1530

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

โดย

นางสาว บุนนาค
นางสาว รณภูมิ มรุตัมพท์

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

(ผศ.ดร. สิงหเรืองชัย) 20/5/39 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ผศ.ดร. สิงหเรืองชัย)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

( )

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 24 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปว.
ส768ก
2538

นงสุดา บุนนาค และรณภูมิ มรุตัณฑ์. 2539. : การศึกษาเบื้องต้นของผลของความชื้นต่อคุณภาพของเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวกล้อง (Preliminary Study of the Effect of Moisture Content on Quality Determination of Brown Rice and Soybean). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วรรณา ตั้งเจริญชัย.

จากการศึกษาถึงผลของความชื้นต่อคุณภาพการเหม็นหืนของข้าวกล้องและถั่วเหลือง โดยทำการปรับระดับความชื้นในแต่ละตัวอย่างให้ได้ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 9, 12, 15 และ 18 ตามลำดับ ในภาชนะบรรจุถุงเมทัลไลซ์ เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เตรียมตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ และวางแผนการทดลองแบบ Factorial 2x4x4 จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไขมันในตัวอย่าง ด้วยการหาปริมาณ Fat Acidity และ Malonaldehyde ที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาพบว่า ระดับความชื้นและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างไม่มีผลต่อปริมาณ Fat Acidity และ Malonaldehyde ในข้าวกล้อง แต่มีผลต่อปริมาณ Fat Acidity และ Malonaldehyde ในถั่วเหลือง คือเมื่อระดับความชื้นของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณ Fat Acidity จะมีค่าสูงขึ้น โดยพบว่าค่าความสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณ Fat Acidity และระดับความชื้นในทุกๆระยะเวลาข้างต้น มีค่าเท่ากับ 0.93 ในขณะที่ปริมาณ Malonaldehyde มีแนวโน้มลดลง อันเป็นผลมาจากการสลายตัวของ สารดังกล่าวไปเป็นสารโมเลกุลเล็กๆ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพในตัวอย่างถั่วเหลืองให้ผลที่เด่นชัดมากกว่าข้าวกล้อง เนื่องมาจากปริมาณไขมันที่แตกต่างกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ. วรรณา ตั้งเจริญชัย เป็นอย่างสูง ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไข ปัญหาพิเศษฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และ ผศ. วุฒิชัย นาครักษา ที่เอื้อเฟื้อทางด้านเครื่องมือ และให้คำแนะนำเป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณเสกสรร สถาพร ผู้จัดการแผนกเทคนิค บริษัท P.M. Food ที่กรุณาอนุเคราะห์ทางด้านวัสดุที่ใช้ในการบรรจุ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในระหว่างการปฏิบัติงาน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และแนะนำ ตลอดจนเป็นกำลังใจทำให้ประสบความสำเร็จในครั้งนี้

นงสุดา บุนนาค

รณภูมิ มรุดัณฑ์

1 พ.ค. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
กิตติกรรมประกาศ	ii
สารบัญ	iii
สารบัญตาราง	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญภาคผนวก	viii
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	3
2.1. บทบาทของน้ำและความชื้นต่อคุณภาพอาหาร	3
2.2. การเกิด Lipid Oxidation	9
2.3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชัน	13
2.4. เทคนิคการวัด Lipid Oxidation	20
2.5. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสในน้ำมันและไขมัน	26
2.6. ความปลอดภัยในการบริโภคอาหารที่เกิด Lipid Oxiddtion	33
3. อุปกรณ์และวิธีทดลอง	38
4. ผลการทดลองและวิธีการทดลอง	40
5. สรุปผลการทดลอง	64
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	70
ประวัติผู้เขียน	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1.1	ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในข้าวที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ	41
4.1.2	ผลของความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในข้าวระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์	42
4.1.3	ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วแดงที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ	43
4.1.4	ผลของความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วแดงระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์	44
4.1.5	ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ	45
4.1.6	ผลของความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์	46
4.1.7	แสดงค่า Correlation Coefficients ระหว่างระดับ Fat Acidity และปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	47
4.2.1	ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ	51
4.2.2	ผลของระดับความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์	52
4.2.3	ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7} M/g) ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15%, และ 18% ตามลำดับ	53
4.2.4	ผลของระดับความชื้นต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7} M/g) ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์	54
4.2.5	ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15%, และ 18% ตามลำดับ	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.2.6	ผลของระดับความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์	56
4.2.7	ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7} M/g) ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15%, และ 18% ตามลำดับ	57
4.2.8	ผลของระดับความชื้นต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7} M/g) ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์	58
4.2.9	แสดงค่า Correlation Coefficients และ Probability Levels ระหว่างระดับ Fat Acidity กับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	59
ค.1	คุณสมบัติของตัวอย่าง	78
ฉ.1	ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในข้าว	81
ฉ.2	ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วแดง	82
ฉ.3	ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลือง (ตอนที่ 1)	83
ฉ.4	ปริมาณความชื้นของตัวอย่างตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์	84
ฉ.5	ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในข้าวกล้อง	85
ฉ.6	ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลือง (ตอนที่ 2)	85
ฉ.7	ผลการวัดค่า Absorbance ในข้าวกล้อง	86
ฉ.8	ผลการวัดค่า Absorbance ในถั่วเหลือง	86
ฉ.9	ปริมาณความชื้นของตัวอย่างตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1.1	แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยากิริยาการเสื่อมเสียต่างๆ ในอาหาร	5
2.2.1	แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยากิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมัน	10
2.4.1	แสดงกลไกของการสร้าง malonaldehyde	22
2.5.1	แสดงผลของการแปรรูปอาหารต่อปริมาณ malonaldehyde	28
2.6.1	แสดงองค์ประกอบของ linoleic และ α-linoleic acid ในน้ำมันพืช	35
4.1.1	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์	41
4.1.2	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ	42
4.1.3	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วแดงระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์	43
4.1.4	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วแดงที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ	44
4.1.5	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์	45
4.1.6	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ	46
4.1.7	แสดงค่า Correlation Coefficient ระหว่างตัวอย่างและปัจจัยที่ใช้ในทดลอง	47
4.2.1	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์	51
4.2.2	แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ	52
4.2.3	แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.2.4 แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ 54
4.2.5 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ 55
4.2.6 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15 % และ 18% ตามลำดับ 56
4.2.7 แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ 57
4.2.8 แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามล 58
4.2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fat Acidity และ ปริมาณ Malonaldehyde ระหว่างการเก็บ 4 สัปดาห์ ของถั่วเหลือง ที่ระดับความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ 60
จ.1 Standard Curve ของ Malonaldehyde 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาคผนวก

หน้า

ภาคผนวก ก. การปรับระดับความชื้นตัวอย่าง 71
ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์ค่าทางเคมี 73
ภาคผนวก ค. คุณสมบัติของตัวอย่าง 78
ภาคผนวก ง. คุณสมบัติของถุงเมทัลไลซ์ 79
ภาคผนวก จ. Standard Curve ของ Malonaldehyde 80
ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลอง 781

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การเหม็นหืนซึ่งเป็นผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพ และการยอมรับนั้น สามารถเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันที่มาจากธัญพืช และผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองได้ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา ณ บริเวณต่างๆ ของเมล็ดภายหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา ตลอดจนการผ่านกระบวนการผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเสร็จสิ้นจนเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ

เมล็ดธัญพืชจัดเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์มาเป็นระยะเวลานาน เหตุผลที่สำคัญคือ ธัญพืชจะเกิดการเน่าเสียได้ยากกว่าพืชผลทางการเกษตรชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามการเน่าเสีย โรคและแมลง การขาดการเอาใจใส่ดูแล การเก็บ รวมถึงการผ่านกระบวนการแปรรูป สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งนำไปสู่การเหม็นหืนได้ ในธรรมชาติธัญพืชมีองค์ประกอบมากมายที่จะป้องกันการเน่าเสีย โอกาสที่จะเกิดการเหม็นหืนมียากมากถ้าไขมันในธัญพืชไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ reactants ต่างๆ (เช่น อากาศ หรือตัวเร่งปฏิกิริยา) การเหม็นหืนสามารถเกิดขึ้นได้แม้ว่าจะมีการเสื่อมเสียของไขมันในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์มีความสำคัญน้อยกว่าประเภทของการเสื่อมเสียและอิทธิพลที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน

การควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันมีความสำคัญ เนื่องมาจากปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมีมากขึ้น ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน เกิดจาก hydroperoxide ได้แตกตัวเป็น short-chain aldehydes, ketones และ oxygenated compound อื่นๆ ซึ่งถูกนำมาพิจารณาในการวัดค่าความเหม็นหืนในอาหาร secondary products หรือ สารทุติยภูมิที่เกิดจากออกซิเดชั่นโดยการแตกของ acyl chain นี้จัดเป็น volatile product จึงเกิดกลิ่นรสผิดปกติ (off-flavor) ไม่พึงปรารถนาในวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ ในความสนใจของนักสรีระวิทยาของพืช สารดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นพิษต่อเซลล์ โดยเฉพาะในเซลล์เมมเบรนซึ่งเป็นส่วนที่ง่ายต่อการเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันในระหว่างการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lipid Oxidation เป็นปรากฏการณ์ที่เชื่อกันว่าเกิดขึ้นบริเวณพลาสมาเมมเบรน (plasma membrane) ของธัญพืชซึ่งส่งผลให้เกิดการทำลายของเมมเบรน (membrane damage) สมมติฐานที่ทราบโดยทั่วไปว่าปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาของ free radicals กระทั่งปัจจุบันนักวิจัยจำนวนมากพยายามที่จะประเมินลิปิดออกซิเดชั่นของธัญพืชด้วยวิธีที่แตกต่างกันไป

ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อประเมิน Lipid Oxidation ในข้าวกล้อง และถั่วเหลือง ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร โดยศึกษาปัจจัยสำคัญคือ ความชื้นที่มีผลต่อ Lipid Oxidation โดยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณ Free Fatty Acids และMalonaldehyde (TBA Test) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 บทบาทของน้ำ และความชื้นต่อคุณภาพของอาหาร

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในอาหาร หรือองค์ประกอบส่วนหนึ่งของอาหารคือน้ำ แม้แต่ผลึกของเกลือ และน้ำตาลก็มีการดูดซึมน้ำไว้ที่บริเวณผิวหน้า ในเซลล์ของพืชและสัตว์ประกอบด้วยน้ำเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในพืชสีเขียวมีน้ำเป็นองค์ประกอบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 แม้ขณะที่ให้ความร้อนแก่เนื้อจะมีน้ำระเหยออกมาร้อยละ 50-65

น้ำในพืชและสัตว์จะอยู่ในรูปของเหลวที่ไหลเวียนภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ ถ้าเซลล์ถูกทำลายของเหลวดังกล่าวจะไหลออกมา

น้ำในอาหารแบ่งออกเป็น (Meyer, 1976)

1. Free Liquid ซึ่งมีสารต่างๆ ละลาย และกระจายตัวอยู่ใน cytoplasm จัดเป็นของเหลวที่ไหลเวียนภายในเซลล์และระหว่างเซลล์

2. Hydrates ลักษณะที่ฟอร์มตัวจากพันธะไฮโดรเจนที่อยู่ในโมเลกุลของน้ำ กับอิออนของโมเลกุลที่ประกอบด้วยโมเลกุลของออกซิเจน หรือไนโตรเจน ได้แก่ แป้ง โปรตีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ที่สำคัญในอาหาร ที่สามารถเกิด hydrate ได้

3. น้ำที่ถูกดูดซับในลักษณะของเจล โดยที่สารบางตัวมีการพองตัวเมื่อมารวมตัวกับน้ำ เรียกว่า "Imbibe Water"

4. น้ำที่ถูกดูดซับจากผิวหน้าของของแข็ง เกิดที่บริเวณผิวหน้าที่สัมผัสกับอากาศซึ่งมีไอน้ำประกอบอยู่ ของแข็งที่มีพื้นที่ผิวหน้ามากจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ค่า Water Activity (A_w)ในอาหาร (Van den Berg, 1981)

การถนอมอาหารจะต้องทำให้อาหารมีการเน่าเสียน้อยที่สุดโดยการลดปริมาณน้ำให้มากที่สุด ซึ่งมักจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากวัตถุดิบทางชีวภาพ ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีปริมาณน้ำที่แตกต่างกันออกไป เช่น แป้งมันฝรั่งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 24 ในขณะที่น้ำตาลซูโครสมีร้อยละ 4

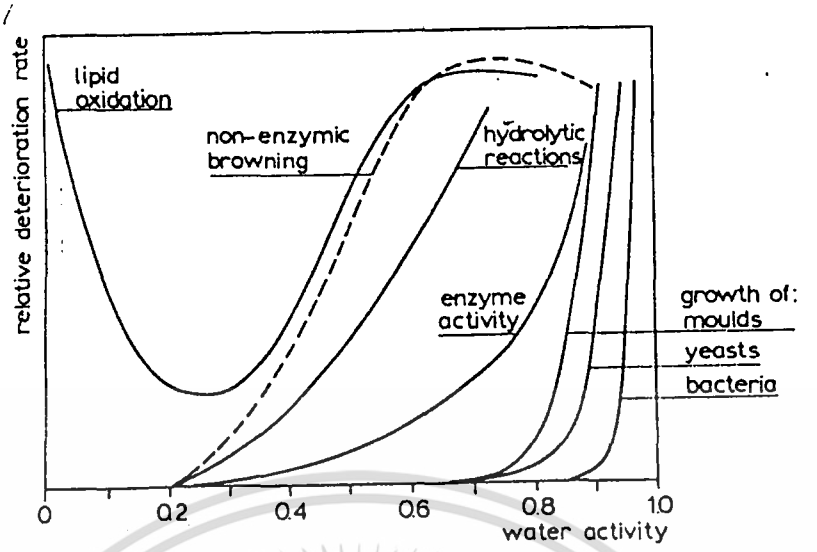
ลักษณะการเสื่อมเสียดังกล่าวไม่เป็นที่เข้าใจมาเป็นระยะเวลานาน จนกระทั่งมีการพิจารณาถึงปริมาณน้ำในอาหารเมื่อ 25 ปีที่ผ่านมา นักฟิสิกส์-เคมี นักเคมี และนักวิศวเคมี ได้ทำการศึกษากระบวนการทำแห้ง และออกแบบ Dryer และได้พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความดันไอสมดุลย์ในผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ทำให้ทราบว่าความแตกต่างระหว่างความดันไอเป็นปัจจัยสำคัญของขบวนการทำแห้งในสภาวะก๊าซ การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ที่อุณหภูมิปกติเป็นการวัดค่า Sorbtion Isotherm ของความดันไอ (ค่าความชื้น) ของอาหารและผลิตภัณฑ์ที่มาจากวัตถุดิบทางชีวภาพ เพิ่งจะมีมาเมื่อศตวรรษที่ผ่านมา Schloesing (1893) ได้รายงานค่า Sorbtion Isotherm ของความดันไอ สำหรับ Textile Fibers นอกจากนี้ Rakowski (1911) ได้ศึกษาค่า Sorbtion Isotherm ของความดันไอสำหรับแป้ง และพบว่าเป็นการยากที่จะพบว่าปริมาณน้ำเท่าใดในอาหารแต่ชนิดที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเน่าเสียของอาหาร เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ "ธรรมชาติ" หรือ "สภาวะ" ขององค์ประกอบของน้ำ

มีการวิจัยเกี่ยวกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของการเก็บรักษากับปริมาณน้ำในอาหาร (Spieckermann and Bremer, 1901) Walberborss (1924) และ Walter (1924) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ หรือคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น Osmotic Pressure หรือ ความเข้มข้นของสารละลาย (NaCl หรือ H_2SO_4) ภายใต้สภาวะบรรยากาศชื้น

2.1.2 ค่า A_w กับการเสื่อมเสียของอาหาร (Meyer, 1976)

ปัจจัยที่สำคัญต่อการควบคุมการถนอมอาหาร คือค่า 'A_w' การวิจัยใน 20 ปีที่ผ่านมาได้พัฒนาความรู้เกี่ยวกับอิทธิพลต่าง ๆที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร จากรูปที่ 1 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียต่าง ๆในอาหาร เมื่อสัมพันธ์กับค่า A_w(Labuza, 1970)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.1 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียต่าง ๆในอาหาร เมื่อสัมพันธ์กับค่า A_w

ที่มา : Labuza (1970)

