038 ^b ±0.0015	6.88 ^b ±1.99	46.09 ^{ns} ±13.79	36.99 ^b ±4.05	13.55 ^c ±7.69	1.24 ^a ±0.71
70°C (T ₃)	0.0035 ^c ±0.0013	6.28 ^b ±2.50	40.95 ^{ns} ±4.84	42.31 ^a ±5.53	16.85 ^b ±5.00	0.89 ^b ±0.29
ปริมาณความชื้น (M)						
15% (M ₁)	0.0059 ^a ±0.0010	8.68 ^{ns} ±4.30	37.26 ^b ±7.87	39.37 ^b ±5.87	21.40 ^a ±9.32	1.26 ^a ±0.40
10% (M ₂)	0.0040 ^b ±0.0008	7.98 ^{ns} ±1.80	46.55 ^a ±12.14	36.92 ^c ±6.21	9.90 ^b ±4.38	0.95 ^b ±0.67
5 % (M ₃)	0.0025 ^c ±0.0006	7.60 ^{ns} ±7.71	46.09 ^a ±7.38	41.61 ^a ±5.69	22.71 ^a ±5.02	1.24 ^a ±0.56

หมายเหตุ: ค่าในช่องสควมที่เดียวกันที่เป็นผลมาจากอุณหภูมิอบแห้งระดับต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และค่าในช่องสควมที่เดียวกันที่เป็นผลมาจากปริมาณความชื้นระดับต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 10 การเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังการทอดจำวนเตนที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ 3 ระดับ จนเหลือความชื้นก่อนทอด 3 ระดับ

ปัจจัย	ปริมาณ FFA (กรดลอริก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)	ปริมาณ CC ($\mu\text{mol/g}$)
$T_1 \times M_1$	$0.0071^a \pm 0.0005$	$12.06^{ab} \pm 1.27$	$41.80^{bc} \pm 10.78$	$40.47^{bc} \pm 0.78$	$32.30^a \pm 2.12$	$1.34^b \pm 0.37$
$T_1 \times M_2$	$0.0050^b \pm 0.0004$	$6.20^c \pm 0.86$	$36.30^{cd} \pm 7.20$	$29.40^d \pm 3.33$	$11.45^c \pm 2.16$	$0.40^f \pm 0.07$
$T_1 \times M_3$	$0.0032^c \pm 0.0002$	$15.03^a \pm 1.26$	$50.47^b \pm 5.45$	$45.89^a \pm 1.78$	$27.11^b \pm 5.96$	$1.97^a \pm 0.30$
$T_2 \times M_1$	$0.0058^b \pm 0.0003$	$6.73^{bc} \pm 0.87$	$32.48^d \pm 1.13$	$32.18^f \pm 2.69$	$13.74^{de} \pm 2.69$	$1.20^{bc} \pm 0.64$
$T_2 \times M_2$	$0.0033^{de} \pm 0.0003$	$8.54^{bc} \pm 2.21$	$60.26^a \pm 8.82$	$38.07^c \pm 1.09$	$4.65^f \pm 1.50$	$1.87^a \pm 0.06$
$T_2 \times M_3$	$0.0024^f \pm 0.0003$	$5.37^c \pm 1.36$	$45.17^{bc} \pm 10.69$	$40.73^{bc} \pm 1.23$	$22.25^c \pm 2.42$	$0.94^{cd} \pm 0.09$
$T_3 \times M_1$	$0.0050^c \pm 0.0004$	$7.24^{bc} \pm 1.39$	$37.14^{cd} \pm 6.71$	$45.45^a \pm 1.18$	$18.15^{cd} \pm 7.61$	$1.24^{bc} \pm 0.02$
$T_3 \times M_2$	$0.0037^d \pm 0.0003$	$8.07^{bc} \pm 1.33$	$43.09^{bc} \pm 2.30$	$43.28^{ab} \pm 0.97$	$13.62^{de} \pm 2.43$	$0.59^{ef} \pm 0.06$
$T_3 \times M_3$	$0.0020^e \pm 0.0003$	$3.54^c \pm 1.88$	$42.63^{bc} \pm 1.69$	$38.21^c \pm 8.28$	$18.78^c \pm 1.44$	$0.83^{de} \pm 0.17$

หมายเหตุ: ตัวเลขในช่องสควมได้ยวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

T_1 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 60°C

T_2 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 65 °C

T_3 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 °C

M_1 = ปริมาณความชื้นที่เหลือร้อยละ 15

M_2 = ปริมาณความชื้นที่เหลือร้อยละ 10

M_3 = ปริมาณความชื้นที่เหลือร้อยละ 5

4. การศึกษาชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดที่มีผลต่อข้าวแตน

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวแตนแห้งก่อนทอด

4.1.1 ค่าปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ

ปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวแตนแห้งของกลุ่มแม่บ้านฯ ที่ผ่านการผึ่งแดด 2 วันเป็นตัวอย่างควบคุมจำนวน 2 ตัวอย่างมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.00 และ 10.12 โดยมีค่าแอกติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.64 และ 0.65 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างข้าวแตนแห้งที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 3.5-4 ชั่วโมงจำนวน 2 ตัวอย่างเช่นเดียวกันมีค่าเท่ากับร้อยละ 9.67 และ 10.84 โดยมีค่าแอกติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.59 และ 0.68 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างตัวอย่างข้าวแตนที่ได้จากกลุ่มแม่บ้านและข้าวแตนที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนตามวิธีที่เหมาะสมในตอนที่ 3

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวแตนหลังทอด

4.2.1 ค่าสี

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อความแตกต่างกันของค่า L^* a^* และ b^* ของข้าวแตนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 11 โดยน้ำมันผสมทำให้ค่า L^* a^* และ b^* ของข้าวแตนสูงกว่าชนิดที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน เนื่องจากในน้ำมันปาล์มโอเลอินมีสารคาโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งเป็นสารสีส้มอยู่ก่อนข้างสูงเมื่อน้ำมันปาล์มโอเลอินได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์มาแล้วก็ตาม ขณะที่ค่า L^* และ b^* ของข้าวแตนจะลดลงตามเวลาในการทอดที่เพิ่มขึ้น แต่ค่า a^* ของข้าวแตนจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการทอดที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิการทอด 200 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ได้ค่า L^* a^* และ b^* ของข้าวแตนสูงที่สุด เนื่องจากการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูงและเวลาในการทอดนานส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในข้าวแตน โดยเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเกิดได้สูงขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นและมีความชื้นลดลง

อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอด ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอด และอุณหภูมิและเวลาในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า L^* a^* และ b^* ของข้าวแตนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 12 โดยชนิด

ของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอด พบว่าการใช้น้ำมันผสมในการทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ค่า L^* ของข้าวแตนลดลง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินทอดอุณหภูมิสูงขึ้น แนวโน้มของค่า L^* ในข้าวแตนก็ลดลงเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อเพิ่มเวลาในการทอดในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด มีผลทำให้ค่า L^* ลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้นและเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นค่า L^* จะลดลง เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในข้าวแตนเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำมันปาล์มโอเลอินมีจุดเกิดควันสูงกว่าน้ำมันผสมจึงมีค่า L^* ของข้าวแตนลดลงน้อยกว่าชนิดที่ใช้น้ำมันผสมทอด

เมื่อพิจารณาอิทธิพลระหว่าง 2 ปัจจัยที่ผลต่อค่า a^* พบว่า ข้าวแตนที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสมเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีแนวโน้มของค่า a^* ลดลง และเมื่อใช้อุณหภูมิเดียวกันค่า a^* จะมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันผสมเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน และพบว่าเมื่อทอดเป็นเวลานานขึ้นในน้ำมันทั้ง 2 ชนิดจะทำให้ค่า a^* ของข้าวแตนเพิ่มขึ้น ขณะที่ทำการทอดในเวลาเดียวกัน แต่หากเปลี่ยนน้ำมันผสมเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินจะทำให้ค่า a^* ของข้าวแตนลดลง

หากพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยที่มีต่อค่า b^* พบว่า การทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นของน้ำมันทั้ง 2 ชนิดจะทำให้ค่า b^* ลดลง แต่ทุกอุณหภูมิน้ำมันผสมจะให้ค่า b^* สูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และพบว่าในน้ำมันทั้ง 2 ชนิดเมื่อทอดเป็นเวลานานขึ้นจะทำให้ได้ค่า b^* ลดลง นอกจากนี้พบว่าทุกเวลาที่ใช้ในการทอดข้าวแตนน้ำมันผสมจะให้ค่า b^* สูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ทั้งชนิดน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า L^* , a^* และ b^* ของข้าวแตนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 13 เมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันผสมเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินและทอดโดยใช้อุณหภูมิสูงขึ้น เวลาในการทอดเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ค่า L^* ลดลง โดยค่า L^* ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 24-26 ถ้าต่ำกว่า 24 สีข้าวแตนจะออกโทนสีน้ำตาลซึ่งมีสีคล้ำเกินไป แต่ถ้าหากสูงกว่า 26 สีจะซีดเกินไป ส่วนค่า a^* ควรอยู่ในช่วง 4-5 และค่า b^* ควรอยู่ในช่วง 3-4 ซึ่งจะทำให้ค่าสีของข้าวแตนมีสีเหลืองทองค่อนข้างสดใส ไม่หมองคล้ำและมีสีดีกว่าตัวอย่างควบคุม

4.2.2 จำนวนชั้นที่แตกหัก

เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลทำให้จำนวนชั้นที่แตกหักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 11 โดยอุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นทำให้จำนวนชั้นที่แตกหักของข้าวแตนเพิ่มขึ้น และเวลา ในการทอดเพิ่มขึ้นส่งผลต่อจำนวนชั้นที่แตกหักของข้าวแตนเพิ่มขึ้น

เช่นเดียวกัน เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการทอดนานมีผลทำให้ข้าวแต่นพองตัวได้เพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสของข้าวแต่นมีความเปราะจึงง่ายต่อการแตกหัก แต่พบว่าส่วนใหญ่มีการแตกหักน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่าง 2 และ 3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนชิ้นที่แตกหักพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยหักล้างซึ่งกันและกันจนไม่เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณการแตกหักหลังการทอดมีตั้งแต่ร้อยละ 2.22-17.78 โดยแนวโน้มของการแตกหักจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น

4.2.3 ค่าความแข็ง

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าความแข็งของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินทำให้ค่าความแข็งของข้าวแต่นได้สูงกว่าชนิดที่ทอดด้วยน้ำมันผสม เนื่องจากน้ำมันผสมมีส่วนผสมของน้ำมันจากเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าว มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินจึงทำให้ข้าวแต่นขยายตัวน้อยกว่า เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ข้าวแต่นที่ขยายปริมาตรได้เพิ่มขึ้นจะดูดความชื้นได้สูงกว่าจึงมีความแข็งสูงขึ้น ขณะที่อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นทำให้เกิดค่าความแข็งของข้าวแต่นลดลง รวมทั้งเวลาในการทอดนานขึ้นทำให้ค่าความแข็งของข้าวแต่นลดลง เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานส่งผลต่อการไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นโครงสร้างของข้าวแต่นให้มีลักษณะพองและกลวง จึงทำให้ข้าวแต่นมีค่าความแข็งลดลง ดังตาราง 11

นอกจากนี้อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าความแข็งของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ดังตาราง 12 โดยการทอดในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิในการทอดที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งของข้าวแต่นลดลง เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นสามารถไล่ความชื้นออกจากข้าวแต่นอย่างรวดเร็วได้มากขึ้น จึงดันโครงสร้างข้าวแต่นให้เกิดรูพรุนในเนื้อข้าวแต่นได้ดีกว่า ค่าความแข็งที่ได้จึงลดลง

ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เพราะแต่ละปัจจัยมีอิทธิพลหักล้างซึ่งกันและกันจนไม่เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งของข้าวแต่นมีค่าตั้งแต่ 1.67-4.89 นิวตัน การทอดที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาน้อย ทำให้ข้าวแต่นมีความแข็งสูงเนื่องจากการพองตัวของข้าวแต่นขยายได้น้อย การเกาะตัวของเม็ดข้าวค่อนข้างแน่น แต่การทอดที่อุณหภูมิสูงและเวลานานจะทำให้ข้าวแต่นขยายตัวได้มากขึ้น

การเกาะตัวของเม็ดข้าวมีการคลายตัว จึงมีความแข็งแรงน้อย นั่นคือข้าวแตกกรอบดี ดังข้อมูลในตาราง 13

4.2.4 ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับโดยข้าวแตก ดังตาราง 11

อิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย คือ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอดไม่มีทำให้เกิดความแตกต่างกันของปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) แต่ทุกชนิดมีปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งคือตัวอย่างของกลุ่มแม่บ้านที่ทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วินาที ดังตาราง 12

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 3 ปัจจัยทั้งชนิดน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดพบว่า เมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันผสมเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิและเวลาทอดเดียวกัน ทุกช่วงจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับโดยข้าวแตกมีแนวโน้มลดลง เพราะน้ำมันปาล์มโอเลอินมีจุดเดือดสูงกว่าน้ำมันผสมจึงมีการระเหยและถูกดูดซับโดยข้าวแตกน้อยกว่า

ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับของตัวอย่างควบคุมที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงถึงร้อยละ 27.46 ± 1.91 และตัวอย่างควบคุมที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินมีปริมาณการดูดซับน้ำมันสูงถึงร้อยละ 27.72 ± 3.55 โดยตัวอย่างทั้ง 2 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ดังตาราง 13

4.2.5 ปริมาตรที่ขยาย

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ของการขยายปริมาตรข้าวแตก ดังตาราง 11 โดยการทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินส่งผลต่อการเกิดขยายปริมาตรได้สูงกว่าการใช้น้ำมันผสมในการทอดข้าวแตก เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีจุดเดือดที่สูงกว่าน้ำมันผสม จึงคงตัวต่อความร้อนได้ดีกว่า ส่งผลต่อการไล่ความร้อนออกจากตัวอย่างได้ดีกว่าน้ำมันผสม ดังนั้นโครงสร้างของข้าวแตกให้มีขนาดใหญ่มากขึ้น ส่วนอุณหภูมิและเวลาในการทอดที่สูงขึ้นส่งผลต่อการขยายปริมาตรของข้าวแตกได้สูงขึ้น เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการทอดนานส่งผลต่อการระเหยความชื้นออกจากตัวอย่างได้มากขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อข้าวแตกได้มากขึ้นปริมาตรจึงขยายได้มากขึ้น

อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยทุกรูปแบบและ 3 ปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เป็นผลมาจากอิทธิพลของแต่ละปัจจัยหักล้างซึ่งกันและกัน

เมื่อเปรียบเทียบสิ่งทดลองต่าง ๆ กับตัวอย่างควบคุมพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีการดูดซับน้ำมันสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ และมีสีคล้ำ โดยการทอดที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 เวลา ข้าวแต่นที่ได้มีสีคล้ำเนื่องจากเกิดการไหม้ ค่า L^* และ b^* ลดลง ในขณะที่การทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส กับทำให้มีค่า L^* และ b^* เพิ่มขึ้น แต่ค่า L^* ที่มีมากเกินไปกับทำให้ตัวอย่างข้าวแต่นมีสีเหลืองซีดดังการทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ อุณหภูมิที่เหมาะสมจึงเป็นอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ที่ตัวอย่างข้าวแต่นที่ได้มีสีเหลืองทองจนถึงเหลืองน้ำตาล และเวลาที่เหมาะสม คือ ทอดนาน 30 วินาที เพราะมีค่า L^* เท่ากับ 24.00 ± 1.10 มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับการทอดที่อุณหภูมิเดียวกันแต่เป็นเวลา 40 และ 50 วินาที มีค่า b^* เท่ากับ 4.31 ± 1.82 เท่ากันกับการทอดที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส นาน 40 วินาที ที่มีค่า b^* เท่ากับ 4.27 ± 0.89 ปริมาณการดูดซับน้ำมันของการทอดที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส นาน 40 วินาที มีค่าสูงถึงร้อยละ 24.44 ± 2.52 ในขณะที่การทอดที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที มีค่าเพียงร้อยละ 23.45 ± 1.51 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพหลังการทอดข้าวแต๋นเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก

ปัจจัย	ค่าสี		จำนวนชิ้นที่แตกหัก (%)	ค่าความแข็ง (N)	ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ (%)	ปริมาณที่ขยาย (%)
	L*	a*				
น้ำมันที่ใช้ทอด (O)						
น้ำมันผสม (O ₁)	25.38 ^a ±1.83	5.20 ^a ±0.87	5.93 ^a ±2.30	2.77 ^b ±1.01	23.81 ^{ns} ±2.92	328 ^b ±60
น้ำมันปาล์มเลอีน (O ₂)	26.46 ^b ±3.25	4.27 ^b ±1.03	4.47 ^b ±1.22	3.37 ^a ±1.08	23.55 ^{ns} ±3.35	406 ^a ±106
อุณหภูมิทอด (T)						
Control 200 °C (T _C)	26.21 ^b ±0.87	4.77 ^a ±1.19	5.77 ^b ±2.16	2.39 ^c ±0.37	27.72 ^{ns} ±2.73	310 ^c ±63
200°C (T ₁)	28.36 ^c ±2.51	4.80 ^a ±1.19	7.05 ^d ±1.54	3.98 ^a ±0.88	22.66 ^{ns} ±3.45	326 ^c ±95
210°C (T ₂)	24.07 ^d ±1.91	4.95 ^a ±1.05	4.88 ^c ±1.32	2.94 ^b ±1.01	23.34 ^{ns} ±2.04	354 ^b ±72
220°C (T ₃)	25.23 ^c ±2.02	4.44 ^b ±0.84	3.48 ^d ±0.91	2.52 ^c ±0.92	23.70 ^{ns} ±2.85	440 ^a ±79
เวลาทอด (t)						
Control 45 sec (t _C)	26.21 ^a ±0.87	4.77 ^{ab} ±1.19	5.77 ^a ±2.16	2.39 ^c ±0.37	27.72 ^{ns} ±2.73	310 ^c ±63
30 sec (t ₁)	26.68 ^a ±3.20	4.45 ^b ±1.07	5.79 ^a ±2.03	3.95 ^a ±0.87	23.27 ^{ns} ±2.77	344 ^b ±82
40 sec (t ₂)	26.18 ^a ±2.30	4.87 ^a ±0.96	5.07 ^b ±1.80	3.03 ^b ±0.99	22.93 ^{ns} ±2.66	381 ^a ±96
50 sec (t ₃)	24.80 ^b ±2.57	4.86 ^a ±1.08	4.54 ^c ±1.83	2.46 ^c ±0.94	23.49 ^{ns} ±3.13	395 ^a ±101

หมายเหตุ: ค่าในช่องสีแดงบ่งชี้ว่าค่าที่ต่างกันเป็นผลมาจากน้ำมันต่างชนิดกันที่เก็บด้วยตัวอยุ่รต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ค่าในช่องสีแดงบ่งชี้ว่าค่าที่ต่างกันเป็นผลมาจากอุณหภูมิในการทอดต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอยุ่รต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ค่าในช่องสีแดงบ่งชี้ว่าค่าที่ต่างกันเป็นผลมาจากเวลาในการทอดต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอยุ่รต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพหลังการทอดข้าวต้มเนื่องจากอิทธิพลระหว่าง 2 ปัจจัย

ปัจจัย	ค่าสี			จำนวนชิ้น ที่แตกหัก (%)	ค่าความแข็ง (N)	ปริมาณน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (%)	ปริมาตรพืชาย (%)
	L*	a*	b*				
O × T							
O ₁ × T _c	26.39 ^b ±1.09	5.54 ^{ab} ±1.18	7.82 ^a ±0.55	10.00 ^{ns} ±7.60	2.44 ^{cd} ±0.38	24.46 ^{ns} ±1.91	365 ^{ns} ±29
O ₁ × T ₁	26.80 ^b ±1.64	5.77 ^a ±0.61	8.31 ^a ±0.47	5.18 ^{ns} ±2.35	3.74 ^{ab} ±0.84	22.81 ^{ns} ±3.38	287 ^{ns} ±51
O ₁ × T ₂	25.22 ^c ±1.57	4.77 ^c ±0.75	5.78 ^b ±0.94	7.82 ^{ns} ±6.77	2.66 ^{de} ±0.86	23.20 ^{ns} ±2.14	301 ^{ns} ±42
O ₁ × T ₃	23.77 ^d ±0.90	4.93 ^c ±0.77	3.06 ^d ±1.02	12.48 ^{ns} ±4.39	2.03 ^f ±0.67	24.20 ^{ns} ±2.49	383 ^{ns} ±38
O ₂ × T _c	26.03 ^b ±0.60	4.00 ^d ±0.50	3.72 ^c ±0.60	5.00 ^{ns} ±4.59	2.34 ^{cd} ±0.38	27.99 ^{ns} ±3.55	255 ^{ns} ±29
O ₂ × T ₁	29.92 ^a ±2.26	3.82 ^d ±0.72	5.78 ^b ±0.81	5.56 ^{ns} ±4.57	4.22 ^a ±0.88	22.50 ^{ns} ±3.61	365 ^{ns} ±113
O ₂ × T ₂	22.91 ^d ±1.47	5.12 ^{bc} ±1.27	3.98 ^c ±0.90	6.18 ^{ns} ±3.54	3.22 ^{bc} ±1.07	23.47 ^{ns} ±1.98	408 ^{ns} ±54
O ₂ × T ₃	26.69 ^b ±1.75	3.94 ^d ±0.56	3.89 ^c ±0.98	14.86 ^{ns} ±12.02	3.02 ^{cd} ±0.87	23.21 ^{ns} ±3.17	496 ^{ns} ±68
O × t							
O ₁ × t _c	26.39 ^{ab} ±1.09	5.54 ^a ±1.18	7.82 ^a ±0.55	10.00 ^{ns} ±7.60	2.44 ^{ns} ±0.38	27.46 ^a ±1.91	365 ^{ns} ±29
O ₁ × t ₁	25.39 ^{bc} ±0.60	4.59 ^b ±0.87	6.57 ^b ±2.42	7.18 ^{ns} ±5.47	3.63 ^{ns} ±0.88	22.23 ^b ±2.40	303 ^{ns} ±56
O ₁ × t ₂	25.83 ^{bc} ±2.49	5.24 ^a ±0.56	5.50 ^c ±2.24	8.50 ^{ns} ±5.29	2.74 ^{ns} ±0.99	23.31 ^b ±2.33	325 ^{ns} ±64
O ₁ × t ₃	24.57 ^c ±1.52	5.66 ^a ±0.67	5.07 ^{cd} ±2.10	9.80 ^{ns} ±6.17	2.06 ^{ns} ±0.62	24.66 ^b ±2.99	343 ^{ns} ±58
O ₂ × t _c	26.03 ^{bc} ±1.18	4.00 ^b ±0.50	3.72 ^c ±0.47	5.00 ^{ns} ±4.59	2.34 ^{ns} ±0.38	27.99 ^a ±3.55	255 ^{ns} ±29
O ₂ × t ₁	27.97 ^a ±3.34	4.32 ^b ±1.24	5.01 ^{cd} ±1.13	6.13 ^{ns} ±6.29	4.27 ^{ns} ±0.75	24.31 ^b ±2.79	386 ^{ns} ±85
O ₂ × t ₂	26.53 ^{ab} ±2.87	4.51 ^b ±1.13	4.64 ^{cd} ±1.07	9.10 ^{ns} ±7.12	3.32 ^{ns} ±0.91	22.55 ^b ±2.98	438 ^{ns} ±89
O ₂ × t ₃	25.02 ^{bc} ±3.45	4.06 ^b ±0.77	4.00 ^{de} ±1.35	11.37 ^{ns} ±11.42	2.86 ^{ns} ±1.04	22.32 ^b ±2.90	446 ^{ns} ±109

ตาราง 12 (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย			จำนวนชิ้น ที่แตกหัก (%)	ค่าความแข็ง (N)	ปริมาณน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (%)	ปริมาณที่ขยาย (%)
	L*	a*	b*				
T × t							
T _c × t _c	26.21 ^{cd} ± 0.87	4.77 ^{ns} ± 1.19	5.77 ^{ns} ± 2.16	7.50 ^{ns} ± 6.53	2.39 ^{ns} ± 0.37	27.72 ^{ns} ± 2.74	310 ^{ns} ± 63
T ₁ × t ₁	29.90 ³ ± 2.04	4.39 ^{ns} ± 1.05	7.60 ^{ns} ± 1.84	3.06 ^{ns} ± 3.32	4.71 ^{ns} ± 0.51	23.29 ^{ns} ± 4.06	314 ^{ns} ± 100
T ₁ × t ₂	28.17 ^b ± 1.92	4.78 ^{ns} ± 1.07	6.91 ^{ns} ± 1.45	5.83 ^{ns} ± 3.52	4.00 ^{ns} ± 0.75	21.90 ^{ns} ± 2.50	324 ^{ns} ± 72
T ₁ × t ₃	27.02 ^{bc} ± 2.71	5.22 ^{ns} ± 1.33	6.62 ^{ns} ± 1.16	7.22 ^{ns} ± 2.78	3.22 ^{ns} ± 0.65	22.78 ^{ns} ± 3.74	341 ^{ns} ± 112
T ₂ × t ₁	23.98 ^{de} ± 1.20	4.73 ^{ns} ± 1.21	5.63 ^{ns} ± 1.51	5.34 ^{ns} ± 4.93	3.89 ^{ns} ± 0.43	23.22 ^{ns} ± 2.30	326 ^{ns} ± 60
T ₂ × t ₂	24.99 ^{def} ± 1.97	5.29 ^{ns} ± 0.92	4.83 ^{ns} ± 0.96	7.24 ^{ns} ± 5.12	2.79 ^{ns} ± 0.47	23.74 ^{ns} ± 2.18	361 ^{ns} ± 85
T ₂ × t ₃	23.23 ⁵ ± 2.08	4.83 ^{ns} ± 0.95	4.16 ^{ns} ± 1.02	8.42 ^{ns} ± 6.05	2.15 ^{ns} ± 1.05	23.05 ^{ns} ± 1.70	376 ^{ns} ± 63
T ₃ × t ₁	26.17 ^{cd} ± 2.70	4.24 ^{ns} ± 0.91	4.15 ^{ns} ± 0.92	11.57 ^{ns} ± 5.53	3.25 ^{ns} ± 0.89	23.30 ^{ns} ± 1.64	394 ^{ns} ± 60
T ₃ × t ₂	25.39 ^{de} ± 1.62	4.55 ^{ns} ± 0.75	3.45 ^{ns} ± 0.76	13.33 ^{ns} ± 6.96	2.30 ^{ns} ± 0.81	23.15 ^{ns} ± 3.11	458 ^{ns} ± 77
T ₃ × t ₃	24.14 ^{efg} ± 0.75	4.52 ^{ns} ± 0.84	2.83 ^{ns} ± 0.44	16.11 ^{ns} ± 12.94	2.02 ^{ns} ± 0.53	24.66 ^{ns} ± 3.48	467 ^{ns} ± 80

หมายเหตุ: ตัวเลขในช่องสดมภ์เดียวกันที่เปรียบเทียบวิธีผสมของชนิดน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดที่เกี่ยวกับตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวเลขในช่องสดมภ์เดียวกันที่เปรียบเทียบวิธีผสมของชนิดน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอดที่เกี่ยวกับตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวเลขในช่องสดมภ์เดียวกันที่เปรียบเทียบวิธีผสมของอุณหภูมิและเวลาในการทอดที่เกี่ยวกับตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

O₁ = น้ำมันผสม O₂ = น้ำมันปาล์ม โอเลอิน

T_c = อุณหภูมิควบคุมในการทอด 200°C T₁ = อุณหภูมิในการทอด 200°C T₂ = อุณหภูมิในการอบแห้ง 210 °C T₃ = อุณหภูมิในการอบแห้ง 220 °C

t_c = เวลาควบคุมในการทอด 45 วินาที t₁ = เวลาในการทอด 30 วินาที t₂ = เวลาในการทอด 40 วินาที t₃ = เวลาในการทอด 50 วินาที

ตาราง 13 คุณสมบัติทางกายภาพหลังการทอดข้าวแต๋นที่มีอิทธิพลจากชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด

ปัจจัย	ค่าสี			จำนวนชิ้น ที่แตกหัก (%)	ค่าความแข็ง (N)	ปริมาณน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (%)	ปริมาณที่ขยาย (%)
	L*	a*	b*				
$O_1 \times T_C \times t_c$	26.39 ^c ±1.09	5.54 ^{bc} ±1.18	7.82 ^b ±0.55	10.00 ^{ns} ±7.60	2.44 ^{ns} ±0.38	27.46 ^{ab} ±1.91	365 ^{ns} ±29
$O_1 \times T_1 \times t_1$	28.53 ^b ±0.53	5.35 ^{bc} ±0.40	9.21 ^a ±0.70	3.89 ^{ns} ±3.28	4.54 ^{ns} ±0.39	20.64 ^c ±1.29	273 ^{ns} ±68
$O_1 \times T_1 \times t_2$	26.80 ^c ±0.69	5.67 ^{ab} ±0.46	8.11 ^b ±0.91	5.56 ^{ns} ±1.72	3.86 ^{ns} ±0.46	22.96 ^{cdc} ±3.02	284 ^{ns} ±42
$O_1 \times T_1 \times t_3$	25.07 ^{de} ±1.11	6.31 ^a ±0.56	7.61 ^b ±0.22	6.11 ^{ns} ±1.36	2.81 ^{ns} ±0.44	24.82 ^{abc} ±4.18	303 ^{ns} ±37
$O_1 \times T_2 \times t_1$	23.96 ^{efg} ±1.35	4.03 ^{ef} ±0.40	6.96 ^c ±0.50	6.86 ^{ns} ±5.75	3.67 ^{ns} ±0.31	23.00 ^{cdc} ±3.03	285 ^{ns} ±33
$O_1 \times T_2 \times t_2$	26.69 ^c ±0.74	4.84 ^{cd} ±0.54	5.40 ^{de} ±0.67	7.73 ^{ns} ±7.25	2.62 ^{ns} ±0.31	23.03 ^{cdc} ±1.71	299 ^{ns} ±58
$O_1 \times T_2 \times t_3$	25.02 ^{de} ±1.15	5.46 ^{bc} ±0.47	4.97 ^{ef} ±0.49	8.85 ^{ns} ±8.25	1.70 ^{ns} ±0.25	23.56 ^{cdc} ±1.78	318 ^{ns} ±23
$O_1 \times T_3 \times t_1$	23.69 ^{fg} ±1.16	4.39 ^{de} ±1.03	3.56 ^{ij} ±0.47	10.78 ^{ns} ±5.40	2.69 ^{ns} ±0.60	23.07 ^{cdc} ±2.04	351 ^{ns} ±19
$O_1 \times T_3 \times t_2$	23.99 ^{efg} ±0.89	5.20 ^{bc} ±0.37	2.99 ^{jk} ±0.59	12.22 ^{ns} ±3.44	1.73 ^{ns} ±0.56	23.93 ^{cdc} ±2.40	391 ^{ns} ±25
$O_1 \times T_3 \times t_3$	23.64 ^{fg} ±0.65	5.23 ^{bc} ±0.43	2.64 ^k ±0.36	14.44 ^{ns} ±4.04	1.67 ^{ns} ±0.18	25.61 ^{abc} ±2.68	407 ^{ns} ±43
$O_2 \times T_C \times t_c$	26.03 ^{cd} ±0.60	4.00 ^{ef} ±0.50	3.72 ^{hi} ±0.47	5.00 ^{ns} ±4.59	2.34 ^{ns} ±0.38	27.72 ^a ±3.55	255 ^{ns} ±29
$O_2 \times T_1 \times t_1$	31.26 ^a ±2.10	3.44 ^f ±0.38	6.00 ^d ±0.97	2.22 ^{ns} ±1.72	4.89 ^{ns} ±0.58	25.94 ^{abc} ±4.22	355 ^{ns} ±113
$O_2 \times T_1 \times t_2$	29.53 ^b ±1.77	3.88 ^{ef} ±0.66	5.72 ^d ±0.69	6.11 ^{ns} ±1.36	4.13 ^{ns} ±0.96	20.84 ^{de} ±1.37	363 ^{ns} ±76
$O_2 \times T_1 \times t_3$	28.98 ^b ±2.40	4.14 ^{ef} ±0.91	5.63 ^d ±0.78	8.33 ^{ns} ±3.90	3.63 ^{ns} ±0.60	20.73 ^{de} ±1.83	379 ^{ns} ±148

ตาราง I3 (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสี		จำนวนชิ้น ที่แตกหัก (%)	ค่าความแข็ง (N)	ปริมาณน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (%)	ปริมาณที่ขยาย (%)
	L*	a*				
$O_2 \times T_2 \times t_1$	$24.00^{efg} \pm 1.10$	$5.43^{bc} \pm 1.36$	$4.31^{ph} \pm 1.82$	$3.81^{ns} \pm 4.55$	$23.45^{cdc} \pm 1.51$	$367^{ns} \pm 54$
$O_2 \times T_2 \times t_2$	$23.29^f \pm 1.08$	$5.74^{ab} \pm 1.03$	$4.27^{gh} \pm 0.89$	$6.75^{ns} \pm 2.11$	$24.44^{bod} \pm 2.52$	$424^{ns} \pm 55$
$O_2 \times T_2 \times t_3$	$21.45^h \pm 0.84$	$4.21^{de} \pm 0.89$	$3.35^j \pm 0.72$	$7.99^{ns} \pm 4.91$	$22.53^{cde} \pm 1.59$	$434^{ns} \pm 22$
$O_2 \times T_3 \times t_1$	$28.65^b \pm 0.66$	$4.09^{ef} \pm 0.81$	$4.73^{fg} \pm 0.89$	$12.35^{ns} \pm 5.87$	$23.53^{cde} \pm 1.26$	$436^{ns} \pm 56$
$O_2 \times T_3 \times t_2$	$26.78^c \pm 0.64$	$3.91^{ef} \pm 0.34$	$3.92^{hi} \pm 0.63$	$14.44^{ns} \pm 7.72$	$23.38^{cdc} \pm 3.75$	$526^{ns} \pm 44$
$O_2 \times T_3 \times t_3$	$24.65^{ef} \pm 0.43$	$3.82^{ef} \pm 0.46$	$3.01^{jk} \pm 0.46$	$17.78^{ns} \pm 13.44$	$22.72^{cde} \pm 4.16$	$526^{ns} \pm 61$

หมายเหตุ: ตัวเลขในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p \geq 0.05$)

O_1 = น้ำมันผสม

O_2 = น้ำมันปาล์มโอเลอิน

T_1 = อุณหภูมิในการทอด 200°C

T_2 = อุณหภูมิในการทอด 200°C

T_3 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 220 °C

t_1 = เวลาในการทอด 45 วินาที

t_2 = เวลาในการทอด 30 วินาที

t_3 = เวลาในการทอด 50 วินาที

4.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่เกิดขึ้นหลังการทอด

4.3.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA)

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 14 โดยการทอดในน้ำมันผสมทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอดสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีจุดเกิดควันสูงกว่าดังกล่าวในตาราง 3 จึงเกิดการแตกตัวโดย thermal hydrolysis ได้น้อยกว่าน้ำมันผสมและกรดไขมันอิสระเปลี่ยนรูปแบบของ oxidation product เป็นรูปแบบอื่น ๆ ปริมาณ FFA ที่ได้จึงลดลง ในขณะที่อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ของน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้น เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเนื่องจากความร้อนได้เพิ่มขึ้น ส่วนเวลาในการทอดข้าวแต๋นที่เพิ่มขึ้นทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ลดลงเพราะกรดไขมันส่วนหนึ่งระเหยไปอีกส่วนหนึ่งเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องซึ่งให้มีการเพิ่มขึ้นในช่วงต้นและลดลง

อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอด ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอด และอุณหภูมิและเวลาในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างของการเพิ่มขึ้นปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 15 โดยอิทธิพลระหว่างชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังทอดจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และอุณหภูมิเดียวกันแต่เปลี่ยนจากน้ำมันผสมเปลี่ยนน้ำมันปาล์มโอเลอินพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังทอดต่ำลงซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลที่อธิบายในอิทธิพลของปัจจัยเดียวกันข้างต้น อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอดพบว่า ในน้ำมันชนิดเดียวกันแต่หากใช้เวลาในการทอดข้าวแต๋นนานขึ้นจะมีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอดต่ำลง และหากเปลี่ยนจากน้ำมันผสมมาเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินเมื่อเทียบเวลาในการทอดเท่ากันพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลคล้ายคลึงกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในอิทธิพลของปัจจัยเดียว นอกจากนี้อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทอดพบว่า เมื่อใช้เวลาในการทอดเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิของการทอดมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอดต่ำลง ขณะที่ทุกเวลาของการทอดเมื่อมีอุณหภูมิในการทอดข้าวแต๋นสูงขึ้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA จะสูงขึ้น

อิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ FFA ของน้ำมันหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 16 โดยพบว่าน้ำมันทั้ง 2 ชนิด เมื่อมีอุณหภูมิการทอดเดียวกันแต่เวลาทอดเพิ่มขึ้นจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอดต่ำลง ขณะที่น้ำมันทั้ง 2 ชนิดเมื่อทอดที่เวลาเดียวกันแต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้น ขณะที่เมื่อทอดที่อุณหภูมิและเวลาในการทอดเดียวกันแต่เปลี่ยนจากน้ำมันผสมเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ FFA ในน้ำมันหลังการทอดต่ำลง ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย สอดคล้องกับอิทธิพลของปัจจัยเดียวและอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย

4.3.2 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (CD)

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 14 โดยการทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันหลังการทอดสูงกว่าน้ำมันผสมเนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูงมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งสามารถเกิดการย้ายพันธะคู่ของไตรกลีเซอไรด์ได้ง่ายกว่าน้ำมันผสมที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอยู่สูง ในขณะที่อุณหภูมิการทอดสูงขึ้นจาก 200 เป็น 210 และ 220 องศาเซลเซียส จะทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทอดจาก 200 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และลดลงเมื่อทอดที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เพราะสาร CD เมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเป็นสารอื่นปริมาณ CD ที่ได้จึงลดลง

อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 15 โดยอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดพบว่า เมื่อเปลี่ยนจากน้ำมันผสมเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน การเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันหลังการทอดจะสูงขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดเดียวกันและเมื่อใช้น้ำมันทอดชนิดเดียวกันแต่ทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นหรือทอดที่เวลานานขึ้นก็จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า CD ในน้ำมันหลังทอดสูงขึ้นด้วย ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทอดที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD พบว่า มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างแปรปรวนทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อเกิดการเกิดสาร CD ขึ้นในปริมาณหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อเนื่องไปเป็นสารอื่น

อิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยทั้งชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 16 พบว่าการเสริมอิทธิพลเพิ่มขึ้นระหว่างชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดโดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD จะสูงขึ้นมากในน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิและเวลาในการทอดทุก ๆ ช่วง

4.3.3 ค่าเพอร์ออกไซด์ (PV)

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 14 โดยการทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินจะทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดสูงกว่าน้ำมันผสมเนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูงมากกว่าร้อยละ 50 จึงง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในขณะที่ยอดอุณหภูมิการทอด 210 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเกิดค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดต่ำที่สุด เนื่องจากมีอัตราการสลายตัวไปเป็นสารอื่นสูงสุดที่อุณหภูมินี้ ส่วนเวลาในการทอดที่ 30 วินาที ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นเวลาในการทอดที่ต่ำกว่าอีก 2 เวลาที่เหลือ จึงมีโอกาสในการเกิดค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดลดลง

อิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 15 โดยอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดพบว่า การใช้น้ำมันปาล์ม โอเลอินในการทอดที่อุณหภูมิ สูงขึ้นจะทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้น เช่นเดียวกับการใช้อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นในทุก ๆ เวลาของการทอดมีแนวโน้มที่ทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการสัมผัสความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น ขณะที่อิทธิพลระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทอดพบว่า เวลาในการทอดเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิ ส่งผลต่อการเกิดค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดลดลง เนื่องจากการเกิดสารเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่มีความเข้มข้นเพียงพอจึงเกิดการแตกตัวเป็นสารใหม่จึงลดลงในเวลาต่อมาอย่างรวดเร็ว โดยการกระตุ้นจากอุณหภูมิในการทอดที่สูงขึ้นและเวลาในการทอดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปแบบของ oxidation product เป็นสารชนิดอื่นได้ง่าย

อิทธิพลร่วมกันระหว่าง 3 ปัจจัย ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 16 โดยการทอดที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันของทุกช่วงจะพบว่า การเพิ่มขึ้นของค่า PV ในน้ำมันหลังการทอดมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CD ดังเหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้แล้วในการเพิ่มขึ้นของค่า CD

4.3.4 ค่าพารา-อะนิซิดีน (p-AV)

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 14 โดยการทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินมีผลต่อการเกิดค่า p-AV ของน้ำมันหลังการทอดสูงกว่าน้ำมันผสมมาก เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูงกว่าร้อยละ 50 จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่าน้ำมันผสมจึงส่งผลต่อการเกิดปริมาณอัลดีไฮด์ ในขณะที่อุณหภูมิและเวลาในการทอดสูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้น เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการทอดนานส่งผลต่อการเกิดเทอร์มอลออกซิเดชันและออกซิเดชันสูงขึ้น

อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอด ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอด และอุณหภูมิและเวลาในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอดอย่าง ดังตาราง 15 โดยอิทธิพลระหว่างชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดพบว่า การใช้ทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินมีการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV สูงกว่าเมื่อทอดในน้ำมันผสม เช่นเดียวกับอุณหภูมิในการทอดซึ่งน้ำมันชนิดเดียวกันแต่ใช้อุณหภูมิในการทอดข้าวแตนสูงขึ้นจะทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า p-AV สูงขึ้น นอกจากนี้อิทธิพลระหว่างชนิดน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอดพบว่า ในน้ำมันชนิดเดียวกันแต่ทอดในเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า p-AV สูงขึ้น เนื่องจากน้ำมันผสมมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูงถึงร้อยละ 70 จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้ากว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน และอิทธิพลระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทอดพบว่า การทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เวลาในการทอดเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิและใช้เวลาในการทอดนานมีผลกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้น

อิทธิพลร่วมกันระหว่าง 3 ปัจจัย ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 16 โดยพบว่าใช้น้ำมันชนิดเดียวกัน อุณหภูมิในการทอดเดียวกันแต่ใช้เวลาในการทอดข้าวแต่นเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอดโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อทอดข้าวแต่นโดยเปลี่ยนจากน้ำมันผสมเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิเดียวกันและเวลาในการทอดเดียวกันจะทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า p-AV ในน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่เกิดขึ้นในปัจจัยเดียว

4.3.5 ค่าทีบาร์ส (TBARS)

ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 14 โดยการทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอดสูงกว่าน้ำมันผสม เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่สูงมากกว่าร้อยละ 50 จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่าน้ำมันผสม จึงส่งผลต่อการเกิดอัลดีไฮด์ได้มากกว่า ในขณะที่อุณหภูมิและเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอดต่ำลง เนื่องจากผลของความร้อนจากการกระบวนการทอดสูงมากกว่าถึง 200 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลาทอดนานมีผลต่อการระเหยสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดบางส่วน การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ที่เกิดขึ้นจึงต่ำลง

อิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอด ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอด และอุณหภูมิและเวลาในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอด ดังตาราง 15 โดยชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดพบว่า การใช้น้ำมันผสมที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอดต่ำลง เนื่องจากน้ำมันผสมมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 70 จึงทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้ากว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารอัลดีไฮด์ได้ต่ำกว่า ส่วนอิทธิพลระหว่างชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอดพบว่า การทอดในน้ำมันผสมในเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังทอดต่ำลง ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนอุณหภูมิและเวลาในการทอดพบว่า การทอดที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและใช้เวลาในการทอดเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังทอดต่ำลง เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เวลานานมีผลในการกระตุ้นใน

การระเหยสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดออกไปบางส่วน การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS จึงต่ำลง

อิทธิพลร่วมกันระหว่าง 3 ปัจจัย ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดมีผลต่อค่าความแตกต่างกันของการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 16 โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินมีผลต่อการเพิ่มค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอดสูงขึ้นกว่าน้ำมันผสมที่อุณหภูมิและเวลาในการทอดเดียวกัน ขณะที่การใช้ น้ำมันชนิดเดียวกัน เวลาในการทอดเดียวกันแต่อุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้นทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ต่ำลง นอกจากนี้ที่อุณหภูมิเดียวกัน น้ำมันชนิดเดียวกันแต่ทอดข้าวแต๋นนานขึ้นทำให้การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอดมีแนวโน้มต่ำลง การใช้อุณหภูมิและเวลาในการทอดทุก ๆ ระดับมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในน้ำมันหลังการทอด เนื่องจากการตรวจหาค่า TBARS เป็นการหาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงของการทอดที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่า TBARS จะยิ่งสูงแสดงถึงการเหม็นหืนในน้ำมันยังเกิดขึ้นได้มาก

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันหลังการทอดระหว่างสิ่งทดลองต่าง ๆ และตัวอย่างควบคุมพบว่า คุณภาพของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของค่า CD PV p-AV และค่า TBARS ก่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ

การคัดเลือกชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอดที่เหมาะสมของข้าวแต๋น โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพของข้าวแต๋นในการตัดสินใจ สามารถเลือกชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน เนื่องจากไม่เป็นไขที่อุณหภูมิห้องและไม่ต้องเสียเวลาในการอุ่นน้ำมันก่อนการทอด เหมือนในน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันเมล็ดปาล์มและน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่สูง จึงเป็น ไขที่อุณหภูมิห้องรวมทั้งน้ำมันผสมระเหยได้ง่ายจึงมีการสูญเสียระหว่างการทอดเนื่องจากมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินจึงระเหยได้สูงกว่า นอกจากนี้ น้ำมันผสมมีราคาแพงกว่าแม้ว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินจะเสื่อมเสียได้ง่ายกว่าน้ำมันผสม อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทอดข้าวแต๋นที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และเวลาที่เหมาะสม คือ ทอดนาน 30 วินาที ตัวอย่างข้าวแต๋นที่ได้ออกสีเหลืองทองจนถึงเหลืองน้ำตาล และปริมาณการดูดซับน้ำมันค่อนข้างต่ำ ส่วนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำมันหลังการทอดพบว่า น้ำมันปาล์มโอเลอินทำให้การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระหลังการทอดต่ำกว่าน้ำมันผสม เนื่องจากมีจุดเกิดควันสูงกว่าน้ำมันผสม ในการทอดที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของค่า CD และ PV ต่ำกว่าอุณหภูมิอื่นเมื่อใช้น้ำมันชนิดเดียวกัน ส่วนเวลาในการทอด 30 วินาที มีการเพิ่มขึ้นของค่า PV และ TBARS ต่ำที่สุด ซึ่งทั้งชนิดของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดเหมาะสมสอดคล้องกันทั้งผลทางกายภาพของข้าวแต๋น และผลทางเคมีของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันที่ใช้ทอด

ตาราง 14 ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังการทอดข้าวแต่น้อยจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก

ปัจจัย	ปริมาณ FFA (กรดโอเลอิก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)
น้ำมันที่ใช้ทอด (O)					
น้ำมันผสม (O ₁)	0.028 ^a ±0.012	3.75 ^b ±2.06	3.20 ^b ±0.57	8.53 ^b ±2.84	17.79 ^b ±4.48
น้ำมันปาล์มเลอีน (O ₂)	0.015 ^b ±0.009	6.40 ^a ±3.75	5.60 ^a ±1.51	25.10 ^a ±6.72	22.17 ^a ±9.04
อุณหภูมิทอด (T)					
Control 200 °C (T ₀)	0.013 ^c ±0.011	4.85 ^b ±1.99	4.12 ^{bc} ±0.72	17.25 ^b ±8.11	15.59 ^b ±6.51
200°C (T ₁)	0.019 ^b ±0.013	4.55 ^b ±2.18	4.75 ^a ±2.06	14.81 ^c ±9.83	22.74 ^a ±6.72
210°C (T ₂)	0.023 ^{ab} ±0.009	6.02 ^a ±4.99	4.04 ^c ±1.11	19.91 ^a ±12.63	24.26 ^a ±7.28
220°C (T ₃)	0.025 ^a ±0.014	4.73 ^b ±2.16	4.49 ^{ab} ±1.84	16.08 ^{bc} ±6.51	14.41 ^b ±3.35
เวลาทอด (t)					
Control 45 sec (t ₀)	0.013 ^c ±0.011	4.85 ^{ns} ±1.99	4.12 ^{bc} ±0.72	17.25 ^a ±8.11	15.59 ^c ±6.51
30 sec (t ₁)	0.026 ^a ±0.015	5.07 ^{ns} ±4.69	3.91 ^c ±1.43	15.20 ^b ±8.16	21.37 ^a ±7.75
40 sec (t ₂)	0.021 ^b ±0.010	5.53 ^{ns} ±2.87	4.90 ^a ±1.87	16.91 ^a ±10.18	20.89 ^{ab} ±8.97
50 sec (t ₃)	0.019 ^b ±0.011	4.69 ^{ns} ±2.25	4.47 ^b ±1.75	18.68 ^a ±11.68	19.15 ^b ±4.88