รูปที่ 1 เป็นการแสดงความคงตัวในอาหารในรูปของค่า A_w เนื่องจากระบบอาหารจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมี ฟิสิกส์ และปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของอาหารเริ่มจากค่า A_w เท่ากับ 1 เมื่อค่า A_w ลดลงอย่างช้า ๆจนกระทั่งถึงระดับหนึ่ง ทุก ๆปฏิกิริยาทางเคมีที่จะทำให้อาหารเสื่อมเสีย และทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ ยกเว้น Lipid Oxidation ของไขมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า A_w ลดลงไปอีก (ปริมาณน้ำในอาหารมีความสัมพันธ์กับคุณภาพและความคงตัวในอาหาร) เนื่องจากน้ำในส่วนที่เป็น bound water ซึ่งมีปริมาณคงที่นั้น จะมีบทบาทต่อการเกิด Lipid Oxidation ในขณะที่น้ำในส่วนที่เป็น free water ซึ่งมีปริมาณน้อยสามารถลดความคงตัวของ free radicals ได้ ดังนั้นการเลือกค่า A_w ที่เหมาะสมที่สุดสามารถป้องกันหรือลดอัตราการเสื่อมเสีย เนื่องจากการเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์ในขณะเก็บผลิตภัณฑ์อาหารให้เกิดน้อยที่สุด

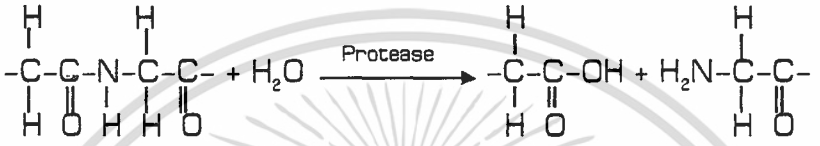
2.1.3 <u>ผลของ A_w ต่อ Lipid Oxidation</u> (Troller และChristian, 1978)

Lipid Oxidation เป็น Autoxidation ที่เกิดขึ้นเมื่อสารประกอบ Olefinic ถูก Oxidised โดยมีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลของกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ไขมันเกิด Off-flavors ,Flavor Reversion วิตามินและกรดไขมันถูกทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

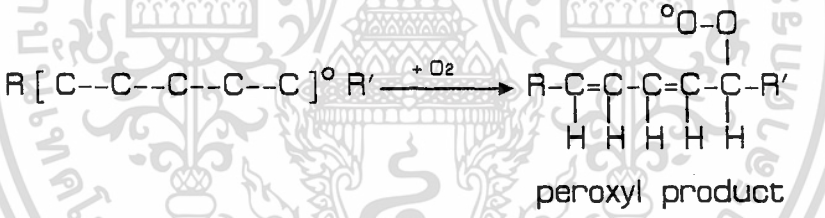
สารที่สร้าง free radicals หรือปัจจัยอื่น ๆ เช่น อิออนของโลหะทรานสิชั่น และแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการจะเกิดในลักษณะปฏิกิริยาที่ซับซ้อนเกิด peroxide ในระยะ Induction Period ซึ่งจะเกิด free radicals ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นระยะ Propagation ในระยะต่อมาเรียกว่า Termination จะเกิดเมื่อสารประกอบ Hydroperoxy และ free radicals ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารที่เสถียรมากขึ้น

ในระยะ Induction Phase H-atom จะหลุดออกจาก C-atom ซึ่งเป็น Double Bond ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังสมการ (1)



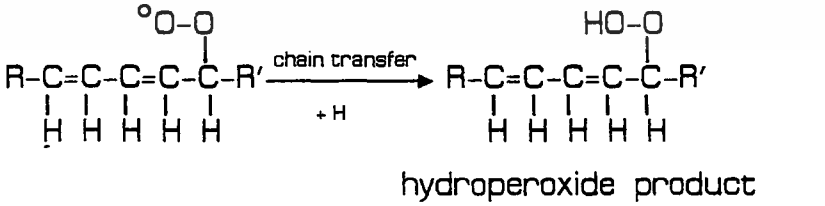
(1)

โลหะทรานสิชั่นปริมาณเพียงเล็กน้อย แสง หรือเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Radicals อิสระ อาจทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็น Peroxyl Radicals ดังสมการ (2)



(2)

Peroxyl Radicals จะกลายเป็น Hydroperoxides โดยจะรวมกับอิออนของไฮโดรเจนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลอื่น ๆ ดังนั้นจะเกิด free radicals เป็นจำนวนมากในปฏิกิริยา Propagation ดังสมการ (3)



(3)

ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะสลายตัวให้ Aldehydes, Ketones และกรดไขมันสายสั้น ๆ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะ (โดยเฉพาะเหล็ก และทองแดง) และปัจจัยอื่นๆมีอิทธิพลต่อ Autoxidation นอกจากนี้ยังมีประเภทของไขมัน เนื่องจากไขมันที่ประกอบด้วยส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จะง่ายต่อการเกิด Oxidative Rancidity ได้มากกว่าไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว อุณหภูมิก็มีผลต่อการเกิด Autoxidation โดยเฉพาะในระยะ Propagation และเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของ Alkyl Peroxides แต่ส่วนใหญ่แล้วอัตราการเกิด Autoxidation จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่ำ

จาก (2) จะเห็นได้ว่าโมเลกุลของออกซิเจนจะทำให้เกิด Autoxidation การกำจัดออกซิเจน เช่น ใน Vacuum-packaged foods หรือการแทนที่ด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น Nitrogen packing จะสามารถป้องกัน Hydroperoxy Radicals ได้

ผลของความชื้นต่อการเกิด Oxidative Rancidity ในอาหารจะแตกต่างกันไปในแต่ละปฏิกิริยาของอาหาร เช่น Enzymatic Browning, กิจกรรมของเอนไซม์ และการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส ที่ระดับ A_w ต่ำมากๆ นั้น อาหารที่ประกอบไปด้วยไขมันไม่อิ่มตัว และสัมผัสกับออกซิเจน จะมีโอกาสเกิดการเหม็นหืนได้สูง ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดที่ระดับ A_w ต่ำกว่าความชื้นที่ระดับ monolayer ในขณะเดียวกันเมื่อ A_w เพิ่มขึ้น Autoxidation จะลดลงจนกระทั่ง A_w อยู่ในระดับ 0.3-0.5 ที่จุดนี้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น และเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนถึง intermediate moisture food range (IMF) ซึ่งจะคงที่ A_w ที่มากที่สุดคือ 0.75

2.1.4 <u>ผลของ A_w ต่อปฏิกิริยา Oxidation ในอาหาร</u> (Troller และ Christian, 1978)

จุดประสงค์หลักของการถนอมอาหาร และการเก็บรักษาอาหาร คือเพื่อรักษาผลิตภัณฑ์อาหารให้สะอาด และเป็นที่ยอมรับจนกว่าจะถึงมือผู้บริโภค สภาวะที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญ ในการพิจารณาระยะเวลาที่มากที่สุดที่อาหารจะคงสภาพอยู่ได้โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงที่จะนำไปสู่ความเสื่อมเสีย

การศึกษา Oxidative mechanism จะเป็นประโยชน์ต่อการทำนายผลของความชื้นต่อระยะเวลาที่จะทำให้เกิด Oxidative Rancidity ที่ระดับ A_w ต่ำอาจยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเสื่อมเสียเนื่องจากเอนไซม์ Nonenzymatic Browning และการเสื่อมเสียเนื่องจากความชื้น ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำภายในน้อยสามารถยับยั้งการเกิดการเหม็นหืน เนื่องจากการดูดซึมน้ำที่บริเวณผิวหน้าของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถป้องกันออกซิเจนจากการทำปฏิกิริยากับไขมันได้ (Wu และคณะ, 1990) แต่ที่ระดับ A_w ต่ำมากๆ ทำให้อาหารมีโอกาสเกิด Oxidative Rancidity สูง ความชื้นที่เพิ่มขึ้นในอาหารจะสามารถยับยั้ง Oxidative Rancidity จนกระทั่งถึงจุด Intermediate Moisture Foods (IMF) ปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น

ค่า A_w ของผลิตภัณฑ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การศึกษาถึงระดับ A_w ที่เหมาะสมจะให้ประโยชน์ต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การใช้เทคนิคในการบรรจุแบบสูญญากาศ เทคนิคการบรรจุโดยใช้ก๊าซไนไตรเจน หรือก๊าซเฉื่อยชนิดอื่นๆ การลดการใช้ Antioxidants เจือปนในอาหาร