หมายเหตุ: ค่าในช่องสีแดงบ่งชี้ตัวแปรที่ต่างกันที่ระดับความแตกต่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าในช่องสีแดงบ่งชี้ตัวแปรที่ต่างกันที่ระดับความแตกต่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าในช่องสีแดงบ่งชี้ตัวแปรที่ต่างกันที่ระดับความแตกต่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตาราง 15 ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังการทอดข้าวแต่น้องจากอิทธิพลระหว่าง 2 ปัจจัย

ปัจจัย	ปริมาณ FFA (กรดโอเลอิก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)
$O \times T$					
$O_1 \times T_c$	$0.022^{bc} \pm 0.009$	$5.47^{bcd} \pm 2.77$	$3.49^c \pm 0.12$	$9.74^{cd} \pm 2.97$	$21.65^b \pm 0.79$
$O_1 \times T_1$	$0.024^b \pm 0.014$	$3.16^d \pm 1.69$	$2.80^{de} \pm 0.74$	$6.24^d \pm 1.88$	$19.50^c \pm 5.39$
$O_1 \times T_2$	$0.026^b \pm 0.006$	$3.09^{cd} \pm 1.21$	$3.40^d \pm 0.74$	$8.48^{cd} \pm 2.59$	$17.81^c \pm 1.84$
$O_1 \times T_3$	$0.035^a \pm 0.011$	$4.41^{bc} \pm 2.42$	$3.29^d \pm 0.42$	$10.46^c \pm 2.25$	$14.81^c \pm 4.41$
$O_2 \times T_c$	$0.005^c \pm 0.003$	$4.23^{bcd} \pm 0.35$	$4.75^c \pm 0.44$	$24.76^b \pm 0.85$	$9.53^d \pm 2.11$
$O_2 \times T_1$	$0.013^d \pm 0.010$	$5.94^b \pm 1.71$	$6.70^a \pm 0.71$	$23.38^b \pm 6.32$	$26.01^b \pm 6.42$
$O_2 \times T_2$	$0.019^{bcd} \pm 0.010$	$8.94^a \pm 5.64$	$4.67^c \pm 1.07$	$31.35^a \pm 6.69$	$30.70^a \pm 4.24$
$O_2 \times T_3$	$0.015^{cd} \pm 0.006$	$5.05^{bc} \pm 1.88$	$5.69^b \pm 1.93$	$21.69^b \pm 3.92$	$14.01^c \pm 1.83$
$O \times t$					
$O_1 \times t_c$	$0.022^{bc} \pm 0.009$	$5.47^{ns} \pm 2.77$	$3.49^{ns} \pm 0.12$	$9.74^c \pm 2.97$	$21.65^a \pm 0.79$
$O_1 \times t_1$	$0.036^a \pm 0.012$	$3.23^{ns} \pm 1.83$	$2.69^{ns} \pm 0.34$	$8.36^c \pm 2.27$	$19.55^d \pm 5.97$
$O_1 \times t_2$	$0.026^b \pm 0.011$	$4.04^{ns} \pm 2.34$	$3.53^{ns} \pm 0.62$	$7.22^c \pm 2.73$	$15.92^{cd} \pm 3.48$
$O_1 \times t_3$	$0.022^{bc} \pm 0.007$	$3.39^{ns} \pm 1.47$	$3.27^{ns} \pm 0.46$	$9.60^c \pm 3.03$	$16.62^{bcd} \pm 2.85$
$O_2 \times t_c$	$0.005^d \pm 0.003$	$4.23^{ns} \pm 0.35$	$4.75^{ns} \pm 0.44$	$24.76^{ab} \pm 0.85$	$9.53^c \pm 2.11$
$O_2 \times t_1$	$0.015^c \pm 0.008$	$6.92^{ns} \pm 5.90$	$5.13^{ns} \pm 0.98$	$22.04^b \pm 5.73$	$23.18^{ab} \pm 9.01$
$O_2 \times t_2$	$0.016^c \pm 0.005$	$7.01^{ns} \pm 2.62$	$6.27^{ns} \pm 1.69$	$26.61^a \pm 2.62$	$25.85^a \pm 10.07$
$O_2 \times t_3$	$0.017^c \pm 0.013$	$5.99^{ns} \pm 2.16$	$5.68^{ns} \pm 1.74$	$27.76^a \pm 9.87$	$21.68^{abc} \pm 5.23$

ตาราง 15 (ต่อ)

ปัจจัย	ปริมาณ FFA (กรดโอเลอิก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)
$T \times t$					
$T_c \times t_c$	$0.013^{de} \pm 0.011$	$4.85^{ab} \pm 1.99$	$4.12^c \pm 0.72$	$17.25^{ab} \pm 8.11$	$15.59^{bcd} \pm 6.51$
$T_1 \times t_1$	$0.030^a \pm 0.016$	$4.61^{ab} \pm 2.06$	$4.28^{ab} \pm 2.01$	$14.06^b \pm 10.33$	$25.28^{ab} \pm 6.22$
$T_1 \times t_2$	$0.016^{cd} \pm 0.005$	$5.33^{ab} \pm 2.51$	$4.72^{abc} \pm 1.65$	$16.30^{ab} \pm 12.05$	$24.28^{ab} \pm 7.47$
$T_1 \times t_3$	$0.010^e \pm 0.007$	$3.72^b \pm 1.79$	$5.26^{ab} \pm 2.49$	$14.06^b \pm 7.21$	$18.66^{abc} \pm 4.62$
$T_2 \times t_1$	$0.020^{bcd} \pm 0.011$	$7.15^d \pm 3.53$	$3.32^{bc} \pm 0.65$	$17.98^{ab} \pm 7.95$	$24.87^{ab} \pm 7.24$
$T_2 \times t_2$	$0.023^{abc} \pm 0.006$	$4.82^{ab} \pm 3.64$	$4.42^{abc} \pm 0.82$	$17.66^{ab} \pm 11.34$	$25.24^d \pm 9.49$
$T_2 \times t_3$	$0.025^{abc} \pm 0.009$	$6.08^{ab} \pm 2.54$	$4.36^{abc} \pm 1.42$	$24.01^d \pm 16.94$	$22.66^{abc} \pm 4.68$
$T_3 \times t_1$	$0.027^{ab} \pm 0.017$	$3.46^{ab} \pm 1.20$	$4.13^{abc} \pm 1.22$	$13.56^b \pm 5.41$	$13.95^d \pm 3.18$
$T_3 \times t_2$	$0.024^{abc} \pm 0.015$	$6.44^{ab} \pm 2.30$	$5.55^d \pm 2.64$	$16.79^{ab} \pm 7.42$	$13.14^{cd} \pm 3.38$
$T_3 \times t_3$	$0.024^{abc} \pm 0.009$	$4.29^{ab} \pm 1.75$	$3.79^{bc} \pm 0.57$	$17.88^{ab} \pm 6.27$	$16.13^{bcd} \pm 3.00$

หมายเหตุ: ตัวเลขในช่องสควมที่เดียวกันที่เปรียบเทียบผลของชนิดน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดที่เกี่ยวกับตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวเลขในช่องสควมที่เดียวกันที่เปรียบเทียบผลของชนิดน้ำมันที่ใช้ทอดและอุณหภูมิในการทอดที่เกี่ยวกับตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวเลขในช่องสควมที่เดียวกันที่เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและเวลาในการทอดที่เกี่ยวกับตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

O_1 = น้ำมันผสม O_2 = น้ำมันปาล์มโอเลอิน

T_c = อุณหภูมิควบคุมในการทอด 200°C T_1 = อุณหภูมิในการทอด 200°C T_2 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 210°C T_3 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 220°C

t_c = เวลาควบคุมในการทอด 45 วินาที t_1 = เวลาในการทอด 30 วินาที t_2 = เวลาในการทอด 40 วินาที t_3 = เวลาในการทอด 50 วินาที

ตาราง 16 การเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ ทางเคมีของน้ำมันหลังการทอดข้าวแต่น้ำที่มีอิทธิพลจากชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด

ปัจจัย	ปริมาณ FFA กรดโอเลอิก (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)
$O_1 \times T_c \times t_c$	$0.022^{bdef} \pm 0.009$	$5.47^{bdef} \pm 2.78$	$3.49^{gh} \pm 0.12$	$9.74^{gh} \pm 2.97$	$21.65^{de} \pm 0.79$
$O_1 \times T_1 \times t_1$	$0.041^a \pm 0.012$	$4.14^{cdef} \pm 2.43$	$2.36^i \pm 0.09$	$5.91^{hi} \pm 0.32$	$25.97^c \pm 3.13$
$O_1 \times T_1 \times t_2$	$0.016^{gh} \pm 0.006$	$3.14^{ef} \pm 0.69$	$3.15^{gh} \pm 0.36$	$4.90^j \pm 0.94$	$18.14^{efgh} \pm 1.93$
$O_1 \times T_1 \times t_3$	$0.016^{gh} \pm 0.003$	$2.21^f \pm 1.01$	$2.88^{hi} \pm 0.13$	$7.90^{gh} \pm 2.33$	$14.30^{gh} \pm 0.68$
$O_1 \times T_2 \times t_1$	$0.030^{bc} \pm 0.002$	$2.29^f \pm 1.03$	$2.73^{hi} \pm 0.29$	$10.47^{ij} \pm 1.23$	$18.78^{ef} \pm 1.35$
$O_1 \times T_2 \times t_2$	$0.027^{cde} \pm 0.007$	$2.83^{ef} \pm 1.24$	$3.97^{efg} \pm 0.88$	$6.99^{gh} \pm 2.91$	$16.29^{fgh} \pm 1.58$
$O_1 \times T_2 \times t_3$	$0.021^{cdefg} \pm 0.006$	$4.16^{cdef} \pm 0.35$	$3.49^{gh} \pm 0.25$	$7.98^{gh} \pm 2.24$	$18.39^{efg} \pm 1.70$
$O_1 \times T_3 \times t_1$	$0.039^a \pm 0.016$	$3.25^{def} \pm 1.51$	$2.99^{hi} \pm 0.24$	$8.69^{gh} \pm 1.80$	$13.91^{hi} \pm 4.6$
$O_1 \times T_3 \times t_2$	$0.037^{ab} \pm 0.010$	$6.16^{bcde} \pm 2.90$	$3.46^{gh} \pm 0.08$	$9.77^{gh} \pm 1.25$	$13.35^{ij} \pm 4.57$
$O_1 \times T_3 \times t_3$	$0.030^{bc} \pm 0.004$	$3.82^{def} \pm 1.89$	$3.42^{gh} \pm 0.61$	$12.93^i \pm 0.88$	$16.62^{fgh} \pm 2.85$
$O_2 \times T_c \times t_c$	$0.005^f \pm 0.003$	$24.76^{bc} \pm 0.85$	$4.23^{cdef} \pm 0.35$	$24.76^{bc} \pm 0.85$	$9.53^j \pm 2.11$
$O_2 \times T_1 \times t_1$	$0.019^{bdef} \pm 0.011$	$22.22^{cd} \pm 2.67$	$5.08^{bdef} \pm 1.69$	$22.22^{cd} \pm 8.67$	$24.59^{cd} \pm 8.61$
$O_2 \times T_1 \times t_2$	$0.017^{efgh} \pm 0.005$	$27.70^b \pm 2.59$	$7.51^{bc} \pm 1.40$	$27.70^b \pm 2.59$	$30.43^{ab} \pm 5.32$
$O_2 \times T_1 \times t_3$	$0.004^i \pm 0.002$	$20.22^{de} \pm 2.24$	$5.22^{bdef} \pm 0.77$	$20.22^{de} \pm 4.24$	$23.01^{cd} \pm 0.99$
$O_2 \times T_2 \times t_1$	$0.010^{hi} \pm 0.005$	$25.48^{bc} \pm 1.51$	$12.01^a \pm 1.17$	$25.48^{bc} \pm 1.50$	$30.97^{ab} \pm 4.95$
$O_2 \times T_2 \times t_2$	$0.020^{cdefg} \pm 0.003$	$28.33^b \pm 0.97$	$6.80^{bcd} \pm 2.24$	$28.33^b \pm 0.97$	$34.18^a \pm 1.91$
$O_2 \times T_2 \times t_3$	$0.029^{bcd} \pm 0.010$	$40.23^a \pm 1.42$	$8.00^b \pm 2.28$	$40.22^a \pm 1.42$	$26.94^{bc} \pm 1.22$

ตาราง 16 (ต่อ)

ปัจจัย	ปริมาณ FFA (กรดโอเลอิก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)
$O_2 \times T_3 \times t_1$	$0.015^{ab} \pm 0.005$	$18.43^c \pm 2.08$	$3.66^{def} \pm 0.90$	$18.43^c \pm 2.08$	$13.99^{gh} \pm 0.96$
$O_2 \times T_3 \times t_2$	0.011 ± 0.003^{gh}	$23.81^{cd} \pm 1.13$	6.73 ± 1.6^{bcd}	$23.81^{cd} \pm 1.13$	$12.93^{ij} \pm 2.04$
$O_2 \times T_3 \times t_3$	$0.018^{cgh} \pm 0.009$	$22.82^{cd} \pm 2.21$	$4.76^{bcdet} \pm 1.63$	$22.82^{cd} \pm 5.21$	$15.10^{gh} \pm 1.86$

หมายเหตุ: ตัวเลขในช่องสคริปต์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ms ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

O_1 = น้ำมันสน
 O_2 = น้ำมันปาล์มโเลอิน

T_1 = อุณหภูมิในการทอด 200°C T_2 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 210°C T_3 = อุณหภูมิในการอบแห้ง 220°C

t_1 = เวลาควบคุมในการทอด 45 วินาที t_2 = เวลาในการทอด 30 วินาที t_3 = เวลาในการทอด 50 วินาที

5. การศึกษาชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่ใช้ในกระบวนการทอดที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาข้าวแต๋นในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

5.1 สมบัติทางกายภาพของข้าวแต๋นหลังการทอด

5.1.1 ค่าสี

การตรวจสอบค่าสีของตัวอย่างข้าวแต๋นหลังการทอดที่ในน้ำมันปาล์มโอเลอินที่เติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ นั้นพบว่ามีค่า L^* อยู่ในช่วง 25.05-30.00 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเติมสาร TBHQ ลงในน้ำมันจะให้ค่า L^* ของข้าวแต๋นสูงกว่าชนิดที่เติมสารต้านออกซิเดชันอื่น ๆ ส่วนค่า a^* และค่า b^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสาร TBHQ จะมีค่า a^* และค่า b^* ต่ำกว่าชนิดที่เติมสารต้านออกซิเดชันอื่น ๆ ดังตาราง 17 ซึ่งแสดงว่าข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสาร TBHQ มีค่าความสว่างมากกว่าและมีค่าสีแดงและสีเหลืองน้อยกว่าข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันอื่น ๆ เพราะ TBHQ สามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในข้าวแต๋นได้ดีกว่าชนิดอื่นเนื่องจากโครงสร้างของ TBHQ มีความเสถียรภายใต้อุณหภูมิสูงที่ดีกว่า

5.1.2 จำนวนชั้นที่แตกหัก

จำนวนชั้นที่แตกหักของข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 5.43-10.86 เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันไม่เกี่ยวข้องกับการพองตัวและการแตกหักของข้าวแต๋น

5.1.3 ค่าความแข็ง

ค่าความแข็งของข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันพบว่า ตัวอย่างข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสาร BHA ร่วมกับ BHT มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.29 ± 1.11 รองลงมาคือ ตัวอย่างควบคุมมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.94 ± 0.61 และสุดท้ายคือ ตัวอย่างข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสาร TBHQ มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.46 ± 0.39 และตัวอย่างข้าวแต๋นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารจากธรรมชาติมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 4.44 ± 0.40 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตาราง 17

แต่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากค่าความแข็งในข้าวแตนสัมพันธ์กับสารต้านออกซิเดชันในระดับต่ำ

5.1.4 ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ

ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับภายหลังการทอดตัวอย่างข้าวแตนในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 22.98-27.87 ดังตาราง 17 เนื่องจากปริมาณที่ขยายมีค่าใกล้เคียงกัน และปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับเกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในตัวอย่างก่อนทอด แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสารต้านออกซิเดชันแต่อย่างใด

5.1.5 ปริมาตรที่ขยาย

ปริมาตรที่ขยายภายหลังการทอดตัวอย่างข้าวแตนในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 312-328 ดังตาราง 17 เนื่องจากอยู่ในช่วงของปริมาณความชื้นเดียวกัน การขยายปริมาตรจึงมีค่าใกล้เคียงกันและฤทธิ์ของสารต้านออกซิเดชันเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมีเป็นหลักจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพน้อย

5.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันหลังการทอด

5.2.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นในรูปของกรดโอเลอิกในตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิกมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.033-0.044 ดังตาราง 17 เนื่องจากการเกิดกรดไขมันอิสระเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งสารต้านออกซิเดชันมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้อยมาก

5.2.2 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน

ปริมาณคอนจูเกตไดอินที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวอย่างน้ำมันชนิดที่เติมสาร BHA ผสมร่วมกับ BHT และชนิดที่เติมสาร TBHQ ให้ปริมาณ CD ต่ำที่สุด แสดงว่าสารต้านออกซิเดชันทั้ง 2 แบบให้ผลที่ดีกว่าชนิดที่ใช้สารจากธรรมชาติและชนิดที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน

5.2.3 ค่าเพอร์ออกไซด์

ค่าเพอร์ออกไซด์ของตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.12-1.75 มิลลิสมมูลย์/กิโลกรัม ดังตาราง 17 อาจเป็นเพราะเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับต่ำหรือเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นสูง ๆ จะแตกตัวไปเป็นสารอื่นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5.2.4 ค่าพารา-อะนิซิน

การเพิ่มขึ้นของค่าพารา-อะนิซินในตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตาราง 17 ตัวอย่างน้ำมันที่เติมสาร TBHQ ที่มีค่าต่ำที่สุด แสดงว่าน้ำมันชนิดที่เติมสาร TBHQ ให้ผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณคอนจูเกตไดอินดังที่กล่าวมา

5.2.5 ค่าทีบาร์ส

การเพิ่มขึ้นของค่าทีบาร์สในตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวอย่างน้ำมันที่เติม BHA ผสมร่วมกับ BHT มีค่าต่ำที่สุด แสดงว่าน้ำมันที่เติม BHA ผสมร่วมกับ BHT มีโอกาสเกิดอัลดีไฮด์ได้น้อยกว่าน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่น เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันชนิดนี้มีฤทธิ์เสริมกันหากตัวใดตัวหนึ่งหมดฤทธิ์ลง อีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเข้าแทนที่ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5.2.6 ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิล

การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลของตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวอย่างน้ำมันที่เติมสารจากธรรมชาติมีค่าสูงสุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.68 ± 0.05 ไมโครโมล/กรัม รองลงมาคือ ตัวอย่างน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีค่าเท่ากับ 0.59 ± 0.03 ไมโครโมล/กรัม และชนิดที่อยู่ในระดับต่ำที่สุด คือ ตัวอย่างน้ำมันที่เติมสาร BHA ผสมร่วมกับกับ BHT มีค่าเท่ากับ 0.33 ± 0.02 ไมโครโมล/กรัม มีค่าเท่ากับกับตัวอย่างน้ำมันที่เติมสาร TBHQ มีค่าเท่ากับ 0.36 ± 0.08 ไมโครโมล/กรัม ดังตาราง 11 ให้ผลเช่นเดียวกันกับปริมาณคอนจูเกตไดอินและค่าพารา-อะนิซินีน จึงสรุปได้ว่าน้ำมันที่เติม TBHQ น่าจะใช้ได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก TBHQ มีเสถียรภาพดีกว่าสารชนิดอื่นภายใต้สภาวะความร้อนสูง (Sherwin และ Thompson, 1967) โดยมีจุดเดือดสูงกว่าสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่นและมีหมู่ไฮดรอกซิลในปริมาณที่มากกว่าจึงดักจับอนุมูลอิสระได้ดีกว่า จึงด้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่น

ตาราง 17 คุณภาพทางกายภาพของข้าวแต่นและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ภายหลังการทอดข้าวแต่น

รายการทดสอบ	ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน			
	ไม่ใช้	BHA+BHT	TBHQ	ใบเตย
1. ค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวแต่น				
1.1 ค่าสี				
1.1.1 ค่าความสว่าง (L*)	30.00 ^d ±4.32	25.05 ^b ±2.80	27.97 ^a ±3.13	25.41 ^b ±2.76
1.1.2 ค่าสีแดง (a*)	5.00 ^c ±1.29	7.17 ^a ±1.19	5.89 ^{bc} ±1.37	6.58 ^{ab} ±1.04
1.1.3 ค่าสีเหลือง (b*)	5.46 ^b ±0.92	7.09 ^a ±1.36	6.32 ^{ab} ±1.59	6.50 ^a ±1.37
1.2 จำนวนชื้นที่แตกหัก (%) ^{ns}	10.86±4.77	5.43±3.35	8.40±5.30	7.65±2.51
1.3 ค่าความแข็ง (N)	4.94 ^{ab} ±0.61	5.29 ^a ±1.11	4.46 ^b ±0.39	4.44 ^b ±0.40
1.4 ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ (%) ^{ns}	22.98±3.82	27.87±3.82	23.37±1.24	25.78±2.25
1.5 ปริมาตรที่ขยาย (%) ^{ns}	322±88	325±31	328±39	312±31
2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมัน				
หลังการทอด				
2.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (กรดโอเลอิก) (%) ^{ns}	0.042±0.008	0.033±0.011	0.034±0.012	0.044±0.010
2.2 ปริมาณคอนจูเกตไดอีน (μmol/g)	7.62 ^a ±1.21	5.41 ^b ±0.94	5.29 ^b ±1.56	6.73 ^a ±0.31
2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg) ^{ns}	1.22±0.46	1.12±0.67	1.20±0.52	1.75±0.39
2.4 ค่าพารา-อะนิซีน	27.60 ^d ±3.07	21.87 ^b ±2.31	17.73 ^c ±0.32	28.26 ^a ±2.17
2.5 ค่าทีบาร์ส (mg/g)	1.18 ^b ±0.17	0.99 ^b ±0.31	2.60 ^d ±0.28	3.26 ^a ±0.74
2.6 ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิล (μmol/g)	0.59 ^b ±0.03	0.33 ^c ±0.02	0.36 ^c ±0.08	0.68 ^a ±0.05

หมายเหตุ: ตัวเลขในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

5.3 คุณภาพทางกายภาพของข้าวแดงที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิดและเก็บรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ

5.3.1 ค่าความแข็ง

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าความแข็งของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อค่าความแข็งของข้าวแดงสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้สารต้านออกซิเดชันเดิมก่อนการทอด เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันมีความไวต่อการดูดความชื้น จึงมีผลต่อการเกิดค่าความแข็งที่สูงขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลต่อค่าความแข็งของข้าวแดงสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิโพธิ์ไฟที่สั่นโยกโยกให้ความชื้นจากภายนอกซึมผ่านถุงได้บางส่วน ตัวอย่างข้าวแดงที่อยู่ด้านในถุงจึงดูดซับความชื้นส่วนนี้ จึงทำให้เกิดค่าความแข็งที่สูงขึ้น

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าความแข็งของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 19 เป็นผลจากระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นหลัก พบว่าค่าความแข็งจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา เนื่องจากตัวอย่างข้าวแดงดูดความชื้นจากอากาศในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเกิดจากการซึมผ่านความชื้นจากบรรยากาศภายนอกของถุงพลาสติกโพธิ์ไฟที่สั่นโยกโยก ผลของการทอดข้าวแดงในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันร่วมกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีต่อค่าความแข็งของข้าวแดงพบว่า เมื่อผ่านระยะเวลาในการเก็บรักษาช่วงวันที่ 15 เป็นต้นไป

5.3.2 ค่าแอกติวิตีของน้ำ

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าแอกติวิตีของน้ำของข้าวแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสาร BHA ร่วมกับ BHT ทำให้ค่าแอกติวิตีของน้ำของข้าวแดงลดลงมากที่สุด เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดเป็นสารที่ไม่มีขั้วจึงช่วยลดการดูดความชื้นในข้าวแดงได้ดีกว่าชนิดอื่น ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าแอกติวิตีของน้ำในข้าวแดงลดลงในช่วง 0-30 วันแต่เพิ่มขึ้นในช่วง 45-90 วัน เนื่องจากภายหลังจากการทอดจะต้องปล่อยให้ข้าวแดงเย็นอยู่ภายนอกแล้วจึงทำการบรรจุถุง ในช่วงของการรอความร้อนที่ระอุอยู่ภายในข้าวแดงเย็นลง ความร้อนจากข้าวแดงจะถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อม ความชื้นจากบรรยากาศจะถูกดูดเข้าสู่ข้าวแดงแทนที่หลังจากนั้น ในช่วง 15 และ 30 วันการลดหรือ

เพิ่มค่าแอสคิตีวิตี้ของน้ำในข้าวแตนเป็นผลมาจากการสูญเสียความชื้นสู่บรรยากาศ เพราะค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลดลงตั้งแต่วันแรกจนถึง 30 วัน จากร้อยละ 52.00 เหลือเพียง 49.67 และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายหลังจาก 45 วันจนถึง 90 วัน จากร้อยละ 49.67 เป็น 56.47 (ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (แม่โจ้), 2549) ค่าแอสคิตีวิตี้ของน้ำในข้าวแตนจึงเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้เป็นผลจากความไม่สม่ำเสมอของการพองตัวของเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นผลให้การดูดและคายความชื้นแตกต่างกันไป

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่าแอสคิตีวิตี้ของน้ำของข้าวแตนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 19 โดยมีระยะเวลาเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลมากกว่าสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิดในทุกสิ่งทดลองรวมทั้งตัวอย่างควบคุม

5.3 คุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ได้จากการสกัดข้าวแตนที่ทอดด้วยน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิดและเก็บรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ

5.4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA)

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ FFA ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแตนหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อปริมาณ FFA ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแตนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันทำให้น้ำมันในข้าวแตนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลงจึงเกิดกรดไขมันอิสระน้อยลง ในขณะที่เวลาในการเก็บรักษานานขึ้นมีผลต่อการเกิดปริมาณ FFA ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแตนที่ลดลง เนื่องจากกรดไขมันอิสระส่วนหนึ่งได้เปลี่ยนรูปเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกส่วนหนึ่งระเหยออกไปจากตัวอย่าง

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ FFA ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแตนที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 19 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อค่า FFA น้อยกว่าผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาดังช่วงระยะเวลาวันแรกและช่วง 15 วันของการเก็บรักษาในข้าวแตนที่ใช้สารต้านออกซิเดชันทุกชนิดจะมีปริมาณ FFA สูงกว่าช่วงระยะเวลาอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด

5.4.2 ปริมาณคอนจูเกตไดอิน (CD)

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ CD ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด ทำให้ปริมาณ CD ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นต่ำกว่าที่ได้จากตัวอย่างควบคุม เนื่องจากผลของสารต้านออกซิเดชันที่ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณ CD ที่ได้จึงมีค่าลดลง ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาในช่วง 0-30 วัน มีผลต่อการเกิดปริมาณ CD ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นได้สูงขึ้นและลดต่ำลงในช่วง 45-75 วัน เนื่องจากสาร CD มีการเกิดขึ้นจนถึงระดับหนึ่งและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วเปลี่ยนไปเป็นสารอื่นทำให้มีค่าลดลงในช่วง 45-75 วัน และข้าวแต่นมีเนื้อไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวกันหลายชิ้น ช่วงท้ายปริมาณ CD เพิ่มขึ้นน่าจะเป็นเพราะส่วนที่เหลือซึ่งอยู่ด้านในเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช้ากว่า

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ CD ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 19 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อค่า CD น้อยกว่าผลของระยะเวลา

5.4.3 ค่าเพอร์ออกไซด์ (PV)

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า PV ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสาร TBHQ มีผลทำให้ค่า PV ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นต่ำที่สุด เนื่องจากสาร TBHQ มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ดักจับอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากกว่าสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่น รวมถึงสามารถคงตัวต่อความร้อนได้สูงกว่าสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่น ขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลต่อการเกิดค่า PV ในระดับที่แปรปรวน เนื่องจากผลการเกิดสาร CD ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในการเกิดสารเพอร์ออกไซด์มีค่าแปรปรวนดังกล่าวมาแล้ว

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า PV ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทาง ดังตาราง 19 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิดรวมถึง

ตัวอย่างควบคุมร่วมกับระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นส่งผลต่อการเกิดค่า PV ในระดับที่แปรปรวน ดังเหตุผลที่กล่าวไปแล้วก่อนหน้านี้ โดยน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างที่ทอดในน้ำมันที่เดิม TBHQ และเก็บรักษาเป็นเวลา 45 วัน และน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างที่ทอดในน้ำมันที่เดิมไบโอดีเซลและเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน ให้ค่า PV ต่ำสุด

5.4.4 ค่าพารา-อะนิซีน (p-AV)

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า p-AV ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสาร TBHQ มีผลต่อการเกิดค่า p-AV ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นต่ำที่สุด เหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ขณะที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่า p-AV มีรูปแบบการเพิ่มขึ้นและลดลงเช่นเดียวกับที่พบในค่า CD ในระยะเวลาต่าง ๆ น่าจะมาจากเหตุผลเดียวกัน

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า p-AV ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 19 โดยพบว่าน้ำมันที่สกัดจากข้าวแต่นมีค่า CD ต่ำสุดเมื่อใช้ TBHQ เติมในน้ำมันก่อนการทอดและเป็นข้าวแต่นที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 30 วัน คือมีค่า p-AV เท่ากับ 2.53 ± 1.17

5.4.5 ค่าทีบาร์ส (TBARS)

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า TBARS ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสาร TBHQ มีผลทำให้ค่า TBARS ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นต่ำที่สุด เหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวในการอธิบายค่า PV ขณะที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่า TBARS ของน้ำมันที่สกัดจากข้าวแต่นมีรูปแบบเพิ่มขึ้นและลดลงเช่นเดียวกับค่า p-AV ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของค่า TBARS ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 19 โดยพบว่าค่า TBARS ต่ำสุด เมื่อใช้ TBHQ เติมในน้ำมัน

ก่อนทอดและเก็บรักษาข้าวแต่นเป็นเวลานาน 75 วัน และอยู่ในระดับเดียวกับชนิดที่เดิมใบเตยลงในน้ำมันก่อนทอดและเก็บรักษาข้าวแต่นเป็นเวลานาน 75 วัน

5.4.5 ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิล (CC)

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เติมในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ CC ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นหลังการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 18 โดยสาร TBHQ มีผลทำให้ค่า CC ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นต่ำที่สุด ดังเหตุผลที่กล่าวไว้แล้วในค่า PV ขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 15 วันส่งผลต่อการเกิดค่า CC ในระดับที่สูงที่สุดและลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการระเหยของสารประกอบคาร์บอนิลโดยเฉพาะสารจำพวกอัลดีไฮด์และคีโตน

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของปริมาณ CC ของน้ำมันที่ได้จากตัวอย่างข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 19 โดยสาร TBHQ และใบเตยร่วมกับระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณ CC ในน้ำมันที่สกัดจากข้าวแต่นลดลง ตัวอย่างที่ทอดในน้ำมันที่เดิมใบเตยก่อนทอดจะมีปริมาณ CC ลดลงและต่ำที่สุดในช่วง 90 วัน โดยให้ค่าต่ำสุดคือ มีค่าเท่ากับ 0.22 ± 0.12 ไมโครโมล/กรัม

ตาราง 18 ค่าเฉลี่ยสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวแตนภายหลังการทอดเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก

ปัจจัย	สมบัติทางกายภาพ		สมบัติทางเคมีของน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างข้าวแตน					
	ค่าความแข็ง (N)	ค่า A_w	ปริมาณ FFA (กรดโอเลอิก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)	ปริมาณ CC ($\mu\text{mol/g}$)
สารต้านออกซิเดชัน (A)								
ไม่ใช้ (A_1)	8.59 ^c ±2.08	0.41 ^a ±0.06	1.32 ^a ±1.11	12.47 ^a ±2.32	7.60 ^b ±1.36	14.26 ^d ±3.99	7.16 ^{bc} ±1.68	0.52 ^a ±0.09
BHA+BHT (A_2)	11.34 ^a ±2.82	0.32 ^d ±0.05	1.07 ^c ±0.76	10.82 ^b ±1.89	7.98 ^a ±1.91	12.15 ^b ±3.29	7.27 ^{ab} ±2.02	0.42 ^c ±0.09
TBHQ (A_3)	10.51 ^b ±2.71	0.34 ^c ±0.07	1.30 ^{ab} ±1.13	8.41 ^d ±1.70	6.96 ^c ±1.38	7.65 ^c ±3.23	7.00 ^c ±2.06	0.39 ^d ±0.07
ใบเตย (A_4)	10.54 ^b ±2.72	0.38 ^b ±0.06	1.26 ^b ±0.98	9.10 ^c ±2.23	8.11 ^a ±1.81	13.55 ^c ±3.23	7.37 ^a ±2.16	0.48 ^b ±0.17
เวลาเก็บรักษา (T)								
0 วัน (T_1)	4.78 ^e ±0.76	0.39 ^c ±0.07	3.14 ^a ±0.44	9.77 ^d ±3.15	8.29 ^b ±1.87	10.08 ^d ±3.24	8.04 ^c ±1.29	0.47 ^b ±0.10
15 วัน (T_2)	9.32 ^d ±1.42	0.30 ^b ±0.04	2.33 ^b ±0.39	10.56 ^c ±2.48	7.15 ^c ±0.73	14.46 ^c ±4.63	10.03 ^a ±0.83	0.56 ^c ±0.13
30 วัน (T_3)	10.06 ^c ±1.56	0.30 ^b ±0.04	0.74 ^c ±0.19	11.42 ^b ±2.71	9.21 ^a ±1.68	11.15 ^{cd} ±5.69	6.03 ^c ±0.93	0.45 ^{bc} ±0.12
45 วัน (T_4)	10.66 ^d ±1.52	0.33 ^c ±0.04	0.60 ^d ±0.09	9.90 ^d ±1.25	6.55 ^d ±0.90	12.31 ^{bc} ±2.53	9.11 ^b ±0.34	0.44 ^{bc} ±0.06
60 วัน (T_5)	11.51 ^c ±1.38	0.37 ^d ±0.05	0.63 ^d ±0.09	9.12 ^c ±2.70	6.30 ^d ±0.93	12.53 ^b ±4.00	6.67 ^d ±0.47	0.46 ^{bc} ±0.12
75 วัน (T_6)	12.17 ^b ±1.11	0.40 ^b ±0.05	0.61 ^d ±0.08	8.15 ^e ±0.91	7.29 ^c ±1.10	10.51 ^d ±4.26	4.28 ^e ±0.39	0.42 ^c ±0.11
90 วัน (T_7)	12.91 ^a ±0.90	0.44 ^a ±0.04	0.59 ^d ±0.05	12.47 ^a ±1.34	8.85 ^a ±1.64	12.29 ^{bc} ±3.68	6.25 ^c ±0.50	0.37 ^d ±0.13

หมายเหตุ: ค่าในช่องสีแดงที่เดียวกันที่เป็นผลมาจากสารต้านออกซิเดชันต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และค่าในช่องสีแดงที่เดียวกันที่เป็นผลมาจากระยะเวลาในการเก็บรักษาในช่วงต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 19 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวแดงพันธุ์ต่าง ๆ ที่เติมสารต้านออกซิเดชันต่าง ๆ และเก็บรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ

ปัจจัย	สมบัติทางกายภาพ				สมบัติทางเคมีของน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างข้าวแดง			
	ค่าความแข็ง (N)	ค่า A_w	ปริมาณ FFA (กรดไขมันอิสระ) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)	ปริมาณ CC ($\mu\text{mol/g}$)
$A_1 \times T_1$	4.94 ^m ±0.61	0.47 ^s ±0.01	3.39 ^s ±0.15	13.16 ^{bc} ±2.96	7.42 ^{ls} ±0.52	9.04 ^{de} ±2.10	7.18 ^c ±0.64	0.47 ^{efh} ±0.02
$A_1 \times T_2$	7.55 ^l ±0.74	0.34 ^{gh} ±0.05	2.63 ^d ±0.20	11.75 ^{de} ±1.59	6.80 ^{gh} ±0.50	20.40 ⁱ ±1.30	9.62 ^b ±0.61	0.64 ^{ab} ±0.08
$A_1 \times T_3$	7.61 ^l ±0.38	0.33 ^{hi} ±0.03	0.96 ^e ±0.22	15.19 ^g ±1.02	8.07 ^{ef} ±1.20	14.79 ^b ±4.55	7.03 ^{cf} ±0.65	0.47 ^{efh} ±0.10
$A_1 \times T_4$	8.50 ^k ±0.30	0.37 ^{fg} ±0.02	0.59 ^{hi} ±0.09	11.67 ^{def} ±0.48	6.72 ^{gh} ±0.83	12.53 ^{bc} ±0.55	8.88 ^c ±0.31	0.49 ^{ef} ±0.03
$A_1 \times T_5$	9.49 ^j ±0.35	0.43 ^{cd} ±0.02	0.58 ^{hi} ±0.08	12.18 ^{cde} ±1.61	6.67 ^{gh} ±0.50	15.13 ^b ±1.33	6.64 ^{cde} ±0.80	0.60 ^b ±0.06
$A_1 \times T_6$	10.40 ^h ±0.30	0.46 ^{abc} ±0.02	0.56 ^{hi} ±0.08	9.15 ^{gh} ±0.48	7.39 ^{fg} ±0.32	13.13 ^{bc} ±3.10	4.40 ^b ±0.22	0.47 ^{efh} ±0.07
$A_1 \times T_7$	11.64 ^{ef} ±0.26	0.46 ^{ab} ±0.06	0.54 ⁱ ±0.06	14.17 ^{ab} ±0.62	10.12 ^{ab} ±1.18	14.79 ^b ±2.30	6.38 ^{gh} ±0.21	0.53 ^{cde} ±0.04
$A_2 \times T_1$	5.29 ^m ±1.11	0.31 ^{nk} ±0.02	2.53 ^{de} ±0.27	11.63 ^{de} ±1.20	9.41 ^{bcd} ±2.54	9.20 ^{de} ±3.54	9.63 ^b ±0.42	0.41 ^{ghjk} ±0.03
$A_2 \times T_2$	10.29 ⁱ ±0.97	0.27 ^{mn} ±0.01	1.84 ^f ±0.40	12.67 ^{cd} ±1.92	7.24 ^{ls} ±0.92	13.10 ^b ±3.11	9.08 ^b ±0.15	0.51 ^{del} ±0.13
$A_2 \times T_3$	11.40 ^f ±0.87	0.25 ⁿ ±0.06	0.62 ^{hi} ±0.07	10.66 ^{gh} ±0.76	8.91 ^{cde} ±1.99	13.38 ^b ±2.12	5.58 ⁱ ±0.80	0.33 ^l ±0.04
$A_2 \times T_4$	12.43 ^d ±0.78	0.33 ^{hi} ±0.02	0.62 ^{hi} ±0.07	9.94 ^{gh} ±0.33	7.09 ^{gh} ±0.81	14.62 ^b ±0.93	9.05 ^c ±0.38	0.44 ^l ±0.03
$A_2 \times T_5$	13.03 ^{bc} ±0.59	0.31 ^{nk} ±0.01	0.59 ^{hi} ±0.04	10.05 ^{gh} ±1.06	6.22 ^{gh} ±0.33	10.56 ^{cd} ±1.47	6.84 ^{cde} ±0.39	0.43 ^{gh} ±0.05
$A_2 \times T_6$	13.12 ^b ±0.51	0.34 ^{gh} ±0.02	0.67 ^{hi} ±0.10	7.95 ^{lmno} ±0.24	7.05 ^{gh} ±0.17	10.45 ^{cd} ±4.03	4.22 ^l ±0.30	0.46 ^{cgh} ±0.13
$A_2 \times T_7$	13.80 ^a ±0.42	0.40 ^e ±0.02	0.60 ^{hi} ±0.04	12.87 ^{cd} ±0.86	9.93 ^{abc} ±1.62	13.74 ^b ±3.08	6.50 ^{gh} ±0.76	0.41 ^{ghjk} ±0.02
$A_3 \times T_1$	4.46 ⁿ ±0.39	0.35 ^{gh} ±0.07	3.55 ^a ±0.21	7.01 ^o ±0.55	6.78 ^{gh} ±0.52	8.02 ^{de} ±1.43	7.19 ^c ±0.43	0.42 ^{ghj} ±0.05
$A_3 \times T_2$	10.17 ^j ±0.90	0.27 ^{mn} ±0.03	2.41 ^c ±0.25	7.21 ^{no} ±1.05	7.14 ^{gh} ±0.11	8.80 ^{de} ±0.89	10.54 ^a ±0.33	0.41 ^{ghj} ±0.03

ตาราง 19 (ต่อ)

ปัจจัย	สมบัติทางกายภาพ		สมบัติทางเคมีของน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างข้าวแดง					
	ค่าความแข็ง (N)	ค่า A_w	ปริมาณ FFA (กรดโอเลอิก) (%)	ปริมาณ CD ($\mu\text{mol/g}$)	ค่า PV (meq/kg)	ค่า p-AV	ค่า TBARS (mg/g)	ปริมาณ CC ($\mu\text{mol/g}$)
$A_1 \times T_3$	10.76 ^{gh} ±0.46	0.29 ^{klm} ±0.01	0.65 ^{lm} ±0.08	9.29 ^{gh} ±2.07	9.28 ^{bcd} ±1.64	2.53 ^f ±1.17	5.57 ^g ±0.80	0.39 ^{hik} ±0.04
$A_3 \times T_4$	10.85 ^{gh} ±0.55	0.28 ^{lmn} ±0.01	0.58 ^{lm} ±0.10	8.38 ^{klmn} ±0.26	5.85 ^f ±0.48	9.19 ^{de} ±2.44	9.12 ^{bc} ±0.20	0.42 ^{gh} ±0.05
$A_3 \times T_5$	11.66 ^{ef} ±0.54	0.35 ^{gh} ±0.04	0.65 ^{lm} ±0.10	8.52 ^{klm} ±1.08	6.48 ^{gh} ±1.33	9.01 ^{de} ±3.35	6.46 ^{gh} ±0.14	0.33 ^k ±0.09
$A_3 \times T_6$	12.63 ^{cd} ±0.24	0.40 ^c ±0.01	0.60 ^{lm} ±0.06	7.30 ^{mno} ±0.53	5.97 ^{hi} ±0.34	8.82 ^{de} ±4.54	4.31 ^k ±0.52	0.40 ^{hjk} ±0.11
$A_3 \times T_7$	13.05 ^{bc} ±0.49	0.44 ^{bcd} ±0.03	0.58 ^{lm} ±0.01	11.19 ^{efg} ±0.59	7.26 ^{fg} ±0.90	7.22 ^c ±1.13	5.81 ^{ij} ±0.18	0.34 ^{jk} ±0.07
$A_4 \times T_1$	4.45 ^{ij} ±0.40	0.41 ^{de} ±0.02	3.08 ^c ±0.19	7.28 ^{mno} ±0.80	9.57 ^{abcd} ±1.27	14.08 ^b ±1.44	8.15 ^d ±0.46	0.58 ^{bcd} ±0.13
$A_4 \times T_2$	10.45 ^{gh} ±0.30	0.30 ^{kl} ±0.03	2.46 ^c ±0.20	10.62 ^{gh} ±0.62	7.42 ^{fg} ±0.99	15.52 ^b ±1.56	10.88 ^a ±0.49	0.69 ^a ±0.07
$A_4 \times T_3$	10.47 ^{gh} ±0.32	0.33 ^{lmj} ±0.04	0.73 ^b ±0.11	10.57 ^{gh} ±1.96	10.58 ^a ±0.78	13.90 ^b ±1.56	5.94 ^{hij} ±0.72	0.59 ^{bc} ±0.07
$A_4 \times T_4$	10.87 ^{ef} ±0.55	0.36 ^{gh} ±0.02	0.62 ^{lm} ±0.10	9.63 ^{hij} ±0.45	6.53 ^{gh} ±1.02	12.89 ^{bc} ±1.84	9.41 ^{bc} ±0.23	0.42 ^{gh} ±0.07
$A_4 \times T_5$	11.85 ^c ±0.51	0.39 ^{ef} ±0.02	0.70 ^{hi} ±0.10	5.74 ^p ±1.45	5.83 ⁱ ±1.11	15.41 ^b ±4.43	6.72 ^{efg} ±0.29	0.48 ^{efg} ±0.06
$A_4 \times T_6$	12.54 ^d ±0.33	0.41 ^{de} ±0.02	0.62 ^{lm} ±0.07	8.19 ^{klmno} ±1.02	8.74 ^{de} ±0.83	9.63 ^{de} ±4.61	4.17 ^k ±0.49	0.37 ^{ijk} ±0.10
$A_4 \times T_7$	13.17 ^b ±0.51	0.47 ^a ±0.02	0.62 ^{lm} ±0.04	11.65 ^{def} ±0.55	8.08 ^{ef} ±0.56	13.42 ^b ±1.80	6.31 ^{gh} ±0.39	0.22 ^j ±0.12

หมายเหตุ: ตัวเลขในช่องสถิติเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A_1 = ไม่ใช้สารต้านออกซิเดชัน A_2 = BHA+BHT A_3 = TBHQ A_4 = ไรเบต

T_1 = เวลาในการเก็บรักษา 0 วัน T_2 = เวลาในการเก็บรักษา 15 วัน T_3 = เวลาในการเก็บรักษา 30 วัน T_4 = เวลาในการเก็บรักษา 45 วัน

T_5 = เวลาในการเก็บรักษา 60 วัน T_6 = เวลาในการเก็บรักษา 75 วัน T_7 = เวลาในการเก็บรักษา 90 วัน

5.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวแต่นี่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันและเก็บรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ

ค่าคะแนนจากผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนเกี่ยวกับสมบัติของข้าวแต่นี่ด้านต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

5.5.1 ความสม่ำเสมอในการพองตัวของเมล็ดข้าว

ระยะเวลาในการเก็บรักษามีความแตกต่างกันของความสม่ำเสมอในการพองตัวของเมล็ดข้าวของข้าวแต่นี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 20 แต่ความสม่ำเสมอในการพองตัวของเมล็ดข้าวของข้าวแต่นี่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่เป็นระบบ เนื่องจากตัวอย่างข้าวแต่นี่มีเนื้อสัมผัสที่ขรุขระไม่เรียบและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดบนผิวหน้ามีการพองตัวที่ไม่เท่ากัน จึงยากต่อการทดสอบ ในขณะที่สารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของความสม่ำเสมอในการพองตัวของเมล็ดข้าว

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างของความสม่ำเสมอในการพองตัวของเมล็ดข้าวของข้าวแต่นี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 21 ตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอในการพองตัวมากที่สุดเป็นข้าวแต่นี่ที่ทอดในน้ำมันที่เติมสาร BHA ร่วมกับ BHT และเก็บรักษาเป็นเวลา 75 วัน ซึ่งแสดงว่าข้าวแต่นี่ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 75 วัน ยังมีการยุบตัวน้อยและผู้ชิมให้คะแนน 11.18 ± 2.82 ซึ่งมีความสม่ำเสมอร้อยละ 75 และเป็นช่วงสูงสุดของการพองตัวที่พบ เนื่องจากข้าวแต่นี่มีความหนา 0.80 เซนติเมตร และมีเมล็ดข้าวบางส่วนที่อยู่ด้านในพองตัวได้น้อย

5.5.2 สี

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างของสีของข้าวแต่นี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 20 โดยสาร BHA ร่วมกับ BHT และสารจากธรรมชาติมีผลต่อค่าสีของข้าวแต่นี่มากที่สุด เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี จึงสามารถช่วยชะลอการเกิดเพอร์ออกไซด์ที่มีฤทธิ์ในการฟอกสี ทำให้สีในตัวอย่างข้าวแต่นี่ไม่ซีดลงมากนัก ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นแนวโน้มของคะแนนด้านสีมีค่าลดลง เพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สารประกอบเพอร์ออกไซด์