ในอาหารหลายๆ ชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ทำจากธัญพืชซึ่งจัดเป็นอาหารที่ไม่มีไขมัน คุณภาพการเก็บอาหารแห้งส่วนใหญ่จะขึ้นกับความต้านทานในการเกิด Autoxidation และสภาวะความชื้นของธัญพืช Peroxides ซึ่งจัดเป็น primary products จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลิตภัณฑ์มีค่า A_w เป็น 0.00 อย่างไรก็ดีถ้าค่า A_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.18 หรือมากกว่านั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังในรูปที่ 2 จากการทำนายโดยศึกษาระบบโครงสร้างซึ่งตัวอย่างจะมีค่า A_w ในระดับสูง (0.75) แต่มีความคงตัวน้อยกว่าตัวอย่างที่มีค่า A_w ต่ำกว่า

จากการสรุปพบว่าค่า A_w ในช่วง 0.6-0.85 จะเกิด Autoxidation ซึ่งเป็นช่วง intermediate moisture foods (IMF) โดยอาหารจะเกิด Oxidative Rancidity ได้มากที่สุด วิธีแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การใช้ Antioxidants และทำให้อาหารมีความชื้นต่ำกว่าระดับ IMF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเกิด Lipid Oxidation (Karel,1974)

Lipid Oxidation เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของไขมันและอาหารประเภทไขมัน เนื่องจากที่สามารถบริโภคได้ซึ่งเป็นส่วนประกอบในอาหารนั้นประกอบด้วย unsaturated triglycerides การเสื่อมเสียดังกล่าวจะส่งผลทำลายวิตามิน (A, D, E, K และ C) ทำลายกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย และเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของไขมัน (Aurand และWoods, 1987)

ปฏิกิริยากิริยา Lipid Oxidation พบในอาหารที่มีไขมันไม่อิ่มตัว และจัดเป็นกระบวนการ Autocatalytic นั่นคือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยา Oxidation จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวมันเอง ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเวลา ลักษณะที่สำคัญของ Autoxidation Pattee et. al, 1992 คือ

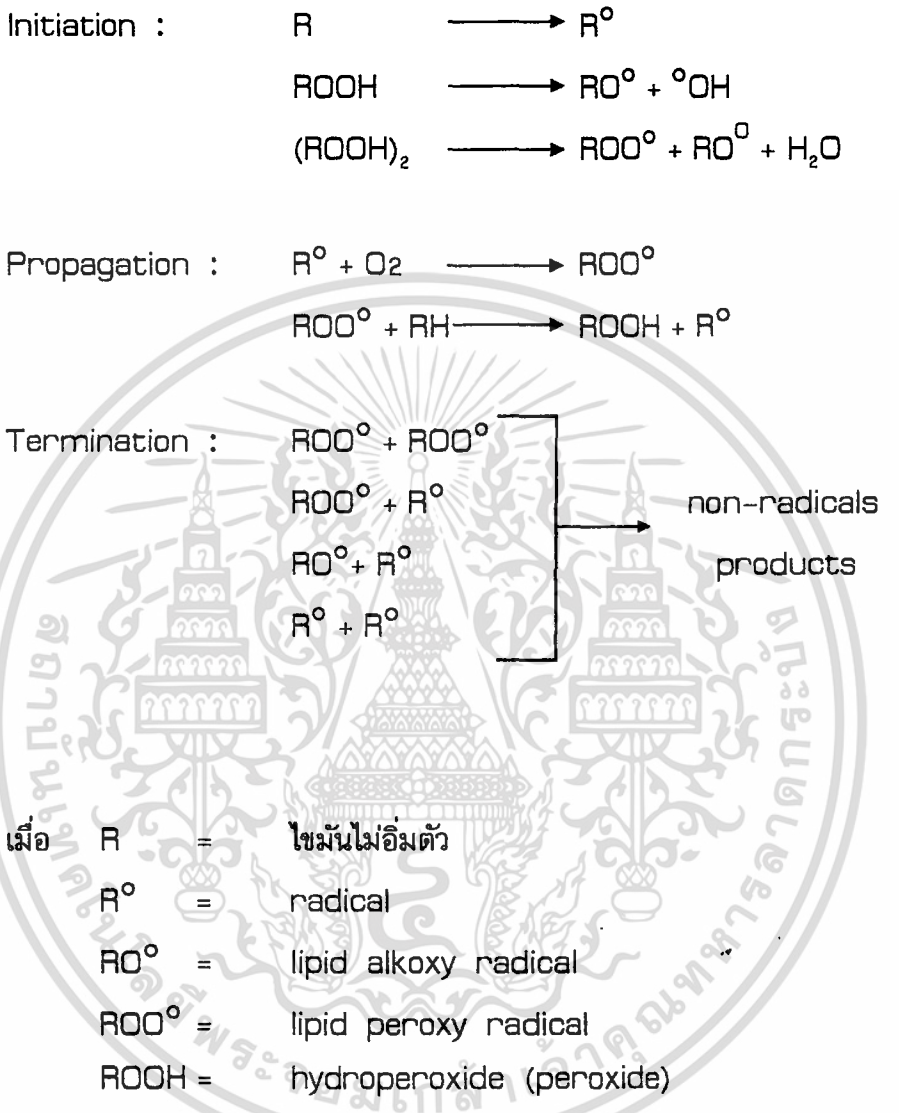
1. ปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่งเกี่ยวข้องกับ unsaturated acyl group และ hydroperoxide group เกิดที่ตำแหน่ง α ซึ่งติดกับพันธะคู่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับปริมาณความไม่อิ่มตัวของ acyl group และปัจจัยอื่นๆ
2. อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน (degree of unsatulation)
3. Trace metals เช่น Co , Cu , Fe , Mn เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขณะที่ Antioxidants เป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยา
4. อุณหภูมิเป็นตัวสำคัญในการเกิด Autoxidation อย่างไรก็ตามลักษณะผลที่เกิดขึ้นจะแตกต่างจากปฏิกิริยาเคมีทั่วๆ ไป
5. ผลิตภัณฑ์หลักของ Autoxidation คือ hydroperoxides
6. Hydroperoxides ไม่ใช่สารที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน แต่เนื่องจากเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงสลายตัวให้ secondary product ซึ่งเป็นอนุพันธุ์ที่ทำให้เกิดการเหม็นหืนและเกิดปฏิกิริยาต่อไปมากมาย เช่น Lipid Oxidation และการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

Lipid Oxidation จะเกิดในเมล็ดถั่วและธัญพืช ส่งผลให้เกิดการเสื่อมเสียระหว่างการเก็บรักษา การงอก และชะลอการเจริญเติบโต โดยผลิตภัณฑ์ลำดับสองที่เกิดขึ้นจะยับยั้งการงอกของเมล็ด การศึกษาส่วนใหญ่นั้นมักจะวัดปริมาณการลดลงของไขมันมากกว่าวัดปริมาณ Hydroperoxides เมล็ดจะถูกเร่งโดยการเก็บที่สภาวะต่างๆ มากกว่าเก็บโดยสภาวะตามธรรมชาติซึ่งไม่เหมือนกัน (Clark และ Snyder, 1991) แต่การรายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันลดลงอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดขึ้นได้มากหากปริมาณเริ่มต้นของกรดดังกล่าวก่อนการเกิดปฏิกิริยากิริยาออกซิเดชันมีน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 <u>กลไกการเกิด Lipid Oxidation</u>

กลไกของ radicals อิสระในกระบวนการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ



รูปที่ 2.2.1 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ของกรดไขมัน

ที่มา : Karel (1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Hydroperoxides เกิดขึ้น ปฏิกิริยาลูกโซ่ของ Free radicals จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในขั้น Initiation โดยสลายตัวทีละโมเลกุลเกิดเป็น radicals ใหม่ๆ ปฏิกิริยาดังกล่าวใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย

$$ROOH + RO^{\circ} \longrightarrow {}^{\circ}OH \text{ (หรือ } R^{\circ} + {}^{\circ}OOH)$$