ซึ่งเป็นสารที่ทำให้สีข้าวแต่นีลดลง

ข้าวแต่นีที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ และเก็บรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ มีผลทำให้คะแนนจากผู้ชิมด้านสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีสีอยู่ในช่วงสีเหลืองซีดจนถึงสีเหลืองทอง แนวโน้มคะแนนของค่าสีของตัวอย่างที่ทอดในน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันมีค่าต่ำที่สุด ผู้บริโภคไม่ยอมรับข้าวแต่นีในช่วงสีเหลืองซีดเนื่องจากดูไม่น่ารับประทานและดูเหมือนหมดอายุ ในขณะที่ตัวอย่างข้าวแต่นีที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติม BHA ผสมร่วมกับ BHT มีคะแนนค่าสีเท่ากับ 8.92-10.05 และมีสีเหลืองทองถึงสีเหลืองน้ำตาล โดยวันแรกของการทดสอบข้าวแต่นีมีคะแนนค่าสีเท่ากับ 10.05 ± 2.79 และมีสีเหลืองน้ำตาล ต่อมาสีจะซีดลงจนเป็นสีเหลืองทอง ในส่วนของตัวอย่างที่เติม TBHQ มีค่าอยู่ในช่วง 7.04-8.44 และตัวอย่างที่เติมสารจากธรรมชาติมีคะแนนค่าสีอยู่ในช่วง 8.83-9.85 และมีสีเหลืองทองและอยู่ได้นานจนครบ 90 วัน สีของตัวอย่างควบคุมที่ซีดลงเนื่องจากเป็นตัวอย่างที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันและสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายที่สุด โดยคุณสมบัติของเพอร์ออกไซด์สามารถทำการฟอกสีได้ ยิ่งตัวอย่างมีเพอร์ออกไซด์มากเท่าไร สีในตัวอย่างยังมีสีซีดลงเท่านั้น

5.5.3 ความกรอบ

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีความแตกต่างกันของคะแนนความกรอบของข้าวแต่นีที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 20 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อคะแนนความกรอบของข้าวแต่นีได้สูงที่สุด เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันเป็นสารกลุ่มที่ไม่มีขี้ผึ้งทำให้ข้าวแต่นีดูดความชื้นจากอากาศในถุงน้อยกว่าชนิดที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ความกรอบของข้าวแต่นีลดลง เนื่องจากถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน ยินยอมให้ความชื้นบางส่วนซึมผ่านจากข้างนอกเข้าสู่ในถุงได้ ตัวอย่างข้าวแต่นีภายในถุงจึงดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ประกอบกับข้าวแต่นีเป็นอาหารแห้งจึงไวต่อความชื้น ค่าความกรอบที่ได้จึงลดลงตามเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันของคะแนนค่าความกรอบของข้าวแต่นีที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตาราง 21 เพราะข้าวแต่นีที่พองตัวมากกว่าจะดูดความชื้นจากอากาศได้มากกว่าความกรอบจึงลดลง ประกอบกับข้าวแต่นีมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันจึงสังเกตความแตกต่างได้ยาก

5.5.4 กลิ่นรส

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อความแตกต่างกันของคะแนนด้านกลิ่นรสของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 20 โดยตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันก่อนการทอดมีกลิ่นรสของข้าวแต่นต่ำกว่าชนิดที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด ชนิด แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษายังเก็บไว้นานยิ่งส่งผลทำให้กลิ่นรสของข้าวแต่นได้คะแนนลดลง เนื่องจากข้าวแต่นเริ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนกลิ่นรสตัวอย่างข้าวแต่นลดลง โดยสังเกตพบกลิ่นไม่พึงประสงค์ชัดเจนตั้งแต่อายุการเก็บรักษา 75 วันเป็นต้นไป

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของคะแนนกลิ่นรสของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 21 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 รวมถึงตัวอย่างควบคุมร่วมกับระยะเวลาในการเก็บรักษาทุกช่วงเวลามีผลต่อการเกิดกลิ่นรสของข้าวแต่นลดลง เนื่องจากในช่วงวันแรกข้าวแต่นที่ทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิดและชนิดที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 10.10-10.87 เพราะขณะที่ทอดใหม่ ๆ จะมีกลิ่นหอมของน้ำมันและกลิ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดหลังจากนั้นกลิ่นหอมจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดลดลงเนื่องจากการระเหยสู่บรรยากาศเดียวกันน้ำมันในข้าวแต่นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้กลิ่นไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ที่ผู้ชิมสังเกตพบ คือ กลิ่นรสเพื่อนของสารต้านออกซิเดชันที่ตกค้างในตัวอย่างข้าวแต่นซึ่งถูกกลบด้วยกลิ่นหอมของข้าวแต่นหลังการทอดใหม่ แต่ต่อมากลิ่นหอมระเหยออกไป กลิ่นสารต้านออกซิเดชันชนิดที่เป็นสารสังเคราะห์จะถูกสังเกตพบโดยผู้ชิมผสมกับกลิ่นหืนที่เริ่มเกิดขึ้น โดยตัวอย่างที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันที่ใช้ทอดเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ขึ้นตั้งแต่ 45 วันเป็นต้นไป โดยผู้ชิมให้คะแนนต่ำกว่า 9 เมื่อผู้ชิมสังเกตพบกลิ่นไม่พึงประสงค์ แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นกลิ่นรสเพื่อนจะจางลงแต่จะมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ข้าวแต่นที่ทอดในน้ำมันที่มีการทอดใบเตยก่อนทอดข้าวแต่นจะไม่มีกลิ่นรสเพื่อนแต่จะสังเกตพบกลิ่นหืนหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 75 วัน เนื่องจากใบเตยมีสารต้านออกซิเดชันดังที่กล่าวไว้แล้วในตาราง 2

5.5.5 ระดับกลิ่นหืนที่ผู้ชิมสังเกตพบ

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อความแตกต่างกันของคะแนนระดับกลิ่นหืนของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 20 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนของข้าวแต่นดำที่สุด เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันมีฤทธิ์ในการดักจับอนุมูลอิสระจึงสามารถชะลอการเกิดการเหม็นหืนได้ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหืนในข้าวแต่นได้มากขึ้น เพราะฤทธิ์ของสารต้านออกซิเดชันลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ที่ศึกษาในระยะเวลา 90 วัน พบว่ากลิ่นเหม็นหืนตั้งแต่วันที่เก็บรักษา 45 วันเป็นต้นไป

อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าความแตกต่างกันของคะแนนระดับกลิ่นหืนของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังตาราง 21 โดยสารต้านออกซิเดชันทั้ง 3 ชนิด รวมถึงตัวอย่างควบคุมร่วมกับระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนในตัวอย่างข้าวแต่นได้มากขึ้น ตัวอย่างที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันลงในน้ำมันที่ใช้ทอด ผู้ชิมสังเกตพบกลิ่นเหม็นหืนเมื่ออายุการเก็บรักษา 30 วัน เป็นต้นไป ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนด้านกลิ่นรส ขณะที่สารต้านออกซิเดชันทั้ง BHA ร่วมกับ BHT TBHQ และใบเตย เมื่อเติมลงในน้ำมันที่ใช้ทอดผู้ชิมจะสังเกตพบกลิ่นเหม็นหืนในข้าวแต่นเมื่ออายุการเก็บรักษา 45 วัน เป็นต้นไป ซึ่งพบว่าไม่สอดคล้องกับค่าคะแนนด้านกลิ่นรส เนื่องจากผู้ทดสอบชิมถูกฝึกการทดสอบกลิ่นเหม็นหืนจนสามารถสังเกตพบกลิ่นเหม็นหืนได้ไวกว่าบุคคลทั่วไป ทั้งนี้ทั้งนั้นน่าจะใช้ผลจากคะแนนด้านกลิ่นรสเป็นเกณฑ์ ซึ่งพบว่าผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสให้ผลที่ละเอียดกว่าผลทางเคมีในช่วงระยะการศึกษาดังกล่าว เมื่อข้าวแต่นบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนอากาศและความชื้นได้เล็กน้อย

ในส่วนของน้ำมันทอดทั้ง 4 ชนิดพบว่า มีปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเพอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมันที่ทอดข้าวแต่นที่เติม TBHQ มีปริมาณคอนจูเกตไดอินและค่าพารา-อะนิซินด้าที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันทอดอีก 3 ชนิด

ชนิดของสารต้านออกซิเดชันที่เหมาะสมสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวแต่น คือ TBHQ เนื่องจากตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาถึง 90 วัน โดยมีปริมาณคอนจูเกตไดอิน ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่าพารา-อะนิซินด้า ค่าทีบาร์สมิก้าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างชนิดอื่น ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับตัวอย่างที่เติม TBHQ ซึ่งข้าวแต่นมีลักษณะความสม่ำเสมอในการพองตัวของเม็ดข้าวถึงร้อยละ 75 มีสีในช่วงสีเหลืองทอง มีความกรอบอยู่ในช่วงกรอบ-ร่วน มีกลิ่นรสที่ดี ไม่มีกลิ่นหืน โดยสามารถเก็บรักษาได้ 60 วัน

ขณะที่ข้าวแต่นที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันจะเก็บรักษาเพียง 30 วัน ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด
โพลีโพรพิลีน



ตาราง 20 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแต่นเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลัก

ปัจจัย	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	ความสม่ำเสมอในการพองตัว	สี	ความกรอบ	กลิ่นรส	ระดับกลิ่นที่ผู้ชิมสังเกตพบ
สารต้านออกซิเดชัน (A)					
ไม่ใช้ (A ₁)	9.52 ^{bc} ±2.43	6.57 ^c ±2.60	7.49 ^b ±2.97	9.10 ^b ±2.32	3.25 ^a ±2.66
BHA+BHT (A ₂)	9.41 ^{bc} ±4.42	9.60 ^a ±2.50	8.48 ^a ±2.45	9.60 ^a ±2.55	2.76 ^b ±1.90
TBHQ (A ₃)	9.43 ^{bc} ±2.58	7.61 ^b ±2.97	8.70 ^a ±2.82	9.74 ^a ±2.28	2.90 ^b ±1.94
สารจากธรรมชาติ (A ₄)	9.85 ^{bc} ±2.43	9.40 ^a ±2.56	8.78 ^a ±2.92	9.77 ^a ±3.30	2.70 ^b ±1.79
เวลาเก็บรักษา (T)					
0 วัน (T ₁)	9.14 ^{bc} ±2.39	8.16 ^{ab} ±3.33	9.55 ^a ±2.81	10.56 ^a ±2.09	0.82 ^c ±0.65
15 วัน (T ₂)	9.45 ^{abc} ±2.43	8.02 ^{ab} ±2.84	9.30 ^a ±2.77	9.99 ^{ab} ±2.17	1.87 ^d ±0.86
30 วัน (T ₃)	8.87 ^c ±2.57	8.67 ^a ±2.95	8.92 ^{ab} ±2.53	10.03 ^a ±3.58	2.80 ^c ±0.71
45 วัน (T ₄)	10.06 ^a ±2.44	8.58 ^a ±2.84	8.31 ^{bc} ±2.68	9.52 ^b ±2.38	3.45 ^b ±1.72
60 วัน (T ₅)	9.63 ^{abc} ±2.51	8.56 ^a ±2.83	8.00 ^{cd} ±2.73	9.67 ^b ±1.80	3.72 ^b ±2.22
75 วัน (T ₆)	9.92 ^{ab} ±5.38	8.36 ^a ±2.77	7.61 ^d ±2.83	8.29 ^c ±2.96	3.41 ^b ±2.33
90 วัน (T ₇)	9.81 ^{ab} ±2.54	7.69 ^b ±2.94	6.88 ^c ±2.57	8.84 ^c ±2.54	4.26 ^a ±2.79

หมายเหตุ: ค่าในช่องสควมที่เดียวกันที่เป็นผลมาจากสารต้านออกซิเดชันต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และค่าในช่องสควมที่เดียวกันที่เป็นผลมาจากระยะเวลาในการเก็บรักษาในช่วงต่าง ๆ ที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 21 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแตนภายใต้การห่อในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันต่าง ๆ และเก็บรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ

ปัจจัย	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	ความสม่ำเสมอในการพองตัว	สี	ความกรอบ	กลิ่นรส	ระดับกลิ่นหืนของผู้ชิมสังเกตพบ
A × T					
A ₁ × T ₁	9.54 ^{abcde} ±1.93	6.40 ^{ns} ±2.74	9.13 ^{ns} ±2.66	10.87 ^{ab}	0.67 ±0.52
A ₁ × T ₂	10.03 ^{abcde} ±1.72	6.50 ^{ns} ±2.42	8.74 ^{ns} ±2.90	9.47 ^{bcdef} ±2.17	1.76 ^{gh} ±1.00
A ₁ × T ₃	8.91 ^{cdef} ±2.32	7.24 ^{ns} ±2.86	8.02 ^{ns} ±2.83	9.61 ^{bcdef} ±1.88	3.11 ^{cde} ±0.63
A ₁ × T ₄	10.50 ^{abc} ±1.88	6.75 ^{ns} ±2.53	7.17 ^{ns} ±2.78	8.86 ^{defgh} ±2.67	3.48 ^{cd} ±2.13
A ₁ × T ₅	9.18 ^{bcdef} ±2.97	6.57 ^{ns} ±2.47	6.77 ^{ns} ±2.73	8.89 ^{defgh} ±1.51	4.45 ^b ±2.74
A ₁ × T ₆	9.32 ^{bcdef} ±2.91	6.87 ^{ns} ±2.50	6.42 ^{ns} ±2.89	8.48 ^{gh} ±2.91	3.24 ^{cde} ±2.16
A ₁ × T ₇	9.17 ^{bcdef} ±2.76	5.64 ^{ns} ±2.56	6.18 ^{ns} ±2.81	7.54 ^h ±1.96	6.08 ^a ±3.68
A ₂ × T ₁	8.92 ^{cdef} ±2.51	10.05 ^{ns} ±2.79	9.30 ^{ns} ±2.68	10.10 ^{abcde} ±2.30	1.02 ^h ±0.71
A ₂ × T ₂	8.71 ^{cdef} ±2.76	9.46 ^{ns} ±2.09	8.84 ^{ns} ±2.47	9.81 ^{abcde} ±2.20	1.83 ^{gh} ±0.75
A ₂ × T ₃	7.90 ^f ±2.39	9.87 ^{ns} ±2.51	8.80 ^{ns} ±2.07	9.67 ^{abcde} ±2.47	2.89 ^{de} ±0.67
A ₂ × T ₄	9.78 ^{abcde} ±2.69	9.93 ^{ns} ±2.52	8.52 ^{ns} ±2.83	9.43 ^{bcdef} ±2.59	3.40 ^{cde} ±1.67
A ₂ × T ₅	9.61 ^{abcde} ±2.48	9.51 ^{ns} ±2.27	8.08 ^{ns} ±2.43	10.51 ^{abc} ±1.84	3.47 ^{cd} ±2.03
A ₂ × T ₆	11.18 ^a ±2.82	9.47 ^{ns} ±2.27	7.99 ^{ns} ±2.13	7.96 ^{gh} ±3.38	3.32 ^{cde} ±2.56
A ₂ × T ₇	9.77 ^{abcde} ±2.02	8.92 ^{ns} ±2.97	7.85 ^{ns} ±2.26	9.74 ^{abcde} ±2.20	3.40 ^{cde} ±2.29
A ₃ × T ₁	8.32 ^{ef} ±2.47	7.14 ^{ns} ±3.58	9.86 ^{ns} ±2.50	10.55 ^{abc} ±2.21	0.89 ^g ±0.84
A ₃ × T ₂	9.97 ^{abcde} ±2.59	7.04 ^{ns} ±3.04	9.75 ^{ns} ±2.64	10.42 ^{abc} ±1.90	1.92 ^{fg} ±0.86

ตาราง 21 (ต่อ)

ปัจจัย	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	ความสม่ำเสมอในการพองตัว	สี	ความกรอบ	กลิ่นรส	ระดับกลิ่นที่ผู้ชิมสังเกตเห็น
$A_3 \times T_3$	9.13 ^{bcdef} ±2.87	8.09 ^{ns} ±2.84	9.02 ^{ns} ±2.48	9.75 ^{abcde} ±2.29	2.73 ^{def} ±0.70
$A_3 \times T_4$	9.50 ^{abcde} ±2.79	7.78 ^{ns} ±2.76	8.88 ^{ns} ±2.59	9.80 ^{abcde} ±1.95	3.42 ^{cde} ±1.71
$A_3 \times T_5$	9.71 ^{abcde} ±1.89	8.44 ^{ns} ±2.55	8.64 ^{ns} ±2.85	9.68 ^{abcde} ±1.69	3.70 ^{bcd} ±2.06
$A_3 \times T_6$	9.79 ^{abcde} ±2.29	7.45 ^{ns} ±3.04	7.83 ^{ns} ±3.08	8.68 ^{cdef} ±2.52	3.67 ^{bcd} ±2.24
$A_3 \times T_7$	9.57 ^{abcde} ±2.84	7.37 ^{ns} ±2.83	6.94 ^{ns} ±2.61	9.32 ^{cdef} ±2.81	3.96 ^{bc} ±2.27
$A_4 \times T_1$	9.78 ^{abcde} ±2.45	9.05 ^{ns} ±2.90	9.91 ^{ns} ±3.36	10.73 ^{abc} ±2.32	0.68 ⁱ ±0.40
$A_4 \times T_2$	9.08 ^{bcdef} ±2.35	9.09 ^{ns} ±2.63	9.86 ^{ns} ±2.98	10.25 ^{abcd} ±2.33	1.96 ^{fg} ±0.83
$A_4 \times T_3$	9.54 ^{abcde} ±2.48	9.51 ^{ns} ±2.88	9.82 ^{ns} ±2.45	11.08 ^a ±5.99	2.48 ^{cde} ±0.73
$A_4 \times T_4$	10.45 ^{abcd} ±2.23	9.85 ^{ns} ±2.20	8.65 ^{ns} ±2.27	9.98 ^{abcde} ±2.16	3.51 ^{cd} ±1.37
$A_4 \times T_5$	10.03 ^{abcde} ±2.62	9.72 ^{ns} ±2.90	8.49 ^{ns} ±2.60	9.60 ^{bcd} ±1.82	3.26 ^{cde} ±1.85
$A_4 \times T_6$	9.38 ^{bcdef} ±2.38	9.66 ^{ns} ±2.13	8.19 ^{ns} ±2.88	8.04 ^{gh} ±3.06	3.43 ^{cde} ±2.44
$A_4 \times T_7$	10.72 ^{ab} ±2.27	8.83 ^{ns} ±2.15	6.53 ^{ns} ±2.34	8.74 ^{cdef} ±2.63	3.61 ^{bcd} ±1.77

หมายเหตุ: ตัวเลขในช่องสควมเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากกำกับด้วย ns หมายความว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

A_1 = ไม่ใช้สารต้านออกซิเดชัน A_2 = BHA+BHT A_3 = TBHQ A_4 = ไรเดย

T_1 = เวลาในการเก็บรักษา 0 วัน T_2 = เวลาในการเก็บรักษา 15 วัน T_3 = เวลาในการเก็บรักษา 30 วัน T_4 = เวลาในการเก็บรักษา 45 วัน

T_5 = เวลาในการเก็บรักษา 60 วัน T_6 = เวลาในการเก็บรักษา 75 วัน T_7 = เวลาในการเก็บรักษา 90 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพของแม่พิมพ์แผ่นพลาสติกอะคริลิกเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ของกลุ่มแม่บ้าน ทั้ง 2 ขนาดพบว่า แม่พิมพ์ขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตร ที่ความหนา 0.5 เซนติเมตร ขณะที่แม่พิมพ์ใหม่ขนาดใหญ่ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 เซนติเมตร ที่ความหนา 0.8 เซนติเมตร ใช้ได้ดีที่สุด

2. การศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งและความชื้นที่เหลือที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวแตนหลังทอดและการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นร้อยละ 10 ได้ข้าวแตนมีความกรอบดี ดูดซับน้ำมันได้น้อยและมีสีที่ดี คือ มีสีเหลืองที่ไม่หมองคล้ำ ส่วนข้าวแตนอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นร้อยละ 5 มีค่าความกรอบที่น้อยที่สุดและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำ

ส่วนสมบัติทางเคมีเป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนคุณภาพน้ำมันหลังการทอดนาน 2 ชั่วโมงติดต่อกัน ในกรณีนี้น้ำมันที่ใช้ทอดข้าวแตนที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 10 พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของค่าต่าง ๆ หลังการทอด คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าคอนจูเกตไดอิน ค่าพารา-อะนิซิดินและค่าทีบาร์อยู่ในระดับต่ำ

3. การศึกษาชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เวลาและอุณหภูมิในการทอดที่มีผลต่อคุณภาพข้าวแตนพบว่า น้ำมันปาล์มโอเลอินใช้ได้ดีกว่า เนื่องจากไม่เป็นไขที่อุณหภูมิห้องจึงไม่ต้องเสียเวลาในการอุ่นน้ำมันก่อนการทอด รวมทั้งน้ำมันผสมระเหยได้ง่ายจึงมีการสูญเสียระหว่างการทอด เนื่องจากมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินจึงระเหยได้สูงกว่า และมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระหลังการทอดต่ำกว่าน้ำมันผสม นอกจากนี้ น้ำมันผสมมีราคาแพงกว่าแม้ว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินจะเสื่อมเสียได้ง่ายกว่าน้ำมันผสม โดยการทอดด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวแตนที่ได้มีสีสวยงาม มีการดูดซับน้ำมันน้อย การเปลี่ยนคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของปริมาณคอนจูเกตไดอิน ปริมาณเพอร์ออกไซด์ และค่าทีบาร์ ส่วนเวลาในการทอดที่เหมาะสม คือ 30 วินาที ข้าวแตนที่ได้มีสีเหลืองทองจนถึงเหลืองน้ำตาล ขณะที่เวลาอื่น ๆ จะให้สีข้าวแตนหมองคล้ำ และการเปลี่ยนคุณภาพน้ำมันหลังการทอดพบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์และทีบาร์อยู่ในระดับต่ำ

4. การศึกษาชนิดของสารต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวแต่นพบว่า คุณภาพของน้ำมันหลังการทอดเมื่อใช้สาร TBHQ เมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านออกซิเดชันอื่น ๆ และคุณภาพของน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างข้าวแต่นที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่เติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ในทุกช่วงของอายุการเก็บรักษาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อเติมสาร TBHQ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยช่วยให้สามารถเก็บรักษาข้าวแต่นได้นานขึ้นกว่าชนิดที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งเก็บรักษาได้นาน 75 วัน ขณะที่ข้าวแต่นที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชันเก็บรักษาได้เพียง 30 วัน แต่ถ้าใช้สารธรรมชาติ คือ ใบเตย จะเก็บรักษาได้เป็นเวลา 60 วัน ซึ่งใช้ได้รองมาจาก TBHQ

ข้อเสนอแนะ

1. การขึ้นรูปข้าวแต่นไม่ควรกดแน่นจนเกินไปรวมถึงข้าวแต่นที่หนาจนเกินไป เนื่องจากเมื่อนำไปทอดข้าวแต่นจะไม่พอง เม็ดข้าวจะลึบและน้ำมันไม่สามารถเข้าสู่เนื้อในของข้าวแต่นได้ทั้งหมด โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ด้านใน
2. การอบแห้งข้าวแต่นในตู้อบลมร้อนควรดูทิศทางของลมเข้าและออกให้ดี เนื่องจากทางลมเข้าจะพัดพาความชื้นในตัวออกมาได้ดีกว่าทางลมออก จึงจำเป็นต้องทำการสลับถาดเพื่อให้มีการพัดพาความชื้นออกจากตัวอย่างได้เท่ากันและควรทำการพลิกกลับด้านหน้าและด้านหลังของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งด้วย เนื่องจากถาดมีช่องประตูที่ใช้ระบายอากาศค่อนข้างห่าง มีตัวอย่างบางส่วนไม่สามารถสัมผัสกับลมร้อนได้โดยตรง ทางที่ดีควรใช้ตะแกรงมุ้งลวดดีที่สุด เนื่องจากเนื้อข้าวมีความถี่ การพัดพาความชื้นออกจากตัวอย่างสามารถทำได้เท่ากันทั่วทั้งชิ้น
3. การลดระยะเวลาในการขึ้นรูปข้าวแต่นอาจทำได้ด้วยการปรับส่วนผสมให้มีปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นด้วยการผสมน้ำในสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อลดการจับตัวเป็นก้อนของข้าว
4. การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมช่วยลดการเกิดออกซิเดชัน ด้วยการใช้อลูมิเนียมฟอยล์ (metallize) หรือการใช้ถุงพอลิโพรพิลีนชนิดขุ่น เพื่อช่วยป้องกันการซึมผ่านของอากาศและลดอัตราการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากแสง

บรรณานุกรม

- เกศราภรณ์ มนชัยภูมิวัฒน์. 2545. ไขมันและน้ำมัน. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา
<http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/st2545/4-5/no12/fatpic.html>.
(20 กรกฎาคม 2547).
- นครศรี รังควัต. 2544. ภูมิปัญญาชาวบ้าน: ข้าวแต่น/ข้าวโป่ง. แม่โจ้ปริทัศน์ 2(3): 67-72.
- นวลศรี รักอิสริยธรรมและอัญญา เจนวิถี. 2545. แอนติออกซิเดนท์: ในผัก-สมุนไพร. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์. 125 น.
- นิธิยา รัตนปณนธ์. 2541. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 193 น.
- _____. 2543. ผลกระบวนการแปรรูปต่ออาหารและสารอาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 250 น.
- _____. 2545. เหมื่ออาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 487 น.
- นุช ผลนาค. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารขบเคี้ยวจากกระบวนการทอด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 85 น.
- พรรณี เดชกำแหงและศศิเกษม ทองขงค์. 2530. เหมื่ออาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 128 น.
- เบญจมาภรณ์ ปัญญาพวก วรสนา อภิวัฒนานนท์และพิมพ์พรรณ สันทัด. 2539. ผลทางกายภาพและเคมีที่มีต่อการสกัดกลิ่นรสจากใบเตย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 81 น.
- ปราณี วราสวัสดิ์. 2542. เอกสารประกอบการเรียนบทปฏิบัติการวิชา ทอ 320 เหมื่ออาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 128 น.
- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2535. คุณภาพของน้ำมันทอด. อาหาร 22(2): 8-12.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2543. การวิเคราะห์กระบวนการเจลาตินในเซชันและรีโทรกราเดชันที่มีผลต่อความพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 23 น.
- รัชนี ดัฒตะพานิชกุล. 2532. เหมื่ออาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 194 น.

- วิไล รังสาทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 500 น.
- ศิริชัย สายอ้าย และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2547. การประเมินความถี่เปลี่ยนแปลงพลังงานในเครื่องลดความชื้นข้าวแตน. น. 507-513. ใน รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 5 20 - 21 พฤษภาคม 2547. เชียงใหม่ ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ เชียงใหม่: สำนักงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2536. เอกสารประกอบการสอนวิชา ทอ 471 การแช่เย็นและการแช่เยือกแข็งผลผลิตการเกษตร. เชียงใหม่: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะธุรกิจการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 165 น.
- สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (แม่โจ้). 2549. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาปี 2549. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2546. กระบวนการทำแห้ง. น. 187-195. ใน คณะจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- _____ และวรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร. 2546. อาหารและการควบคุม. น. 237-240. ใน คณะจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.36/2546). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps36_46.pdf (20 กรกฎาคม 2547).
- สันติ ทิพย์วงศ์. 2535. สารกันเหี่ยวสำหรับอาหาร. อาหาร 22(2): 1-7.
- อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่. 2547. ข้อมูลชุมชนและกลุ่ม. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.thaitambon.com/tambon/tcommlist.asp?ID=501401> (18 กรกฎาคม 2547).
- _____. 2547. ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.thaitambon.com/tambon/tprdsdesc.aps?Prod=01121420189&ID=50140&SME=011214201120> (18 กรกฎาคม 2547).

- AOCS (American Oil Chemists' Society). 1998. AOCS Official method Ca 5a-40. Free fatty acid. In Firestone, D. (ed). **Official Method and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 5th ed. Champaign, Illinois: AOCS.
- _____. 1998. AOCS Official method Cd 18-20. p-Anisidine value. In Firestone, D. (ed). **Official Method and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 5th ed. Champaign, Illinois: AOCS.
- Atkinson, M., 2006. **Virgin Coconut Oil**. [online]. Available <http://www.virgincoconutoil.co.uk> (20 December 2006)
- Blumenthal, M. M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. **Food Technology** 45(2): 68-94.
- Bouchon, P., J. M. Aguilera and D. L. Pyle. 2003. Structure Oil-Absorption Relationships During Deep-Fat Frying. **Journal of Food Science** 68(2003): 2711-2716.
- Chamber, G. 2000. **Recycled Cooking Oils: Assessment of Risks for Public Health**. Scientific and Technological Options Assesment. Luxembourg: European Parliament.
- Chipault, J. R. 1962. In antioxidation and antioxidants. New York: John Wiley and Sons Inc. pp. 477 Cited by D. L. Madhavi, R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1995. Technological aspects of food antioxidants. pp. 159-265 In D. L. Madhavi, S. S. Deshpande and D. K. Salunkhe, J. R. Chipault. (eds.). **Food Antioxidants Technological, Toxicological, and Health Perspectives**. New York: Marcel Dekker.
- Clark, W. L. and G. W. Serbia. 1991. Safety aspects of frying fats and oil. **Food Technology** 45(2): 84-94.
- DeMan, J. M. 1990. **Principles of Food Chemistry**. 2nd ed. New York: Van nostrand reinhold. 500 p.
- Dugan, L. R. 1995. Stability and rancidity. **Journal of American Oil Chemists' Society** 32(1995): 605-609.
- Evan, J. C. 2002. Optimal tocopherol concentration to inhibit soybean oil oxidation. **Journal of American Oil Chemists' Society** 79(2002): 47-51.
- Fennema, O. R. 1996. Water and Ice. In Fennema, O. R. (ed). **Food Chemistry**. 3rd ed. New York: Marcel Dekker.

- Fellow, P. 1997. Food processing technology: Principle and practice. Cambrid: Ellis Horwood.
- อ้างโดย นิธิยา รัตนานนท์. 2543. **ผลของกระบวนการแปรรูปต่ออาหารและสารอาหาร**.
เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Firestone, D., R. F. Stier and M. M. Blumenthal. 1991. Regulation of frying fats and oils. **Food Technology** 45(2): 90-94.
- Gamble, M. H., and P. Rice. 1987. Effect of pre-frying drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. **International Journal Food Science Technology** 22(1987): 535-548
- Hine, D. J. 1987. Shelf-life prediction. In Pain (ed.). **Modern Processing: Packing and Distribution Systems for Food**. New York: AVI Publishing Co.
- Joffre, F., J. C. Martin, M. Genty, L. Demaison, O. Loreau, J. P. Noel and J. L. Sebedio. 2001. Kinetic parameters of hepatic oxidation of cyclic fatty acid monomers formed from linoleic and linolenic acids. **Journal of Nutritional Biochemistry** 12(2001): 554-558.
- Johari, M., L. M. Plessis, M. Barkhuysen, H. Viljoen, A. Abdullah, M. Isa, and I. Razail. 2003. South Africa's initial experience in using palm olein blends for the manufacture of pre-fried French fries. **Malaysia Palm Oil Board** [Online] pod 38: 11-15. Available <http://palmoils.mpob.gov.my/webbased/pod38-p5.pdf>. (20 August 2004)
- Jung, A. and B. M. David. 1990. Effect of α , γ and δ -tocopherol on oxidation stability of soybean oil. **Journal of American Oil Chemists' Society** 55(1990): 1,464-1,465.
- Katz, E. E. and T. P. Labuza. 1981. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack products. **Journal of Food Science** 46(1981): 403-408.
- KIC Chemicals, Inc., 2006. **Plam Kernel**. [online]. Available <http://www.kicgroup.com> (20 December 2006)
- Kilgor, L. and M. Bailey. 1970. Degradation of linoleic acid during potato frying. **Journal American Dietary Association** 56: 130-132. อ้างโดย วิไล รังสาดทอง. 2543. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. น. 266.

- Kristott, J. 2000. Fat and Oils. In D. Kilcast and P. Subramaniam. (eds.). **The Stability and Shelf-life of Food**. England: Woodhead Publishing Limited.
- Krokida, M. K., V. Oreopoulou and Z. B. Marouslis. 2000. Water loss and uptake as a function of frying time. **Journal of Food Engineering** 44(2000): 39-46.
- Krokida, M. K., V. Oreopoulou, Z. B. Marouslis and D. Marinos-Kouris, 2001a. Effect of pre-drying on quality of French fries. **Journal of Food Engineering** 49(2001): 347-354.
- _____. 2001b. Colour changes during deep fat frying. **Journal of Food Engineering** 48(2001): 219-225.
- Laksanalamai, V. and S. Ilangantileke. 1993. Comparison of aroma compound (2-acetyl-1-pyrrolinr) in leaves from pandan (*Pandanus amaryllifolius*) and Thai fragrant rice (Khao Dawk Mali-105). **Cereal Chemistry** 70(4): 381-384.
- Ling, S. C. and M. Suhaila. 2001. Alpha-tocopherol content in 62 edible tropical plants. **Journal of Agriculture and Food Chemistry** 49(6): 3101-3105.
- Lawson, H. 1995. **Food Oil and Fat: Technology, Utilization and Nutrition**. New York: International Thomson publishing. pp 74-75.
- Madhavi, D. L., S. S. Deshpande and D. K. Salunkhe. 1995. **Food Antioxidant: Technological, Toxicological and Health Perspectives**. New York: Marcel Dekker. pp 160-188.
- Math, R.G., V. Velu, A. Nagender and D. G. Rao. 2004. Effect of frying on moisture, fat and density of papad. **Journal of Food Engineering** 64(2004): 429-434.
- McGill, E. A. 1980. The chemistry of frying. **Bakers Digest** 6(62): 38-42.
- Mellema M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried food. **Food Science and Technology** 14(2003): 364-373.
- Moreno, M., M., D. M. Olivares and F. J. Amezquita Lopez, 1998. Study of the formation of carbonyl compounds in edible oils and fats by H-NMR and FTIR. **Journal of Molecular Structure** 482-483(1999): 557-561.
- Moreira, R. G. and M. A. Barrufet. 1999. A new approach to describe oil absorption in fried food: a simulation study. **Journal of Food Engineer** 35(1999): 1-22
- _____, M. E. Castell-Perez and M. A. Barrufet. 1999. **Deep-Fat Frying: Fundamental and Application**. Maryland: Aspen publication. 350 p.

- Naz, S., R. Siddiqi, H. Sheikh and S. A. Sayeed. 2005. Deterioration of olive, corn and soybean due to air, light, heat and deep-frying. **Food Research International** 38(2005): 127-134.
- Özkan, M., A. Kirca, and B. Cemeroglu. 2002. Effect of moisture content on CIE color value in dried apricots. **Europe Food Research Technology** 216(2002): 217-219.
- O' Brien, R. 1993. Food service use of fat and oil. **International Food Research Molecule** 4(8): 913-921.
- Patricia C. 1995. **Official Method of Analysis of AOAC International**. Volume 2. 16th ed., USA: AOAC International.
- Pegg, R. B. 2005. Measurement of primary lipid oxidation. In R. E. Wrolstad, T. E. Aeree, E. A. Decker, M. H. Panmer, D. S. Reld, S. J. Schwartz, C. F. Shoemaker, D. M. Smith and P. Sporns. (eds.). **Handbook of Food Analytical Chemistry**. New Jersey: John Wiley and Sons.
- _____. 2005. Spectrophotometric measurement of secondary lipid oxidation product. In R. E. Wrolstad, T. E. Aeree, E. A. Decker, M. H. Panmer, D. S. Reld, S. J. Schwartz, C. F. Shoemaker, D. M. Smith and P. Sporns. (eds.). **Handbook of Food Analytical Chemistry**. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Quiles, J. L., M. C. Ramirez-Tortosa and J. A. Gomez. 2001. Role of vitamin E and phenolic compounds in the antioxidant capacity, measured by ESR, of virgin olive, and sunflower oils after frying. **Food Chemistry** 76(2002): 461-468.
- Rafecas, M., F. Guardiola, M. Illera, R. Codony and J. Boatella. 1998. Liquid chromatographic determination of phenolic antioxidants in bakery products. **Journal of Chromatography A** 822(1998): 305-309.
- Razali, I. and M. Badri. 2003. Oil Absorption, polymer and polar compounds formation during deep-fat frying of French fries in vegetable oils. **Malaysia Palm Oil Board** [Online] Available <http://palmoils.mpob.gov.my/webbased/pod38-p11.pdf>. (20 August 2004)
- _____, M. Johari and A. S. Nor. 2003. Effect of Additives on Quality and Frying Performance of Plam Supperolein During Fryind. **Malaysia Palm Oil Board** [Online] Available <http://palmoils.mpob.gov.my/webbased/pod38-p1.pdf>. (5 November 2004)

- Reische, D. W., D. A. Lillard and R. R. Eitenmiller. 2002. Antioxidants. pp. 489-516 In C. C. Akoh and D. B. Min. (eds.) **Food Lipid: Chemistry, Nutrition and Biotechnology**. 2nd ed., New York: Marcel Dekker.
- Richard, D. and O. Brien. 1998. **Fat and Oil: Formulating and Processing for Application**. Pennsylvania: Technology publishing Co.
- Ridout plastic company Inc., 2006. **Perspex Acrylics** [Online] Available <http://ridoutplastic.com/physpropfac.html>. (5 November 2004)
- Rossell, J. B. 1999. Measure of rancidity. pp. 22-53 In J. C. Allen and R. J. Hamilton. **Rancidity in Foods**. 3rd ed., Maryland: Aspen Publishers.
- Robertson, G. L. 1993. **Food packaging**. New York: Marcel Dekker. 250 p.
- Ronald S. K. and S. Ronald. 1991. **Pear's Composition and Analysis of Foods**. 9th ed. Singapore: Longman Singapore. 708 p.
- Sherwin, E. R. 1985. Food additives. New York: Marcel Dekker. pp. 139. Cited by D. L. Madhavi, R. S. Singhal, and P. R. Kulkarni. 1995. Technological aspects of food antioxidants. pp. 159-265. In D. L. Madhavi, S. S. Deshpande D. K. Salunkhe, and J. R. Chipault. (eds.). **Food Antioxidants Technological, Toxicological, and Health Perspectives**. New York: Marcel Dekker.
- _____ and J. W. Thompson. 1967. Food Technology 21(6): 912. Cited by D. L. Madhavi, R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1995. Technological aspects of food antioxidants. pp. 159-265 In D. L. Madhavi, S. S. Deshpande, D. K. Salunkhe, and J. R. Chipault, (eds.). **Food Antioxidants Technological, Toxicological, and Health Perspectives**. New York: Marcel Dekker.
- _____ and B. M. Luckadoo. 1970. Journal of American Oil Chemists' Society 47(1970): 19 Cited by D. L. Madhavi, R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1995. Technological aspects of food antioxidants. pp. 159-265 In D. L. Madhavi, S. S. Deshpande, D. K. Salunkhe and J. R. Chipault. (eds.). **Food Antioxidants Technological, Toxicological, and Health Perspectives**. New York: Marcel Dekker.

- Sim, R. J. and J. A. Fioriti. 1980. Handbook of food additives. Volume 1. pp 13. Cited by D. L. Madhavi, R. S. Singhal and P. R. Kulkarni, 1995. Technological aspects of food antioxidants. pp. 159-265 In D. L. Madhavi, S. S. Deshpande, D. K. Salunkhe, and J. R. Chipault. (eds.). Food Antioxidants Technological, Toxicological, and Health Perspectives. New York: Marcel Dekker.
- Stone, H. and J. L. Sidle. 1993. **Sensory Evaluation Practice**. California: Academic Press. 338 p.
- Sukumar D., K. K. Bhat, and N. K. Rastogi. 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 Und-Technologie** 36(2003): 91-98.
- Sun, X., and R.G. Moreira, 1994. Oil Distribution in Tortilla Chip During Deep-Fat Frying. **American Society of Agricultural Engineers** paper No. 94-6506.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

การวัดค่าสี

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี Tri-Stimulus Colorimeter Model JC801

วิธีวิเคราะห์

1. เสียบปลั๊กและเปิดสวิตช์เพื่อ stabilize เครื่องประมาณ 100 นาที
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์จะเห็น menu ของ JUKI Colorimeter software
3. เลือก 1. Measurement แล้ว Enter
4. Set Zero Calibration โดยวางกล่องสีดำสำหรับกันแสงเข้าบนช่องทางแสงผ่าน แล้วกด

F1

5. จากนั้น Set Standard Calibration โดยวาง Standard white plate บนช่องทางแสงผ่าน

แล้วกด F1

6. เลือกแท่นรองให้สัมพันธ์กับขนาดของวัตถุที่จะวัด (10 หรือ 25 มม.) วางบนช่องที่แสง

ผ่าน

7. ใส่ตัวอย่างอาหารในเซลล์ให้อยู่ตรงกลาง
8. วางเซลล์ที่ใส่ตัวอย่างอาหารบนแท่นรอง แล้วกด Enter ตามด้วย F1
9. วัดตัวอย่างอาหารตามวิธีในข้อ 8 ไปจนหมดตัวอย่าง

ระบบวัดสีของฮันเตอร์ (Hunter color system) ประกอบด้วยตัวแปรของสี 3 ค่า คือ

L* คือ ค่าความสว่างของสี มีค่าจาก 0 ซึ่งคือ สี ดำ ถึง 100 คือ สีขาว

a* คือ ค่าที่บอกความเป็นสีเขียว สีแดง ที่อยู่ในตัวอย่างโดยค่า

a+ แสดงถึงค่าความเป็นสีแดง

a- แสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลือง และสีน้ำเงิน โดยค่า

b+ แสดงความเป็นสีเหลือง

b- แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

การวัดค่าความแข็ง

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT plus

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดสวิทช์ สวิตช์ด้านหลังของเครื่องไปทาง ON จะพบว่าที่หน้าปัดบน Console จะแสดงว่า Power on โดยคิดไฟสีเขียว และแสดง Version ของ Soft ware และรายการอื่นๆ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์
2. ทำการเปลี่ยนหัวกดที่ต้องการใช้และเข้าสู่การตั้งค่ามาตรฐานของแรงและระยะทาง (calibrate force และ height) โดยเลือก T.A. เลือก calibrate force และกด Next ไปที่ 2,000 กรัม ให้นำตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 2,000 กรัม นำมาวางบนเป็นด้านบนที่ติดกับหัวกดและกด finish ในส่วนของ calibrate height โดย return distance เท่ากับ 30 return speed เท่ากับ 20 mm/sec และ contact force เท่ากับ 1 กรัม เลือก Next จากนั้นหัวกดจะทำการกดลงบนแท่นที่มีผิวเรียบที่ใช้สำหรับรองรับตัวอย่างและกด finish
3. เลือก T.A. setting ตามด้วยเลือก Distance เป็นระยะทางอยู่ในแกน y มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร และเลือก Force ซึ่งเป็นแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างอยู่ในแกน x มีหน่วยเป็นนิวตัน และ Time เป็นเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างมีหน่วยเป็นวินาที เลือก Library เลือก Return to start กด OK และ Update Project เลือก Test speed (ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ) เท่ากับ 2 มม./วินาที กด update mode
4. เลือก T.A. กด run a test เลือก Archive information กด Auto save พิมพ์ file ID ที่ต้องการ เลือก Path ตาม C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\e เลือก Probe selection โดยเลือกรหัสหัวกด 5S (หัวกดที่ใช้เป็นหัวกดขนาด 0.50 ซม.) กด OK เลือก Data acquisition โดย Acquisition rate เท่ากับ 50 จุด/วินาที (สามารถเก็บข้อมูลเพื่อนำมาพล็อตกราฟได้ ถึง 50 จุด/วินาที) กด OK และเลือก Parameter โดยพิมพ์ความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดในหน่วย มิลลิเมตร ซึ่งได้จากการวัดตัวอย่างโดยผ่านเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วางตัวอย่างบนแท่นที่ใช้รองรับ และกด OK
5. ค่าแรงกดที่ทำให้ขั้วแทนแตกในจอคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเป็นกราฟโดยหัวกดจะกดลงบนตัวอย่าง ค่าแรงกดที่ได้จะแสดงในหน่วยนิวตัน (N) อยู่ในแกน y ส่วนแกน x เป็นระยะทางที่หัวกดเคลื่อนเข้าไปในตัวอย่างจนทำให้ตัวอย่างแตกออกที่แสดงในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

การวิเคราะห์การดูดซับน้ำมัน (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000)

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Soxtec system HT 1043 – 001 และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
2. กระดาษกรองที่ปราศจากไขมัน เบอร์ 1
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องปั่น
5. โถดูดความชื้น
6. คีมคีบ

สารเคมี

1. เฮกเซน (Hexane)

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดสวิตช์เครื่อง Service Unit
2. เปิดสวิตช์เครื่อง Cooling
3. บดตัวอย่าง (ข้าวแต๋นที่ทอดแล้ว) ให้ละเอียด
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (W_1) บนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิดจากนั้นนำ

ลงมาใส่ใน Thimbles

5. นำ Thimbles ใส่ใน Soxtec system โดยใช้ adapter สาม
6. นำ Extraction cups ไปอบและชั่งน้ำหนัก (W_2)
7. เติม Hexane ลงใน extraction cups ประมาณ 50 – 70 มิลลิลิตร
8. ใส่ Extraction cups ใน Soxtec system พร้อมทั้งโยกคันโยกลงเพื่อให้เป็นระบบปิด
9. ทำการสกัดไขมันโดยให้ตัวอย่างจุ่มแช่อยู่ในสารละลายโดยเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง boiling และสกัดเป็นเวลา 15-20 นาที จากนั้นสกัดโดยการไม่จุ่มแช่โดยเลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง rinsing สกัดต่อเป็นเวลา 30-45 นาที
10. ปิด condensers vale และเปิดสวิตช์ของอากาศเพื่อระเหย Hexane ออกไป
11. นำ Extraction cups ออกจากเครื่องสกัดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
12. ทิ้ง Extraction cups ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (W_3) และคำนวณเปอร์เซ็นต์ ไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่างตามสูตรดังนี้

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{W_3 - W_2 \times 100}{W_1}$$

สกัดหาปริมาณไขมันในข้าวแตนทั้งก่อนทอดและหลังทอดแล้วหาปริมาณน้ำมันที่ดูดซับโดยข้าวแตนจากสูตรดังนี้

$$\text{การดูดซับน้ำมัน(ร้อยละ)} = \text{ไขมันของข้าวแตนหลังทอด} - \text{ไขมันของข้าวแตนก่อนทอด}$$

วัดการขยายปริมาตรของข้าวแตน

1. นำข้าวแตนทั้งก่อนทอดและหลังทอดมาวัดค่าความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางโดยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ และทำการจดบันทึกค่าที่วัดได้

2. นำค่าที่วัดได้มาคำนวณตามสูตรปริมาตรที่ขยายดังสมการ

$$\text{ปริมาตรที่ขยาย (ร้อยละ)} = \frac{\pi r^2_1 (\text{หลังทอด}) - \pi r^2_1 (\text{ก่อนทอด}) \times 100}{\pi r^2_1 (\text{ก่อนทอด})}$$

$$\pi = 3.14159$$

$$r^2 = (\text{ค่ารัศมีของข้าวแตน})^2$$

$$1 = \text{ค่าความสูงของข้าวแตน}$$

การหาจำนวนชิ้นที่แตกหักของข้าวแตน

1. นำข้าวแตนแห้งก่อนทอดมานับจำนวนชิ้นข้าวแตนทั้งหมด และทำการจดบันทึกค่าที่นับได้

2. นำข้าวแตนหลังทอดมานับจำนวนชิ้นที่แตกหัก โดยนับเฉพาะชิ้นที่มีการแตกหักตั้งแต่ร้อยละ 25 ของข้าวแตนทั้งชิ้น และทำการจดบันทึกค่าที่นับได้

3. นำค่าที่นับได้มาคำนวณตามสูตรจำนวนชิ้นที่แตกหักของข้าวแตนดังสมการ

$$\text{จำนวนชิ้นที่แตกหักของข้าวแตน (ร้อยละ)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นที่แตกหักหลังทอด} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นทั้งหมดก่อนทอด}}$$



ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ทางเคมี

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางเคมี

การสกัดน้ำมันตัวอย่างออกจากข้าวแตน

(ดัดแปลงจาก Rafecas *et al.*, 1998)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างข้าวแตน
2. กรวยแก้ว
3. กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
4. กระดาษกรองเบอร์ 1
5. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. จานสามขา
7. ขาดั่งพร้อมมือจับ
8. เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม

สารเคมี

1. สารละลายผสมคลอโรฟอร์ม (chloroform) และเมทานอล (methanol) ในอัตรา 2:1

โดยปริมาตร

2. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride solution) 26.4 เปอร์เซ็นต์
3. สารแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous sodium sulphate)

วิธีวิเคราะห์

บดตัวอย่างข้าวแตน 50 กรัม ให้เป็นเนื้อเดียวกันและเติมคลอโรฟอร์ม-เมทานอล (สารละลายผสม) ในอัตรา 2:1 โดยปริมาตร จำนวน 100 มล. ทำการสกัดด้วยระบบกวนด้วยแม่เหล็กที่ใช้สำหรับคน (magnetic stirring) ในเวลา 30 นาทีและทำการกรองด้วยกระดาษกรอง เพื่อแยกตัวอย่างที่เป็นของแข็งออกจากของเหลว ทำการสกัดรอบที่ 2 โดยนำของแข็งดังกล่าวที่กรองได้จากครั้งแรกและเติมสารละลายผสม 100 มล. และใช้เวลาสกัด 30 นาที ทำการกรองด้วยกระดาษกรองอีกครั้งและทำการชะไขมันที่สกัดได้ที่อาจติดบนกระดาษกรองด้วยสารละลายผสมอีก 50 มล. ทำการรวบรวมสารละลายที่กรองได้จากการสกัดออกจากตัวอย่างอาหารทั้ง 3 รอบ ด้วยกรวยแยกและเติมสารละลายน้ำเกลืออิ่มตัว 35 มล. เพื่อช่วยในการแยกชั้นคลอโรฟอร์มได้ดียิ่งขึ้น และไขเอาส่วนชั้นของคลอโรฟอร์มออกมาด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองที่มีชั้นของ

แอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟตและรวบรวมของเหลวในฟลาสก์ขนาด 250 มล. เพื่อทำการระเหยแห้ง โดยดูดสูญญากาศแบบที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส และตามด้วยการพ่นไอไนโตรเจน (N_2) เล็กน้อยและเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส หากยังไม่ได้นำไปวิเคราะห์คุณภาพ

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระจากตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอด

(AOCS official method Ca 5a-40, 1998)

อุปกรณ์

1. ขวดน้ำมันตัวอย่างขนาด 115 หรือ 230 มล. หรือขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
2. เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

สารเคมี

1. เอทานอล (ethanol) 95 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นกลางโดยเติมฟีนอล์ฟทาไลน์ 2-3 หยดแล้วค่อย ๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปผสมให้เข้ากันจนเป็นสีชมพูอ่อนคงที่นาน 15-30 วินาที

ได้รับอนุญาตจาก USSD สูตร 30 และ 3A แอลกอฮอล์ที่ใช้ต้องให้สีที่เปลี่ยนอย่างชัดเจนที่จุดยุติและต้องปรับให้เป็นกลางด้วยด่าง ซึ่งทดสอบโดยการปรากฏสีชมพูจาง ๆ แต่สีจะคงที่ประมาณ 30 วินาที เมื่อปรับให้เป็นกลางก่อนใช้

2. สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ (phenolphthalein) 1 เปอร์เซ็นต์ ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide solution)

ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดที่เป็นเกรดวิเคราะห์ (Analytical grade) โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม เพื่อเตรียมความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 250 มล. จากนั้นเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามตารางที่ 8 ในปริมาตรที่ต้องการใช้แล้วไตเตรทหาความเข้มข้นที่ถูกต้องแน่นอน โดยการไตเตรทกับสารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนทาเทต (potassium hydrogenphthalate, KHP) ทำการชั่ง KHP จำนวน 0.3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งวิเคราะห์ละเอียดถึง 0.0001 กรัม พร้อมกับจดบันทึกน้ำหนักสาร KHP ที่ชั่งจริงและเติมน้ำกลั่น 70 มล. แล้วจึงทำการไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล

ตาราง 14 ความจำเพาะของน้ำหนักของตัวอย่างตามปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่าง

ช่วง FFA (%)	น้ำหนักของ ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรของ แอลกอฮอล์ (มล.)	ความเข้มข้นของโซเดียม- ไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)
0 - 0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1
0.2 - 1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1
1.0 - 30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0 - 50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 - 1.0
50.0 - 100	3.525 ± 0.001	100	1.0

วิธีวิเคราะห์

1. ทำการผสมตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวแต่นให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนชั่งน้ำหนัก โดยอาจให้ความร้อนไม่สูงกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมัน 10 องศาเซลเซียส ในกรณีที่น้ำมันเป็นไข
2. ใช้ตารางที่ 1. เพื่อพิจารณาน้ำหนักของตัวอย่างที่จะใช้โดยดูจากช่วงของกรดไขมันอิสระที่พบในตัวอย่าง แล้วทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
3. เติมแอลกอฮอล์ที่เป็นกลางในปริมาตรตามตารางที่ 15 และเติมฟีนอล์ฟทาเลิน 1 มล. ผสมให้เข้ากัน
4. ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ผ่านการตรวจวัดค่าความเข้มข้นที่ถูกต้องแล้ว โดยเขย่าอย่างแรงจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงที่เป็นเวลา 30 วินาที โดยมีความเข้มข้นของสีชมพูเท่ากับตอนปรับแอทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลางก่อนใช้

การคำนวณ

1. กรดไขมันอิสระมีหลายชนิดในไขมันหรือน้ำมัน โดยคำนวณอยู่ในรูปของกรดโอเลอิก ถ้าเป็นในน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม กรดไขมันอยู่ในรูปของกรดลอริกและในน้ำมันปาล์มจะคำนวณรูปของกรดปาล์มิติก

$$1.1 \text{ FFA ในรูปกรดโอเลอิก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณของค่า (มล.)} \times N \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)}}$$

$$1.2 \text{ FFA ในรูปกรดลอริก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณของค่า (มล.)} \times N \times 20.0}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)}}$$

$$1.3 \text{ FFA ในรูปกรดปาล์มมิติก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณของค่า (มล.)} \times N \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)}}$$

หมายเหตุ: หากจะหาค่าปริมาณ FFA ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดของน้ำมันที่ใช้ทอดให้นำปริมาณ FFA หลังการทอดหักออกจากปริมาณ FFA ก่อนการทอด

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมันที่สกัดจากข้าวแต๋น

(AOAC, 1997)

วิธีวิเคราะห์

1. ผสมไดเอทิลอีเธอร์ (diethyl ether) 25 มิลลิลิตร รวมกับเอทานอล (ethanol) 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 25 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 มิลลิลิตร
3. ค่อย ๆ ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (ใช้ประมาณ 2-3 หยด) เอาไว้ใช้เป็น mixed neutral solvent
4. ชั่งน้ำมันตัวอย่าง 2-5 กรัมพร้อมทั้งจดบันทึก
5. ละลายน้ำมันตัวอย่างร่วมกับ mixed neutral solvent จำนวน 25 มิลลิลิตร
6. ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งได้สีชมพูซึ่งอยู่ได้ประมาณ 15 วินาที (เขย่าขณะทำการไตเตรทตลอดเวลาและการไตเตรทที่ดีไม่ควรใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล เกิน 10 มิลลิลิตร ถ้าใช้เกินควรปรับด้วยการใช้น้ำมันตัวอย่างให้น้อยลง) ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง
7. การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของกรดเลอิก กรดปาล์มมิติกและกรดลอริก ดังนี้

$$7.1 \text{ FFA ในรูปกรดโอเลอิก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณของค่า (มล.)} \times N \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)}}$$

$$7.2 \text{ FFA ในรูปกรดลอริก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณของค่า (มล.)} \times N \times 20.0}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)}}$$

$$7.3 \text{ FFA ในรูปกรดปาล์มมิติก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณของค่า (มล.)} \times N \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)}}$$

หมายเหตุ: หากจะหาค่าปริมาณ FFA ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดของน้ำมันที่ใช้ทอดให้นำปริมาณ FFA หลังการทอดหักออกจากปริมาณ FFA ก่อนการทอด

การหาปริมาณคอนจูเกตไดอิน

(Pegg, 2005)

วัสดุและอุปกรณ์

1. น้ำมันหรือไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่าง
2. ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มล.
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
4. เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม

สารเคมี

1. 2,2,4-trimethylpentane (iso-octane)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำมันหรือไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่าง 0.01-0.03 กรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมทั้งจดบันทึกน้ำหนักน้ำมันตัวอย่างที่ใช้
2. ละลายน้ำมันตัวอย่างและปรับปริมาตรจนครบ 25 มิลลิลิตรด้วย Iso-octane
3. เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเซตช่วงความยาวคลื่นที่ 233 นาโนเมตร โดยทำการอุ่นเครื่องอย่างน้อย 30 นาที ก่อนวัดค่าน้ำมันตัวอย่าง
4. เซตศูนย์ด้วย Iso-octane โดยใส่ลงใน quartz cuvette
5. ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ละลายไว้ลงใน quartz cuvette (ถ้าค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1 ควรใช้ตัวอย่างน้ำมันให้น้อยลงและทำการวัดซ้ำอีกครั้ง)
6. คำนวณค่า CD ตามสมการด้านล่าง โดยมีหน่วยเป็นไมโครโมล/กรัม

$$C_{CD} = A_{233}/(E \times l)$$

$$CD = [C_{CD} \times (2.5 \times 10^4)]/W$$

โดยที่ C_{CD} = ค่าความเข้มข้นของคอนจูเกตไดอินในหน่วยมิลลิโมล/มิลลิลิตร

A_{233} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันที่ช่วงคลื่น 233 นาโนเมตร

E = ค่าการดูดกลืนแสงของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่มาจากกรดลิโนเลอิกในหน่วยโมลาร์ ($2.525 \times 10^{-4} \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) เป็นค่าประมาณจากสัมประสิทธิ์การสูญหายในการไทเตรทหาค่า PV ของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่มาจากกรดลิโนเลอิก

l = ค่าความกว้างของ cuvette ในหน่วยเซนติเมตร (1 ซม.)

2.5×10^4 = เป็นค่าปัจจัยร่วมของ Iso-octane (25 มล.) ที่ละลายน้ำมันตัวอย่างโดยเปลี่ยนจาก 1,000 ไมโครโมล/มิลลิโมล ดังนั้นค่า CD จึงอยู่ในหน่วยไมโครโมล

W = น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)

หมายเหตุ: หากจะหาค่าปริมาณ CD ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดของน้ำมันที่ใช้ทอดให้น้ำปริมาณ CD หลังการทอดหักออกจากปริมาณ CD ก่อนการทอด

การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ด้วยการออกซิไดซ์ร่วมกับเหล็ก

(Pegg, 2005)

วัสดุและอุปกรณ์

1. น้ำมันหรือไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่าง
2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
3. หลอดทดลอง
4. เครื่องปั่นเหวี่ยง
5. ไมโครปิเปตขนาด 0.2 1 และ 5 มล.
6. ขวดปริมาตรขนาด 50 100 และ 500 มล.
7. เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม

สารเคมี (ควรใช้สารเคมีชนิด AR grade)

1. สารละลายคลอโรฟอร์ม : เมธานอล (7:3) เก็บได้ 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง
3. สารละลายเฟอร์รัส(II) คลอไรด์
4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์ริก (III) คลอไรด์

วิธีเตรียมสารละลาย

1. สารละลายเฟอร์รัส (II) คลอไรด์

ละลายเฟอร์รัสซัลเฟตจำนวน 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร และละลายเบรียมคลอไรด์จำนวน 0.4 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร อีก 1 ใบ จากนั้นนำสารละลายเบรียมคลอไรด์ใส่ลงในสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตอย่างช้า ๆ ร่วมกับการคนอย่างสม่ำเสมอ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 โมลลาร์ จำนวน 2 มิลลิลิตร และกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 อย่างรวดเร็ว สามารถเก็บรักษาได้โดยเก็บลงในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้องได้ไม่เกิน 1 เดือน

2. สารละลายมาตรฐานเฟอริก (III) คลอไรด์

ละลายเฟอริก คลอไรด์จำนวน 1.0 กรัม ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 โมลลาร์ จำนวน 50 มิลลิลิตร และเติมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1-2 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 5 นาที เพื่อระเหยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ส่วนเกินออกไปและทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบ 500 มิลลิลิตร นำมา 1 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (7:3) จนครบ 100 มิลลิลิตร เก็บรักษาได้เพียง 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง

3. สารละลายไซลิโนลออเรนจ์ (xylene orange) เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โดยละลาย 3-3-bis[N,N-di (carboxymethyl) aminomethyl]-o-cresolsulfonephthalein (หรือที่เรียกว่า xylene orange) ในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้องได้ไม่เกิน 1 เดือน (สารนี้มีน้ำหนักโมเลกุลโดยขึ้นอยู่กับปริมาณกรดคาร์บอกซีตั้งแต่ 1-4 หมู่ คือ 691.6 716.6 738.6 และ 782.6)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง 0.01-0.3 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนจนถึงระดับ 0.0001 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองพร้อมทั้งจذبบันทึก

2. เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (7:3) จำนวน 9.9 มิลลิลิตร ผสมด้วยเครื่องเขย่านาน 2-4 วินาที

3. ปิเปตสารละลายข้อ 2. มา 1 หรือ 0.1 มิลลิลิตร (เจือจาง 10 หรือ 100 เท่าตามลำดับ)

4. เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (7:3) จำนวน 8.9 หรือ 9.8 มิลลิลิตร สารละลายไซลิโนลออเรนจ์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จำนวน 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 2-4 วินาที เติมสารละลายเฟอร์รัส (II) คลอไรด์ จำนวน 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันอีกครั้งนาน 2-4 วินาที (ปริมาตรสุดท้ายที่ใส่ลงในหลอดทดลองควรมีจำนวนทั้งหมด 10 มิลลิลิตร)

5. พักให้สารละลายที่ได้เป็นเวลา 5 นาที พอดีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงคลื่น 560 นาโนเมตร โดยการเซตศูนย์ด้วยสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (7:3) (blank) (ควรทำการอุ่นเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อย่างน้อย 30 นาที)

6. สร้างกราฟมาตรฐานด้วยการแทนที่ตัวอย่างน้ำมันเป็นสารละลายมาตรฐานเฟอริก (III) คลอไรด์แทนจำนวนตั้งแต่ 0 0.25 0.5 0.75 1.00 และ 1.25 มิลลิลิตร เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (7:3) จำนวน 9.95 9.70 9.45 9.20 8.95 และ 8.70 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 2-4 วินาที เติมด้วยสารละลายไซลิโนลออเรนจ์เข้มข้น 10 มิลลิโมล จำนวน 50 ไมโครลิตร (แปลงค่าในที่นี้คือสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (7:3) จำนวน 9.95 มิลลิลิตร รวมกับ

สารละลายโซลินอลอเรนจ์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จำนวน 50 ไมโครลิตร และสารละลายมาตรฐานเฟอร์ริก (III) คลอไรด์ จำนวน 50 ไมโครลิตร)

7. พล็อตกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงคลื่น 560 นาโนเมตร โดยแกน y (ค่าการดูดกลืนแสง) และแกน x (Fe^{3+} ในหน่วยไมโครกรัม) และหา slope ของเส้นกราฟ

การคำนวณ

ค่า PV ในหน่วยมิลลิลิตรของออกซิเจน/น้ำมันตัวอย่าง (กิโลกรัม) ตามสมการดังนี้

$$PV = [(A_s - A_b) \times m_i] / (W \times 55.84 \times 2)$$

A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมัน

A_b = ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

m_i = ค่าย้อนกลับของค่า slope (1/slope โดยหาได้จากขั้นตอนที่ 7)

W = น้ำหนักของตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)

[55.84 เป็นน้ำหนักโมเลกุลของเหล็ก (ไมโครกรัม/ไมโครโมล) และ 2 เป็นไปตามสัดส่วนของสมการที่เท่ากันของมิลลิลิตรของออกซิเจน]

หมายเหตุ: หากจะหาค่า PV ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดของน้ำมันที่ใช้ทอดให้นำค่า PV หลังการทอดหักออกจากค่า PV ก่อนการทอด

การหาค่าพารา-อะนิซีน

(AOCS official method Cd 18-20, 1998)

วัสดุอุปกรณ์

1. น้ำมันตัวอย่าง
2. หลอดทดลองขนาด
3. ขวดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
4. ไมโครปิเปตขนาด 5 มล.
5. เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม
6. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมี

1. 2,2,4-trimethylpentane (iso-octane)
2. กรดอะซิติกเข้มข้น

3. สารละลายพารา-อะนิซีน โดยเตรียมจากซังสารพารา-อะนิซีนจำนวน 0.25 กรัม ละลายด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นจนครบ 100 มล.

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำมันตัวอย่างจำนวน $0.5-4.0 \pm 0.001$ กรัม ใส่ลงขวดปรับปริมาตรและปรับจนครบ 25 มล. ด้วย iso-octane
2. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 350 นาโนเมตร โดยใช้ iso-octane เป็นเบลงค์
3. ใช้ไมโครปิเปตขนาด 5 มล. ดูดสารละลายข้อ 1 จำนวน 5 มล. ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มล. จำนวน 3 หลอด แล้วเติมสารละลายพารา-อะนิซีนหลอดละ 1 มล.
4. ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 350 นาโนเมตร โดยใช้ iso-octane จำนวน 5 มล. ผสมรวมกับสารละลายพารา-อะนิซีน 1 มล. เป็นเบลงค์

การคำนวณ

$$p-AV = \frac{25 \times (1.2A_s - A_b)}{M}$$

M

โดย A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำมันที่มีการเติมสารละลายพารา-อะนิซีน

A_b = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำมัน

M = น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

หมายเหตุ: หากจะหาค่า p-AV ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดของน้ำมันที่ใช้ทอดให้นำค่า p-AV หลังการทอดหักออกจากค่า p-AV ก่อนการทอด

การหาค่าที่บาร์ธ

(Pegg, 2005)

วัสดุและอุปกรณ์

1. น้ำมันหรือไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่าง
2. ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลองที่มีฝาปิดแบบเกลียว
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
5. เครื่องล้างแก้วด้วยคลื่นเสียง
6. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
7. เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม

สารเคมี

1. สารละลาย 1-butanol (อย่างน้อยเทียบเท่ากับเกรดสเปคโตร)
2. สารละลาย 2- Thiobarbituric acid (TBA) 0.2 เปอร์เซ็นต์ ใน 1-butanol
3. สารละลาย Tetramethoxypropane (TMP) 0.2 มิลลิโมลาร์

วิธีเตรียมสารละลาย

1. สารละลาย 1, 1, 3,3- tetramethoxypropane (TMP) 0.2 มิลลิโมลาร์

ชั่งสาร TMP จำนวน 0.3280 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. เจือจางด้วย 1-butanol เพียงเล็กน้อยและเทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วย 1-butanol จนครบปริมาตรที่กำหนด (ความเข้มข้นที่ได้จะมี TMP ถึง 20 มิลลิโมลาร์) สามารถเก็บรักษาได้นาน 3 เดือน โดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในส่วนของสารละลาย TMP เข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ สามารถเตรียมได้จากน้ำ TMP เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ช่างต้นมา 1 มล. และปรับจนครบ 100 มล. ด้วย 1-butanol และเขย่า ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 1 เดือน

2. สารละลาย 2- Thiobarbituric acid (TBA) 0.2 เปอร์เซ็นต์ ใน 1-butanol

ชั่งสาร TBA จำนวน 0.2000 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. เจือจางด้วย 1-butanol ประมาณ 80 มล. ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปจุ่มลงในเครื่อง ultrasonic bath ประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นสารที่ละลายได้ค่อนข้างยาก เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. พร้อมทั้งเจือจางด้วย 1-butanol จนครบและเขย่า

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันหรือไขมันน้ำหนัก 50-200 มิลลิกรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มล. จดบันทึกน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 1-butanol จนครบ
2. นำสารละลายตัวอย่างน้ำมันที่ได้จากข้อ 1 มา 5 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย TBA เข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ ใน 1-butanol จำนวน 5 มล. พร้อมกับเตรียมสารละลายแบบกลังพร้อมกันโดยนำสารละลาย 1-butanol จำนวน 5 มล. ผสมร่วมกับ TBA เข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ ใน butanol อีกจำนวน 5 มล. ปิดฝาด้วยจุกพลาสติก ปั่นเหวี่ยงและนำหลอดทดลองที่ได้ใส่ลงในที่วางหลอดทดลอง
3. นำ มาบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเซตช่วงความยาวคลื่นที่ 532 นาโนเมตร โดยทำการอุ่นเครื่องอย่างน้อย 30 นาที ก่อนวัดค่าน้ำมันตัวอย่าง
5. นำหลอดที่ได้ในข้อ 3 มาทำให้เย็นโดยใช้น้ำไหลผ่าน เพื่อให้ได้อุณหภูมิห้องภายใน 10 นาที

6. ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ละลายไว้ลงใน quartz cuvette ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยใช้แบบลงค์ปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นศูนย์ (ถ้าค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1 ควรใช้ตัวอย่างน้ำมันให้น้อยลงและทำการวัดซ้ำอีกครั้ง)

7. การสร้างกราฟมาตรฐานนำสารละลาย TMP เข้มข้น 0.2 มิลลิโมล จำนวน 0.08-0.40 มล. ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มล. ปรับปริมาตรด้วย 1-butanol จนครบ

8. ทำการหาค่า TBARS ด้วยการนำสารละลาย TMP ที่ได้จากข้อ 8. มาจำนวน 5 มล. ผสมร่วมกับ TBA เข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ ใน butanol อีกจำนวน 5 มล. ลงในหลอดทดลอง ปิดฝาด้วยจุกพลาสติก ผสมให้เข้ากันและนำหลอดทดลองที่ได้ใส่ลงในอ่างหลอดทดลองจนครบ พร้อมกับเตรียมสารละลายแบบลงค์เหมือนดังข้อ 2

9. ทำตามข้อ 3-7 ดังข้างต้นและนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงคลื่น 532 นาโนเมตร โดยแกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างและแกน x เป็นมาลอนอัลดีไฮด์ในหน่วยโมล) และหาความชันของเส้นกราฟ

การคำนวณ

1. การคำนวณค่า K ตามสมการดังนี้

$$K = [(จำนวน\ โมล\ ของ\ มาลอนอัลดีไฮด์/5\ มล.)/A_{532} \times \text{นน. โมเลกุลของมาลอนอัลดีไฮด์} \times DF \times 10^6]/m$$

โดยที่ (จำนวน โมลของมาลอนอัลดีไฮด์/5 มล.)/ A_{532} = ค่า 1/slope ของกราฟมาตรฐานโดยหาได้จากขั้นตอนที่ 9)

นน. โมเลกุลของมาลอนอัลดีไฮด์ = 72.03 กรัม/โมล

DF = หน่วยของการเจือจาง (dilution factor) เท่ากับ 10/5

m = น้ำหนักของตัวอย่างน้ำมัน (มิลลิกรัม)

แทนค่าลงในสมการด้านบน

$$K = [(1/slope) \times 72.03\ \text{กรัม/โมล} \times (10\ \text{มล/5\ มล}) \times 10^6]/m$$

m = น้ำหนักของตัวอย่างน้ำมัน (มิลลิกรัม)

2. การคำนวณค่า TBA ในหน่วยมก. ของมาลอนอัลดีไฮด์/น้ำมันตัวอย่าง 1 กรัม ตามสมการดังนี้

$$TBA = K \times A_{532}$$

โดยที่ A_{532} = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

หมายเหตุ: หากจะหาค่า TBARS ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดของน้ำมันที่ใช้ทอดให้นำค่า TBARS

หลังการทอดหักออกจากค่า TBARS ก่อนการทอด

การหาปริมาณสารประกอบคาร์บอนิล

(Pegg, 2005)

วัสดุและอุปกรณ์

1. น้ำมันหรือไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่าง
2. ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 และ 100 มล.
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
4. เครื่องล้างแก้วด้วยคลื่นเสียง
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
6. เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม

สารเคมี (สารเคมีชนิด AR เกรด)

1. สารละลายเบนซีน
2. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
3. สารละลาย 2-thichloroacetic acid (TCA) เข้มข้น 4.3 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซีน
4. สารละลาย 2, 4-dinitrophenyldrazine (DNPH) เข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซีน
5. แอลกอฮอล์บริสุทธิ์