จากหลักฐานทางการทดลองชี้ให้เห็นว่า Hydroperoxides เป็น Primary products ของ Autoxidation ที่เกิดกรดไขมันไม่อิ่มตัว และไม่เสถียรที่อุณหภูมิเกิน กว่า 80 °C ดังนั้นอาจจะสลายตัวให้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันตามปฏิกิริยา ณ แต่ละอุณหภูมิ ได้แก่ short-chain acids, alcohols, aldehydes และ ketones ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะทำให้กลิ่นรสของไขมันเปลี่ยนไป (Aurand และWoods, 1987)

โลหะที่เกิดจากการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อยมักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สุดท้ายที่ระยะ Termination จะเกิดการรวมตัวกันของ Free radicals โดยการรวมตัวกันนี้จะขึ้นกับสภาวะของปฏิกิริยา ในสภาวะที่มีออกซิเจนมากจะเร่งการรวมตัวของ peroxy radicals ขณะที่ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยนั้นจะทำให้เกิด R° และ RO° มากขึ้น ซึ่งจะเกิดที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ที่ระยะดังกล่าว จะเกิดปฏิกิริยา Polymerization โดยperoxyl radicals จะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ หรือเกิดปฏิกิริยา Aldol condensations ที่ผลิตภัณฑ์

2.2.2 <u>สารให้กลิ่นรสที่เกิดจากการสลายตัวของไขมัน</u> (Pattee et. al, 1982)

สารที่เกิดจากการสลายตัวของไขมัน และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวนั้นมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางดังนี้

- กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids)
- Aldehyde : แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ C_{1-10} n-alkanals, C_{3-12} n-2-alkenals และ C_{5-12} n-2,4-alkadienals เกิดจาก ปฏิกิริยา Oxidation ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (oleic, linoleic, linolenic และ arachidonic) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่เกิดกลิ่นรส (painty, oily, tallowy หรือ cardboardy)
- Ketones : เกิดจากไขมันที่ถูก Oxidised ได้แก่ 1-octen-3-one (กลิ่นโลหะ), 1-penten-3-one (กลิ่นน้ำมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- δ และγ lactones : δ lactone มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์นม ขณะที่ γ lactone มีความสำคัญต่อผลไม้

- แอลกอฮอล์อิ่มตัว : มีบทบาทเล็กน้อยต่อกลิ่นรส ได้แก่ 1-penten-3-ol isolated เกิดจากไขมันนม และเนื้อจะให้ oily และ grassy flavor อาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

- Aliphatic Hydrocarbon : ให้กลิ่นรสเพียงเล็กน้อย

- Amines : เกิดจากโปรตีน และกรดอะมิโน อาจเกิดจากไขมันก็ได้ (lecithin) โดยเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรีย

ผลสรุปที่กล่าวมานั้นเป็นสารหลักที่เกิดจากไขมัน สารอื่นๆ ได้แก่ esters, pyrazines, heterocyclic compounds (thio compounds) ซึ่งพบเป็นจำนวนน้อยในธัญพืช และถั่วต่างๆ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิด Lipid Oxidation

2.3.1 องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fennema, 1985)

จำนวน ตำแหน่ง และการจัดเรียงตัวของพันธะคู่นั้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation โดยอัตราส่วนในการเกิด Oxidation สำหรับ Arachidonic, Linolenic, Linoleic และ Oleic Acid มีค่าประมาณ 40 :20 :10 :1 ตามลำดับ และการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ที่บริเวณ cis acid จะมีความสำคัญมากกว่าบริเวณ trans isomers พันธะคู่ที่เกิดการ conjugate จะเกิดปฏิกิริยา Oxidation มากกว่าพันธะคู่ปกติที่ไม่มีการ conjugate อย่างไรก็ตามจำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวนั้นไม่สำคัญเท่ากับความไม่อิ่มตัวภายในโมเลกุล ไขมันที่มีปริมาณ Linolenic Acid สูง (triple bond) จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation ไขมันที่มีปริมาณ Oleic Acid มาก (Aurand, 1987)

โดยปกติการเกิด Autoxidation ของกรดไขมันอิ่มตัวนั้นจะดำเนินไปอย่างช้ามากที่อุณหภูมิห้อง โดยในขณะที่ไขมันไม่อิ่มตัวได้เกิด Oxidative Rancidity ขึ้นแล้วนั้น การเกิดปฏิกิริยา Oxidation ของกรดไขมันอิสระยังคงเกิดในอัตราที่ต่ำมาก แต่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงๆ นั้น กรดไขมันอิสระจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation สูงขึ้นมาก พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิ 25-35 °C (Adhikari และคณะ, 1992)

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันอิสระกับ Acylglycerols (Fennema, 1985)

กรดไขมันมักอยู่ในรูปอิสระจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation มากกว่าเมื่อจับด้วยพันธะเอสเทอร์กับ glycerol เล็กน้อย และการจัดเรียงตัวอย่างกระจัดกระจายของโมเลกุลกรดไขมันอิสระในธรรมชาตินั้น จะช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้

การที่ไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันอิสระในปริมาณน้อยนั้น ไม่มีผลต่อความเสถียรของปฏิกิริยา Oxidation แต่อย่างไรก็ตามในน้ำมันที่ผลิตทางการค้าบางชนิดซึ่งมี free acids อยู่จำนวนมากๆ นั้นจะส่งผลให้เกิดการจับตัวกับ catalytic free metals ที่มาจากอุปกรณ์ หรือถังเก็บเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเกิด Lipid Oxidation สูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. <u>สภาวะการเก็บ</u> (Galliard, 1994)

a) **อุณหภูมิ** : โดยทั่วไปอัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยปัจจัยอุณหภูมินี้มีความสำคัญมากต่อผลของแรงดัน ออกซิเจนที่มีต่อการเกิด Oxidation ซึ่งถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นขณะที่ความเข้มข้นของออกซิเจนเพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากความสามารถในการละลายของออกซิเจนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Fennema , 1985)

อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวและทำให้เกิด Hydrolytic rancidity ในธัญพืช เนื่องจากการเกิดการเสื่อมเสียของไขมันในเมล็ดแห้งขึ้นกับการกระจายตัวของไขมันในเมล็ด ซึ่งมีข้อจำกัดคือที่อุณหภูมิต่ำไขมันจะมีสภาพเป็นของแข็ง (Galliard, 1994)

อุณหภูมิเป็นตัวบอกอัตราการเกิด Autoxidation ที่อุณหภูมิห้องนั้นผลของการเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาของ chain propagation และการเสื่อมสลายเนื่องจาก Peroxide การเก็บผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยา Oxidation (Aurand และคณะ, 1987)

b) **ค่าความชื้น และค่า** Water Activity (A_w) : การเสื่อมเสียของไขมันจะเกิดที่ระดับ A_w ต่ำ ซึ่งมักจะเกิดกับผลิตภัณฑ์ที่มาจากธัญพืช เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสไม่ต้องการ free water ในกิจกรรมของเอนไซม์ Hydrolytic rancidity จะเกิดที่ระดับความชื้นต่ำถึงร้อยละ 5 ในแป้ง ปฏิกิริยา Oxidation ที่มีเอนไซม์ไลปอกซีจีเนส (Lipoxygenase) เป็นตัวเร่งนั้นจะเกิดที่ระดับ A_w ต่ำมาก (0.25) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาจะเกิดน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมาก ส่วนการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยา Non-enzymatic oxidation นั้นจะเกิดเล็กน้อยในผลิตภัณฑ์ธัญพืชที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 ความชื้นสามารถยับยั้งการดูดซับออกซิเจนได้ (Aurand และคณะ, 1987)

ในการศึกษาถึง Model ในระบบของไขมัน และอาหารชนิดต่างๆที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation นั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่า A_w เป็นอย่างมาก ในอาหารแห้งซึ่งมีความชื้นอยู่น้อยมากนั้น (A_w < 0.1)การดำเนินไปของปฏิกิริยา Oxidation จะเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก โดยถ้าทำการเพิ่มค่า A_w ของอาหารแห้งขึ้นจนถึงประมาณ 0.3 จะเป็นการช่วยชะลอการเกิด Lipid Oxidation ได้ และยังเป็นการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เหลือน้อยที่สุดด้วย แต่ที่ค่า A_w สูงถึงระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 0.55-0.85 นั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation จะเพิ่มขึ้นอีก (Fennema, 1985)

c) **แสง** : ประเภทของแสงตั้งแต่ ultraviolet (UV) จนถึง infrared จะเหนี่ยวนำให้เกิด ปฏิกิริยา Oxidation แสง UV (invisible light) จะส่งผลกระทบมากกว่า visible light เนื่องจากมีพลังงานสูงกว่า การบรรจุภายใต้ lightproof containers จะสามารถควบคุมการเสื่อมเสียของไขมันได้ (Aurand, 1987)

2.3.4. <u>สภาวะบรรยากาศ (Atmosphere) หรือความเข้มข้นของออกซิเจน</u> (Galliard, 1994)

ในระบบปิดที่มีออกซิเจนถ่ายเทในปริมาณที่ไม่จำกัดนั้นอัตราการเกิด Oxidation จะไม่ขึ้นกับแรงดันของออกซิเจน แต่ถ้าเป็นระบบที่มีปริมาณออกซิเจนอยู่ในปริมาณน้อย แรงดันของออกซิเจนจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามผลของแรงดันออกซิเจนดังกล่าวก็ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น อุณหภูมิ และพื้นที่ผิวของอาหารที่สัมผัสกับออกซิเจน เป็นต้น (Fennema, 1985)

ในอุตสาหกรรมอาหารสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้โดยการบรรจุแบบสูญญากาศ หรือการบรรจุภายใต้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน (Aurand, 1987) ถึงแม้ว่าจะสามารถป้องกันการเกิด Oxidative Rancidity ได้ก็ตาม แต่การเก็บวัตถุดิบในสภาวะก๊าซเฉื่อยไม่ได้เป็นการป้องกัน Hydrolytic rancidity อย่างไรก็ตาม Lipid Oxidation ที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นั้นสามารถเกิดได้ทั้งๆที่มีออกซิเจนในระดับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงมักพบปัญหาทางเทคนิค และเศรษฐกิจในการที่จะพยายามรักษาระดับออกซิเจนให้ต่ำกว่าร้อยละ 1 ในการบรรจุอาหาร (Galliard, 1994)

2.3.5. <u>ขนาดอนุภาค (Particle size) หรือพื้นที่ผิว (Surface Area)</u>

มีการรายงานถึงผลกระทบของอนุภาคต่อ Hydrolytic rancidity เป็นจำนวนมาก พร้อมกับ Oxidative Rancidity ที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถสัมผัสกับออกซิเจนบนไขมันได้มากขึ้น (Galliard, 1994) อย่างไรก็ตามเมื่อสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ออกซิเจนลดแรงดันที่เข้าทำปฏิกิริยานั้น ส่งผลน้อยมากต่อการลดลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation โดยใน emulsion ชนิด oil - in - water นั้นจะมีค่าขึ้นกับอัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ส่วนของน้ำมัน (Fennema, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6. Pro-oxidants (Fennema, 1985)

โลหะพวก transition ได้แก่ Co, Cu, Fe, Mn, และ Ni เป็นต้น จัดเป็น Pro-oxidant ที่สำคัญในอาหาร อิออนของโลหะจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาการเหม็นหืน (Meyer, 1976) โดยถ้ามีอยู่ในปริมาณเพียง 0.1 ppm. ก็มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ โดยจะไปลดระยะเวลาการเหนี่ยวนำทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation เร็วขึ้น โลหะ transition ดังกล่าว พบว่าเป็นองค์ประกอบตามธรรมชาติของอาหารทั่วไปที่ผลิตจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ เช่น ไข่ นม และน้ำผลไม้ เป็นต้น โดยจะอยู่ทั้งในรูปอิสระและเกิดพันธะกับสารอื่น

กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ metal catalysts มีดังนี้

1. การเร่งสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์

$$M^{n+} + ROOH \longrightarrow M^{(n+1)+} + OH^- + RO^\circ$$

$$M^{n+} + ROOH \longrightarrow M^{(n-1)+} + H^+ + ROO^\circ$$

2. ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับ unoxidized substrate

$$M^{n+} + RH \longrightarrow M^{(n-1)+} + H^+ + R^\circ$$

3. ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนทำให้เกิด singlet oxygen และ peroxy radicles

$$M^{n+} + O_2 \xrightarrow{-e^-} M^{(n+1)+} + O_2^- \xrightarrow{+H^+} HO_2$$

นอกจากนี้สารประกอบ Hematin ซึ่งพบในอาหารทั่วๆไป จัดเป็น Pro-oxidants ที่สำคัญเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7. <u>สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา (Inhibitor) หรือ Antioxidants</u> (Aurand, 1987)

ในการป้องกัน Hydrolytic rancidity ในผลิตภัณฑ์ที่มาจากธัญพืชนั้นยังไม่มีสารที่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสได้ นอกจากการใช้ Antioxidant เพื่อชะลอการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยา Non-enzymatic oxidation แต่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อปฏิกิริยา Oxidation ที่เกิดจากเอนไซม์ไลปอกซีจีเนส Antioxidants เป็นสารเคมีที่สามารถยับยั้ง หรือชะลออัตราการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้ (Fennema, 1985) นอกจากนี้ยังเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของ Autoxidation โดยเข้าทำปฏิกิริยากับ hydroperoxy radicals (ROO°)

Antioxidants เป็น hydrogen donors หรือ ตัวรับ radical อิสระ ปฏิกิริยาของ Antioxidants (AH_2) เป็นดังนี้

$$ROO^{\circ} + AH_2 \text{ ----------> } ROOH + AH^{\circ}$$

$$AH^{\circ} + AH^{\circ} \text{ ----------> } A + AH_2$$

Antioxidants แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Antioxidants ที่มาจากธรรมชาติ และมาจากการสังเคราะห์ ไขมัน หรือน้ำมันโดยเฉพาะที่ยังไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ส่วนใหญ่จะค่อนข้างเสถียรต่อ Oxidative Rancidity เนื่องจากมีส่วนประกอบของ Antioxidants ที่มาจากธรรมชาติอยู่นั่นเอง Tocopherols (Vitamin E) เป็น Antioxidants ที่มาจากธรรมชาติที่รู้จักกันมากที่สุด และพบว่ามีทั้งในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ แต่ในไขมันพืชจะมี Tocopherols ในปริมาณสูงกว่าไขมันสัตว์ Tocopherols จะมีประสิทธิภาพเมื่อรวมกับไขมันสัตว์มากกว่าไขมันพืช และง่ายต่อการถูก oxidized เป็น Tocoquinones ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของ Antioxidants เลย และถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนโดยเฉพาะที่อุณหภูมิระหว่างการแปรรูป พบว่าน้ำมันที่สกัดมาจากถั่วเหลืองที่มีความชื้นสูงมากกว่า 11-12 % จะมีกรดไขมันอิสระ และ Tocopherols ต่ำกว่าน้ำมันที่สกัดมาจากถั่วเหลืองที่มีความชื้นปกติ (Chu, 1995)

โดยทั่วไป Antioxidants ที่มาจากธรรมชาติจะมีคุณสมบัติยับยั้งปฏิกิริยาได้ไม่ค่อยดี จึงมีการสังเคราะห์ Antioxidants ขึ้นใช้ในอาหาร ซึ่งต้องไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
96738

ควรจะมีประสิทธิภาพแม้ผสมในปริมาณต่ำ ใช้ได้กับไขมันหลายประเภท ไม่มีกลิ่น หรือสีในผลิตภัณฑ์ และควรจะได้รับการยอมรับจากองค์การอาหารและยา (อย.)