วิธีเตรียมสารละลาย

1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชั่งสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จำนวน 4.0 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. เติมน้ำด้วย แอลกอฮอล์บริสุทธิ์นำไปวางบนเครื่องให้ความร้อนพร้อมระบบกวน โดยใช้ไฟอ่อนหรือใส่ในอ่างน้ำระบบอุณหภูมิต่ำเพื่อละลายและควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้งาน เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. เติมน้ำด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์จนครบและเขย่า

2. สารละลาย 2-thichloroacetic acid (TCA) เข้มข้น 4.3 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซีน

ชั่งสาร TCA จำนวน 4.30 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. เติมน้ำด้วยเบนซีนประมาณ 80 มล. ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปจุ่มลงในอ่างล้างแก้วด้วยคลื่นเสียงประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นสารที่ละลายได้ค่อนข้างยาก เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. พร้อมทั้งเติมน้ำด้วย benzene จนครบและเขย่า เก็บรักษาได้ 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง

3. สารละลาย 2, 4-dinitrophenyldrazine (DNPH) เข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซีน

ชั่งสาร DNPH จำนวน 0.05 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. เติมน้ำด้วยเบนซีนประมาณ 80 มล. ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปจุ่มลงในอ่างล้างแก้วด้วยคลื่นเสียง

ประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นสารที่ละลายได้ค่อนข้างยาก เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. พร้อมทั้งเจือจางด้วยเบนซีนจนครบและเขย่า เก็บรักษาได้หลายเดือนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันหรือไขมันน้ำหนัก 50-80 มิลลิกรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มล. จดบันทึกน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ ละลายด้วยเบนซีนจำนวน 5.0 มล.
2. เติมสารละลาย TCA เข้มข้น 4.3 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซีนจำนวน 3.0 มล. และสารละลาย DNPH เข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ใน เบนซีนอีก 5.0 มล. พร้อมกับเตรียมสารละลายแบลงค์พร้อมกัน โดยนำสารละลาย TCA เข้มข้น 4.3 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซีนจำนวน 5.0 มล. และสารละลาย DNPH เข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซีนอีก 5.0 มล. ปิดฝาด้วยจุกพลาสติก ผสมให้เข้ากัน ทำแบลงค์ไปพร้อมกันโดยเตรียมเช่นเดียวกันแต่ไม่เติมน้ำมัน
3. นำมาบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วนำออกจากอ่างน้ำมาพักให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
4. ในระหว่างที่รอให้เปิดเครื่องสเปกโตร โฟโตมิเตอร์และเซตช่วงความยาวคลื่นที่ 430 และ 460 นาโนเมตร โดยทำการอุ่นเครื่องอย่างน้อย 30 นาที ก่อนวัดค่าน้ำมันตัวอย่าง
5. จากข้อ 3 ทำการเติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จำนวน 10 มล. และเจือจางต่อด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์จนครบ 50 มล. และผสมให้เข้ากัน พักไว้ 10 นาที โดยที่ทุกหลอดจะต้องพักไว้ 10 นาทีก่อนการวัดทุกครั้ง
6. ในขณะที่พัก 10 นาที ทำการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นศูนย์ด้วยสารละลายแบลงค์ที่เตรียมจากข้อ 2 โดยใส่ลงใน quartz cuvette
7. เมื่อครบ 10 นาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันตัวอย่างที่ละลายไว้ที่ความยาวช่วงคลื่น 430 และ 460 นาโนเมตร ตามลำดับ
8. กำหนดปริมาณสารประกอบคาร์บอนิล ตามสมการด้านล่าง

$$C_u = (3.861 \times A_{460} - 3.012 \times A_{430}) / 0.854$$

$$C_s = 3.861 \times A_{460} - 2.170 \times C_u$$

$$C_T = C_u + C_s$$

โดยที่ C_u = ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่ไม่อิ่มตัว (ไมโคร โมล)/น้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

C_s = ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่ไม่อิ่มตัว (ไมโคร โมล)/ น้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

C_T = ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลทั้งหมด (ไมโคร โมล)/ น้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

A_{430} และ A_{460} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันที่ช่วงคลื่น 430 และ 460 นาโนเมตร

หมายเหตุ: หากจะหาค่าปริมาณ CC ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดของน้ำมันที่ใช้ทอดให้น้ำมัน
CC หลังการทอดหักออกจากปริมาณ CC ก่อนการทอด





ภาคผนวก ค
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แผนการทดสอบทางประสาทสัมผัส

1. วิธีการทดสอบความชอบของผู้บริโภคเพื่อหาตัวอย่างอ้างอิงที่นำมาใช้ในการทดสอบ
ทำโดยการทดสอบผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 50 คน โดยวิธี Hedonic 9-points จากตัวอย่าง
ข้าวแตนหลายยี่ห้อในท้องตลาด ซึ่งแบบทดสอบชิมเป็นไปตามแบบทดสอบที่ 1

แบบทดสอบที่ 1

แบบทดสอบความชอบข้าวแตนแบบ hedonic 9-point

แบบทดสอบชุดที่.....

อายุ.....ปี เพศ..... วันที่ทำการทดสอบ.....

คุณรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวแตนหรือไม่ (ในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา)

☐ รับประทาน☐ ไม่เคยรับประทาน

คำแนะนำ ควรทำการล้างปากก่อนทำการทดสอบและระหว่างการทดสอบตัวอย่างทุกครั้งด้วยน้ำเปล่าที่จัดให้
ผู้ทดสอบจะได้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำนวน 4 ตัวอย่างที่มีเลขรหัสกำกับ ให้เริ่มการทดสอบตัวอย่างโดยเรียงลำดับ
จากซ้ายไปขวาตามรหัสที่จัดไว้ให้ และให้คะแนนตามความรู้สึกชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์

เริ่มทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างโดยเริ่มจากการพิจารณาสี ลักษณะปรากฏ หลังจากนั้นทดสอบ
ความกรอบในขณะที่กัดตัวอย่าง พิจารณากลิ่นโดยการดมแล้วจึงทำการชิม ในขณะที่ชิมผลิตภัณฑ์ (ตัวอย่างอยู่
ในปาก) ให้พิจารณารสชาติและการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ย่อย สุดท้ายจึงกลืนผลิตภัณฑ์ลงคอ

ระดับการให้คะแนน

9 ชอบมากที่สุด

6 ชอบเล็กน้อย

3 ไม่ชอบปานกลาง

8 ชอบมาก

5 เฉย ๆ

2 ไม่ชอบมาก

7 ชอบปานกลาง

4 ไม่ชอบเล็กน้อย

1 ไม่ชอบมากที่สุด

รหัส.....

รหัส.....

รหัส.....

รหัส.....

สี

.....

.....

.....

.....

ลักษณะปรากฏ

.....

.....

.....

.....

ความกรอบ

.....

.....

.....

.....

กลิ่น

.....

.....

.....

.....

รสชาติ

.....

.....

.....

.....

การอมน้ำมัน	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

2. ขั้นตอนการคัดเลือกผู้ทดสอบชิม

ทำการคัดเลือกผู้ทดสอบชิมจากจำนวน 25 คน ที่ผ่านการประเมินเบื้องต้นให้เหลือจำนวน 10 คน โดยใช้นักศึกษาชั้นปีที่ 3 ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร โดยเริ่มต้นจากการประเมินด้วยการแยกแยะกลิ่นและรสชาติพื้นฐาน ซึ่งแบบทดสอบชิมเป็นไปตามแบบทดสอบที่ 2 ที่แสดงถึงแบบทดสอบการรับรู้กลิ่นและรสชาติขั้นพื้นฐาน

จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duo-Trio เพื่อทดสอบการแยกแยะความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ข้าวแตนเก่าและใหม่ que แสดงในแบบทดสอบที่ 3 ที่แสดงถึงแบบทดสอบความแตกต่างแบบ Duo-Trio หลังจากนั้นทำการทดสอบผู้ชิมโดยให้ทำการจัดอันดับ (Ranking test) โดยใช้จำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง โดยบอกระดับความเข้มข้นของข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ความสม่ำเสมอในการพองตัวของเม็ดข้าวบนผิวหน้า สีและความสว่างและกลิ่นหืน ดังตัวอย่างแบบทดสอบ

แบบทดสอบที่ 2 การรับรู้กลิ่นขั้นพื้นฐาน

หมายเลขผู้ทดสอบ..... ชื่อผู้ทดสอบ.....
ชนิดตัวอย่าง..... วันที่.....

กรุณาสูดดมตัวอย่างทางจมูกเพียงเล็กน้อยและบอกความรู้สึกในการรับกลิ่น ด้วยการเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาว่ากลิ่นที่รับรู้คืออะไรและอาจใช้คำศัพท์ที่คิดว่าสอดคล้องกับกลิ่นนั้น ๆ ตรวจสอบเพียงครั้งละ 1 ตัวอย่าง และปิดฝาให้สนิทก่อนจะทดสอบตัวอย่างถัดไป ให้เวลาในการทดสอบ 30 วินาที/ตัวอย่าง จากนั้นพัก 15 วินาที ก่อนทำการทดสอบตัวอย่างถัดไป

ตัวอย่าง	กลิ่นที่รับรู้
-----	-----
-----	-----
-----	-----

การรับรู้รสชาติขั้นพื้นฐาน

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

ชนิดตัวอย่าง.....

วันที่.....

กรุณาดำรงปากก่อนทำการทดสอบและระหว่างการเปลี่ยนตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง จมตัวอย่างและบอกความรู้สึกในการรับรสด้วยการเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา พร้อมทั้งระบุรสชาติที่ตรวจพบ (ขม หวาน เฝื่อนเปรี้ยวและระบุนไม่ได้) ตามหมายเลขตัวอย่างที่ได้รับ

ตัวอย่าง

รสชาติที่รับรู้

.....	
.....	
.....	
.....	
.....	

แบบทดสอบที่ 3

แบบทดสอบ Duo-Trio

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

ชนิดตัวอย่าง.....

วันที่.....

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ที่รหัสตัวอย่างเหมือน R

☐
☐

R

.....

แบบทดสอบที่ 4				
แบบทดสอบ Ranking				
หมายเลขผู้ทดสอบ.....	ชื่อผู้ทดสอบ.....			
ชื่อตัวอย่าง.....	วันที่.....			
กรุณาจัดลำดับตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง โดยวางรหัสบนเลขลำดับ โดยเลขลำดับ ที่ 1 = ชอบมากที่สุด 4 = ชอบน้อยที่สุด				
<u>ความสม่ำเสมอในการพองตัวของเม็ดข้าวบนผิวหน้า</u>				
รหัส .....	.....			
ลำดับที่	1	2	3	4
<u>สีและความสว่าง</u>				
รหัส .....	.....			
ลำดับที่	1	2	3	4
<u>กลิ่นหืน</u>				
รหัส .....	.....			
ลำดับที่	1	2	3	4

3. ขั้นตอนการฝึกฝนผู้ทดสอบชิม

ในขั้นตอนนี้ผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 10 คน จะได้รับการฝึกฝนโดยให้ชิมแล้ว ประชุมกันเป็นกลุ่มเพื่อบอกลักษณะที่เฉพาะที่เกิดขึ้นในตัวอย่างข้าวแดง ผู้ทดสอบชิมสามารถ สรุปและตกลงกันได้ในความหมายของคำนิยามที่ให้กับลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ช่วงนี้ผู้ ทดสอบจะทำงานกันเป็นกลุ่มและมีการปรึกษาหารือกัน เพื่อหาข้อสรุปในลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ ต้องการทดสอบและอาจมีการเปลี่ยนแปลงคำนิยามหรือคำศัพท์ใหม่ก็ได้ แบบทดสอบที่ 5 แบบ ประเมินการทดสอบเชิงพรรณนาสำหรับการคิดค้นคำศัพท์ ส่วนหลังจากนี้เป็นการฝึกการประเมิน แบบพรรณนา ซึ่งผู้ทดสอบจะต้องทำการทดสอบและประเมินผลิตภัณฑ์ด้วยตัวเองอย่างอิสระโดย ใช้ แบบที่ใช้การทดสอบมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Line scale) ที่มีความยาว 6 นิ้ว หรือ 15 เซนติเมตร ที่มีการกำหนดความเข้มและอ่อนของแต่ละนิยามของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ (Stone และ Slide, 1993) การฝึกฝนการให้คะแนนบนสเกลเส้นตรง บนเส้นจึงมีการกำกับระดับคะแนน

ที่จะให้แก่ผลิตภัณฑ์เพื่อความคุ้นเคย แบบทดสอบที่ 5 แบบทดสอบการพรรณนาแบบมีระดับการให้คะแนน หลังจากนั้นในการทดสอบจริงจะใช้เส้นตรงที่ไม่มีการกำกับระดับการให้คะแนนแบบทดสอบที่ 6 แบบทดสอบการพรรณนาแบบไม่มีระดับการให้คะแนนเนื่องจากอาจเป็นการชี้นำในการให้คะแนนของผู้ทดสอบซ้ำ

แบบทดสอบที่ 5

แบบประเมินการทดสอบเชิงพรรณนาในการฝึกฝนคำศัพท์

วันที่ทำการทดสอบ.....

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

กรุณาประเมินตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา โดยเขียนบรรยายลักษณะที่ตรวจพบได้ก่อนประเมินตัวอย่างต่อไปนี้ ก่อนการทดสอบผู้ทดสอบจะต้องเคี้ยวขนมปังจืดและล้างปากด้วยน้ำเปล่า โปรดให้สัญญาณเมื่อต้องการความช่วยเหลือหรือต้องการตัวอย่างเพิ่มจากเดิม

รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....

แบบทดสอบที่ 6

แบบทดสอบการพรรณนา

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

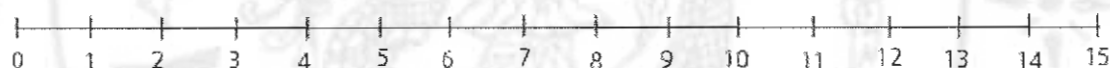
คำแนะนำ : ควรทำการล้างปากก่อนทำการทดสอบและระหว่างการทดสอบตัวอย่างทุกครั้งด้วยน้ำเปล่าที่จัดให้

เริ่มทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ทีละตัวอย่างโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาตามรหัสที่จัดไว้ให้และให้คะแนนตามความรู้สึกที่มีต่อผลิตภัณฑ์ การพิจารณาเริ่มจากความสม่ำเสมอในการพองตัวของเม็ดข้าว สีและความสว่าง หลังจากนั้นทดสอบความกรอบในขณะที่ยัดตัวอย่าง พิจารณากลิ่นหืนโดยการดมแล้วจึงทำการชิม ในขณะที่ยิมผลิตภัณฑ์ (ตัวอย่างอยู่ในปาก) ให้พิจารณากลิ่น-รสชาติของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ยืนและกลืนผลิตภัณฑ์ลงคอแล้วกากบาท (X) พร้อมทั้งระบุรหัสตัวอย่างบนเส้นให้คะแนน

รหัสตัวอย่าง

.....

ความสม่ำเสมอในการพองตัวของเม็ดข้าว



ไม่สม่ำเสมอ

ปานกลาง

มากที่สุด

สี

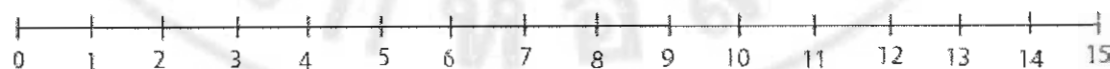


สีซีด

สีเหลืองทอง

สีน้ำตาลเข้ม

ความกรอบ

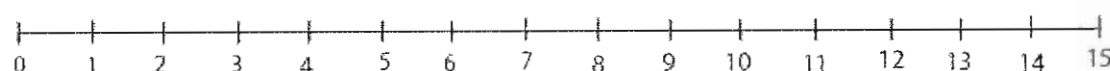


เหนียว

กรอบ-แข็ง

กรอบ-นิ่ม

กลิ่นหืน

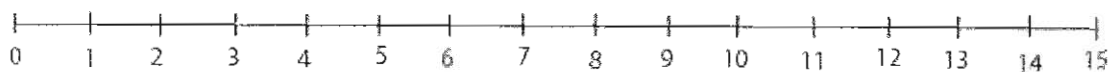


ไม่มีกลิ่นหืน

อ่อน-ปานกลาง

หืนมาก

กลิ่น-รส



เหม็นไหม้-ขม

ปานกลาง

กลิ่น-รสดี

แบบทดสอบที่ 7

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแตน

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ชื่อผู้

ทดสอบ.....

โปรดสังเกตคุณลักษณะต่าง ๆ ของตัวอย่างตามหัวข้อด้านล่าง แล้วกากบาทบนเส้นพร้อมทั้งระบุรหัสตัวอย่างบนเส้นให้คะแนน

รหัสตัวอย่าง

.....

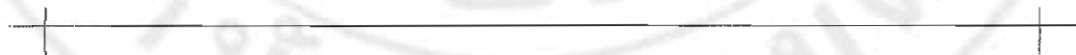
ความสม่ำเสมอในการพองตัวของเม็ดข้าว



ไม่สม่ำเสมอ

สม่ำเสมอมาก

สี



สีซีด

สีน้ำตาลเข้ม

ความกรอบ



เหนียว

กรอบ-นุ่ม

กลิ่นหืน



ไม่มีกลิ่นหืน

หืนมาก

กลิ่น-รส

เห้มนใหม่-ขม

กลิ่น-รสดี

คำจำกัดความในการพิจารณาความแตกต่างของข้าวแดง

	ข้าวแดงทอดใหม่	ข้าวแดงเก็บนาน 3 เดือน
ลักษณะเนื้อสัมผัส	กรอบ-เปราะ-ร่วน	กรอบแน่น ๆ
สี	สีเข้มออกเหลือง-น้ำตาล	สีออกขาวซีด-เหลือง
กลิ่น	กลิ่นทอดใหม่	กลิ่นน้ำมัน

ตาราง 15 การให้คะแนนในการทดสอบเชิงพรรณนา

ระดับการให้ คะแนน	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	การสม่ำเสมอ ในการพองตัว (%)	สี	ความกรอบ	กลิ่น-รส	กลิ่นหืน
0-3	0	ซีด	เหนียว	ขม-ใหม่	ไม่มีกลิ่น
4-6	25	ซีด-เหลือง	แข็งมาก	เห้มนใหม่ มาก	มีกลิ่นอ่อนๆ
7-9	50	เหลืองทอง	กรอบแข็ง	กลิ่นไม่พึง ประสงค์	มีกลิ่นน้อย
10-12	75	เหลือง- น้ำตาล	กรอบ-ร่วน	กลิ่นน้ำมัน	มีกลิ่นมาก
13-15	100	แดงอิฐ (น้ำตาลเข้ม)	กรอบ-นิ่ม	กลิ่นทอดใหม่	มีกลิ่นฉุนมาก



ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตาราง 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของข้าวแต่น้ำหลังการทอดที่มีผลมาจากอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้น

Source	df	F-5 ซ้ำ				F-3 ซ้ำ		
		L*	a*	b*	ค่าความแข็งแรง	ปริมาณที่ขยายหลังทอด	ปริมาณการแตกหักหลังทอด	ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ
อุณหภูมิอบแห้ง (T)	2	13.604*	6.546*	2.463	1.353	8.674*	2.303	10.114*
ปริมาณความชื้น(M)	2	622.567*	443.09*1	101.658*	119.907*	5,328.054*	45.175*	832.991*
T × M	4	9.183*	1.873	18.224*	15.241*	235.369*	0.559	27.330*
Error	81							
Total	90							

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอดที่มีผลมาจากอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณความชื้น

Source	df	F-3 ชั่ว					
		FFA (lauric acid)	CD	PV	TBARS	p-AV	CC
อุณหภูมิอบแห้ง (T)	2	118.163*	6.990*	2.457	12.613*	33.896*	13.218*
ปริมาณความชื้น(M)	2	492.592*	0.300	9.996*	9.327*	63.813*	7.121*
T × M	4	7.356*	4.668*	10.228*	24.544*	11.628*	34.486*
Error	45						
Total	54						

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพภายหลังการทอดข้าวแต๋นที่มีผลมาจากชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด

Source	df	F-5 ข้าว				F-3 ข้าว		
		L*	a*	b*	ค่าความแข็ง	ปริมาณที่ขยายหลังทอด	ปริมาณการแตกหักหลังทอด	ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ
ชนิดน้ำมัน (O)	1	27.200*	86.081*	312.172*	33.866*	38.598*	0.334	0.099
อุณหภูมิทอด (T)	2	217.450*	7.860*	434.454*	96.342*	57.151*	16.214*	1.411
เวลาทอด (t)	2	41.864*	6.507*	53.539*	97.361*	11.122*	3.249*	0.402
O × T	2	104.603*	38.392*	104.326*	3.201*	1.446	0.842	0.505
O × t	2	14.830*	13.290*	4.326*	0.555	0.921	0.365	6.228*
T × t	4	7.773*	2.301	0.833	1.591	1.182	0.076	0.895
O × T × t	4	8.247*	4.826*	4.367*	1.470	0.338	0.031	2.644*
Error	180							
Total	200							

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ผลิตมาจากชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาในการทอด

Source	df	F-3 ซ้ำ					
		FFA (oleic acid)	CD	PV	TBARS	p-AV	CC
ชนิดน้ำมัน (O)	1	87.045*	19.192*	285.245*	14.119*	848.204*	27.089*
อุณหภูมิทอด (T)	2	6.170*	3.436*	9.800*	90.469*	29.156*	2.549
เวลาทอด (t)	2	6.683*	0.937	18.411*	4.374*	12.490*	1.517
O × T	2	8.792*	9.208*	32.639*	37.675*	34.993*	25.247*
O × t	2	10.875*	0.410	0.613	8.754*	9.307*	10.307*
T × t	4	9.309*	3.471*	9.563*	6.976*	7.429*	4.446*
O × T × t	4	4.606*	3.010*	11.656*	5.507*	14.254*	1.435
Error	100						
Total	120						

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพภายหลังการทอดข้าวแตนที่ผ่านการทอดในน้ำมันที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่างๆ

Source	df	F-5 ซ้ำ				F-3 ซ้ำ			
		L*	a*	b*	ค่าความแข็ง	ปริมาณที่ขยาย หลังทอด	ปริมาณการแตกหัก หลังทอด	ปริมาณน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ	
สิ่งทดลอง (Tr)	3	7.392*	8.611*	3.854*	5.195*	0.247	3	2.637	1.351
Error	56						32		
Total	60						36		

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่างๆ ที่ผ่านการทอดข้าวแตน

Source	df	F-3 ซ้ำ					
		FFA (Oleic acid)	CD	PV	TBARS	p-AV	CC
สิ่งทดลอง (Tr)	3	2.371	9.144*	2.703	19.044*	45.865*	105.981*
Error	32						
Total	36						

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของข้าวแตงและข้าวเปลือกคุณภาพทางเคมีของน้ำมันในข้าวแตงที่มีผลมาจากสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ที่เติมลงในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษาในช่วงต่าง ๆ

Source	df	F-5 ข้าว		F-3 ข้าว						
		ค่าความแข็ง	df	A _w	FFA (Oleic acid)	CD	PV	TBARS	p-AV	CC
สารต้านออกซิเดชั่น (A)	3	440.558*	3	134.226	37.345*	147.479*	14.800*	5.257*	78.758*	40.637*
เวลาในการเก็บรักษา (T)	6	1,319.455*	6	127.993	1,804.063*	52.680*	41.153*	468.496*	11.144*	20.808*
A × T	18	18.726*	18	5.432	17.504*	10.953*	6.621*	12.388*	7.147*	11.242*
Error	392		224							
Total	420		252							

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวแดงที่นำผลมาจากสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ที่เติมลงในน้ำมันที่ใช้ทอดและระยะเวลาในการเก็บรักษาในช่วงต่าง ๆ

F-10 ซ้ำ					
Source	df	ความสม่ำเสมอในการพองตัว	สี	ความกรอบ	กลิ่นรส
สารต้านออกซิเดชัน (A)	3	1.152	75.233*	12.571*	3.786*
เวลาในการเก็บรักษา (T)	6	2.855*	2.567*	18.649*	13.260*
A × T	18	1.685	0.515	0.886	1.715*
Error	980				
Total	1008				
					ระดับกลืนหื่นที่ผู้ชิมสังเกตพบ
					4.946*
					65.675*
					2.916*

หมายเหตุ: * ที่ปรากฏอยู่ด้านหลังตัวเลขแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาว วาธินี อินทรพจน์วัฒน์
 เกิดเมื่อ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2523
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2541 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสันป่าตอง
 วิทยาคม
 จังหวัดเชียงใหม่
 พ.ศ. 2546 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และ
 เทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและ
 อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 จังหวัดเชียงใหม่