เนื่องจาก Antioxidants แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการให้ความคงตัวของไขมันหรือผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ได้แตกต่างกัน จึงมีการผสมกันของ Antioxidants เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น butylated hydroxyanisole (BHA), propyl gallate (PG) และ citric acid ซึ่งใช้ในการให้ความคงตัวใน lard ต่อมามีการรวมกันของ BHA, butylated hydroxytoluene (BHT) และ PG จะเป็นตัวที่ใช้กันมากในปัจจุบัน Antioxidants ตัวอื่นๆ มักใช้กันในจำนวนจำกัด

การเกิด Oxidative Rancidity ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนนั้นสามารถชะลอได้ด้วยการใช้ Antioxidants ระหว่างกระบวนการ แต่ผู้บริโภคมักไม่ยอมรับ Antioxidants ที่มาจากการสังเคราะห์ (Galliard, 1994)

2.3.8. <u>คุณภาพของวัตถุดิบ</u> (Galliard, 1994)

เมล็ดที่ไม่สมบูรณ์หรือปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไขมันได้นั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพลดลง เมล็ดที่มีความชื้นสูงก่อนการเก็บเกี่ยวจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเหม็นหืนได้ง่าย เช่นการปนเปื้อนเชื้อราในแป้ง จะเกิด 'soapy' off-flavor ใน biscuit dough มีการรายงานว่าเป็นไปได้ที่ปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิด การเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์จากธัญพืช

2.3.9. <u>สภาวะการแปรรูป</u> (Galliard, 1994)

การใช้สารยับยั้งเพื่อป้องกันการเหม็นหืนเนื่องจากเอนไซม์ในอาหารนั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงมักจะใช้ความร้อนในการหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ อย่างไรก็ตามจากเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้วสภาวะที่ให้จะต้องจะต้องมีประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ แต่ต้องไม่รุนแรงมาก เพื่อป้องกันการเหม็นหืนอันเนื่องมาจาก Lipid Oxidation ที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ในบางกรณี การใช้ความร้อนจะทำลายคุณสมบัติบางประการ เช่น สูญเสียคุณสมบัติของกลูเตนใน dough ของแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.10. <u>ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์</u> (Galliard, 1994)

ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยส่วนผสมหลายชนิดอาจเสื่อมเสียได้ง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น วัตถุดิบที่มีไขมัน กรดไขมันอิสระ เอนไซม์ไลเปส เอนไซม์ไลปอกซีจีเนส หรือตัวเร่งปฏิกิริยา Non-enzymatic oxidation (Fe, Cu ฯลฯ) เป็นจำนวนมาก

ผลิตภัณฑ์ที่มาจากธัญพืชบางประเภทนั้น ความคงตัวระหว่างการแปรรูปเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันการเกิดการเหม็นหืน ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ขาดการยอมรับภายในระยะเวลาอย่างรวดเร็ว ในวัตถุดิบที่ผ่านการให้ความร้อนจะถูกทำลายคุณสมบัติบางประการ เราสามารถประเมินการเหม็นหืนเนื่องจากมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งได้โดยการใช้วัตถุดิบที่เหมาะสม คำนึงถึงขนาดของอนุภาค . ควบคุมสภาวะการเก็บ และคำนึงถึงส่วนผสมที่มีปริมาณไขมันมาก

สำหรับกระบวนการที่ใช้ความร้อนหรือใช้ความชื้น ควรคำนึงถึงการลดประสิทธิภาพของเอนไซม์ ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ การเกิดปฏิกิริยา Oxidation ที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง และการสูญเสียประสิทธิภาพของ Antioxidants เช่น วิตามิน E (Tocopherols) การใช้ Antioxidant ร่วมจะช่วยยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้ Antioxidants บางตัวจะมีประสิทธิภาพเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่มาจากธัญพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เทคนิคในการวัด Lipid Oxidation

Lipid Oxidation เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพมากมาย การเสื่อมเสียเนื่องจาก Lipid Oxidation เป็นตัวการสำคัญที่จะบ่งบอกถึงการยอมรับ และคุณภาพทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหาร มีวิธีการมากมายที่นำมาใช้เพื่อประเมิน Lipid Oxidation อย่างไรก็ตามไม่มีวิธีใดเพียงวิธีเดียวที่สามารถวัด Lipid Oxidation ได้ทั้งหมด หรือวัด Lipid Oxidation ได้ทุกระยะ หรือสามารถวัดไขมันได้ทุกประเภท (Fennema, 1985)

2.4.1. Peroxide Value (PV) (Fennema,1985)

Peroxide หรือ Hydroperoxide เป็นผลิตภัณฑ์ภัณฑ์เริ่มต้นของ Lipid Oxidation ที่สำคัญ สามารวัดได้จากการที่ไขมันที่เหม็นหืนเข้ารวมตัวกับ iodine จาก potassium iodine (Meyer, 1976) หรือจากการ Oxidize เหล็กเป็น ferric ions ปริมาณ Peroxide สามารถแสดงได้ในรูปของ milliequivalents ของออกซิเจนต่อกิโลกรัมของไขมัน ถึงแม้ว่า PV จะสามารถวัดการสร้าง Peroxide ที่ระยะเริ่มต้นของการเกิด Lipid Oxidation ได้ดี แต่ต้องอาศัยความชำนาญสูง ผลที่ได้จะแตกต่างกันตามวิธีการทดลอง วิธีการค่อนข้างไวต่อต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ช่วงที่มีการเกิดปฏิกิริยา Oxidation นั้นค่า PV จะสูงสุดต่อจากนั้นค่าจะลดลง วิธี PV จะมีประโยชน์ในการวัดในระยะที่ผ่านกระบวนการฟอกสี และกำจัดกลิ่น (Rossel และPritchard, 1991)

มีการพัฒนาวิธี PV มากมายเพื่อให้สามารถวัดค่าการเหม็นหืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปริมาณออกซิเจนที่ดูดซับเข้าไป (หรือ Peroxide ที่เกิดขึ้น) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความเหม็นหืนนั้น จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับองค์ประกอบของไขมัน (ไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่จะรวมตัวกับออกซิเจนในปริมาณเพียงเล็กน้อยในการเกิดการเหม็นหืน)

2.4.2. Thiobarbituric Acid (TBA) Test (Fennema,1985)

เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมากในการประเมิน Lipid Oxidation ไขมันที่เกิดการเหม็นหืน หรือถูก oxidized จะทำปฏิกิริยากับ 2-thiobarbituric acids เกิดสารสีแดงเข้มซึ่งแสดงค่าความเหม็นหืน สารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับ TBA คือ Malonaldehyde, $CH_2(CHO)_2$ (Meyer, 1976) โดย Malonaldehyde 1 โมเลกุล จะทำปฏิกิริยากับ TBA 2 โมเลกุล วิธีนี้จะเกี่ยวข้องกับการละลายตัวอย่างในตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14889

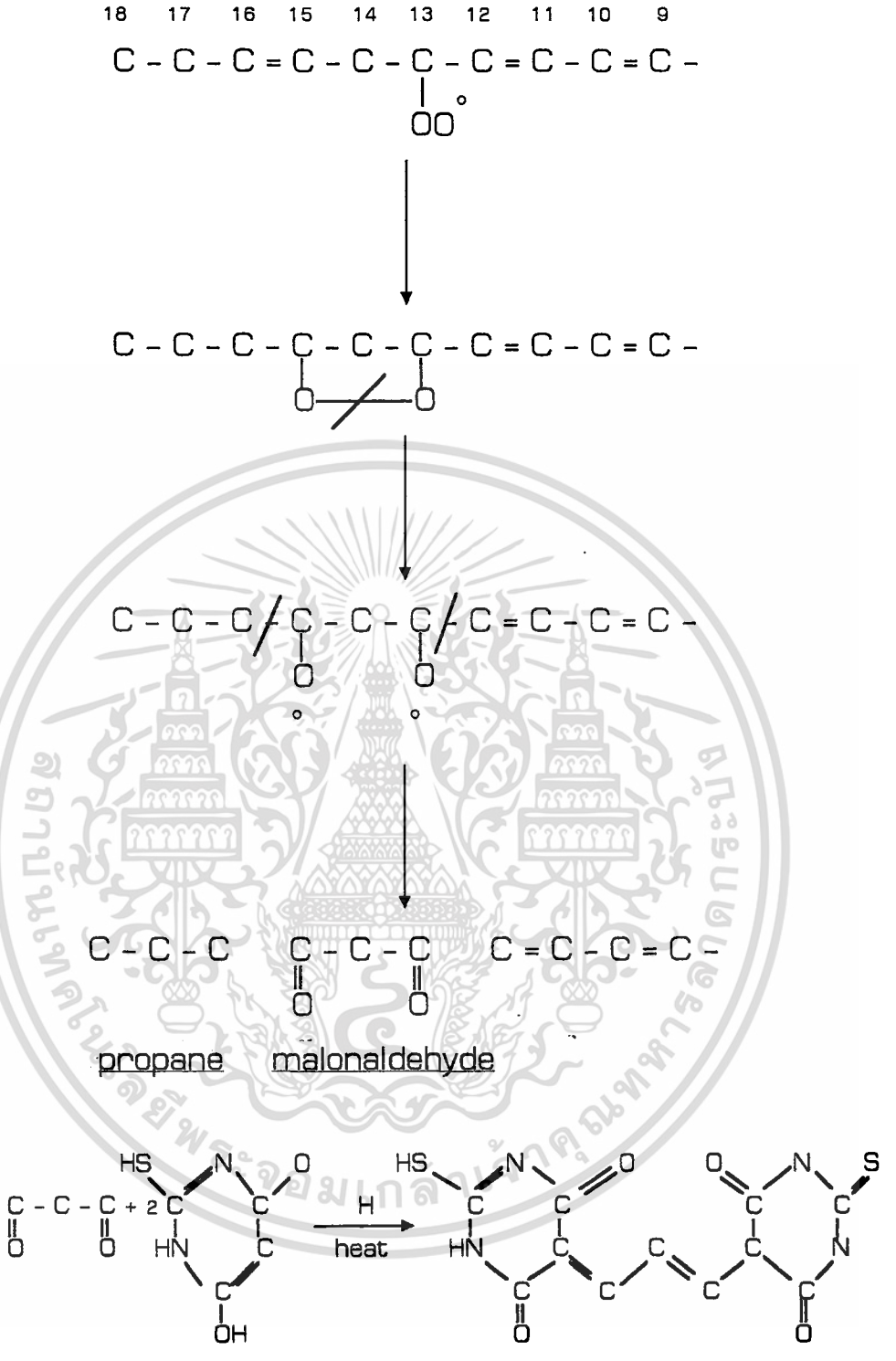
อินทรีย์ เช่น benzene, chloroform หรือ carbon tetrachloride สามารถวัดได้โดยใช้ spectrophotometer ค่า Malpnaldehyde สามารถคำนวณได้จากค่า Absorbance (Aurand และคณะ, 1987) อย่างไรก็ตามจะไม่พบ Malonaldehyde ในระบบ alkanals, alkenals และ 2, 4-dienals จะให้สารสีเหลือง (450 nm.) เมื่อทำปฏิกิริยากับ TBA แต่ dienals เท่านั้นจะให้สารสีแดง (530 nm.)

โดยทั่วไปสารที่เข้าทำปฏิกิริยากับ TBA จะมาจากกรดไขมันที่ประกอบด้วยพันธะคู่หรือ triple bond mechanism ของปฏิกิริยาแสดงในรูปที่ 2.4.1 จะเห็นว่า radicals ของ peroxy group (เกิดในกรดไขมันที่ประกอบด้วยพันธะคู่หรือพันธะสาม) จะเกิดวงแหวน form ตัวเป็น peroxides ซึ่งไม่คงตัว จากนั้นจึงสลายตัวเป็น malonaldehyde

สารประกอบอื่นๆในระบบนอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Lipid Oxidation พบว่าเป็นสามารถรบกวนการทดลองโดยทำปฏิกิริยากับ reagent ให้สารสีแดงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ยูเรีย น้ำตาลซูโครส โปรตีนหรือสารอื่นๆ ที่ถูก oxidised ได้ (Rossell, 1994) และสารประกอบบางอย่างใน wood smoke พบว่าให้สารสีแดงเมื่อทำปฏิกิริยากับ TBA ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงค่าความถูกต้องของผลเมื่อใช้ตัวอย่างที่เป็นเนื้อรมควัน ในทางกลับกันค่าที่ได้อาจต่ำกว่าปกติเมื่อ malonaldehyde ทำปฏิกิริยากับโปรตีน เพราะฉะนั้นความแม่นยำที่ได้จะแตกต่างกันขึ้นกับประเภทของตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม TBA test สามารถใช้หาความแตกต่างของตัวอย่างในประเภทเดียวกันที่ระดับ Lipid Oxidation ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



malonaldehyde TBA TBA chromagen (hydrogen bonded form)

รูปที่ 2.4.1 mechanism ของการสร้าง malonaldehyde

ที่มา : Fennema (1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3. Oven Test (Meyer, 1976)

ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเบเกอร์รี่ เนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น และง่ายต่อการติดตั้ง โดย biscuits, cookies หรือ crackers จะถูกเก็บใน beaker หรือ jar พร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 63 °C หรือ 145 °F จำนวนวันที่ทำให้เกิดการเหม็นหืนจะถูกวัดจากกลิ่นรสขณะที่อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ใช้กันอย่างมากในการเปรียบเทียบไขมัน

2.4.4. Anisidine Value (AnV) (Fennema, 1985)

p-anisidine จะทำปฏิกิริยากับ aldehyde ในกรด acetic เกิดเป็นสารสีเหลือง ซึ่ง aldehyde ที่ประกอบด้วย double bond เกิด conjugate กับ carbonyl double bond ดังนั้น AnV จึงเป็นการวัด 2-alkanals ซึ่งเป็น secondary oxidation products วิธี AnV จะมีประโยชน์ในการวัดในระยะที่ผ่านกระบวนการฟอกสี และกำจัดกลิ่น (Rossell และPritchard, 1991) เช่นเดียวกับ PV สามารถคำนวณค่า Oxidation Value (OV) ได้จากสูตร 2 x PV + AnV ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ประเมิน Lipid Oxidation ในน้ำมัน

2.4.5. Kreis Test (Fennema, 1985)

เป็นวิธีแรกทางการค้าที่ใช้ประเมิน Lipid Oxidation ในไขมัน โดยการวัดสีแดงซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาของ epihydrin aldehyde (ไอโซเมอร์ของ malonaldehyde) หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Lipid Oxidation ประเภทอื่นๆ กับ phloroglucinol อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากหลายการทดลองยากที่จะให้ความเชื่อถือได้

2.4.6.Free Fatty Acid Content (Gunstone,1986)

"free fatty acid contene" หรือ "acid content" หมายถึง % ของ free fatty acid ที่มีอยู่ในไขมัน ส่วน "acid value" จะหมายถึงจำนวนเป็นมิลลิกรัม ของ KOH ที่ใช้ในการ neutralize ไขมัน 1 กรัม และ "degree of acidity" หมายถึงจำนวนเป็นมิลลิลิตร ของ alkaline hydroxide (1 mol/l) ที่ใช้ในการ neutralize ไขมัน 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7. Ultraviolet Spectrophotometry

เป็นการวัดค่า Absorbance ของ conjugated dienes (234 nm.) และ conjugated trienes (268 nm.) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ Hydroperoxide (Rossell และPritchard, 1991) แต่วิธีนี้มักมักไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับการเกิด Lipid Oxidation ที่เกิดในระยะแรก ๆ (Fennema, 1985)

2.4.8. Oxirane Test (Fennema, 1985)

พิจารณาปริมาณ epoxide โดยทำการไตเตรทตัวอย่างกับ HBr ใน acetic acid เกิดสีม่วง และเขียวอมน้ำเงินที่จุดยุติ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวขาดความไวและความเฉพาะเจาะจง นอกจากนี้ Hydrogen halides จะเข้าทำปฏิกิริยากับ α, β-unsaturated carbonyls และ congugated dienols

2.4.9. Total and Volatile Carbonyl Compounds (Fennema, 1985)

การวัดสารประกอบ carbonyls ทั้งหมดนั้นทำได้โดยการวัด hydrazones ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยากันของ aldehydes และ ketones (ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Lipid Oxidation) กับ 2, 4-dinitrophenylhydrazine อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวะที่ใช้ทดลองนี้ สารประกอบ carbonyls อาจเกิดการสลายตัวของสารที่ไม่คงตัว ตัวอย่างเช่น hydroperoxide ซึ่งจะส่งผลต่อค่าที่ได้

เนื่องจากสารประกอบ carbonyls ส่วนใหญ่ในไขมันที่ถูก oxidized มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงไม่สามรถเกิดกลิ่นเหม็นหืนโดยตรง มีการพัฒนาทางเทคนิคมากมายในการวัดและแยก volatile carbonyl compounds วิธีโดยทั่วไปคือการกลั่นภายใต้บรรยากาศหรือ การลดความดัน ปฏิกิริยาจะเกิดระหว่าง carbonyls และ reagents

2.4.10. Iodine Value (Fennema, 1985)

วิธีนี้ใช้วัดพันธะไม่อิ่มตัวในไขมัน และแสดงในลักษณะของร้อยละของ Iodine absorbed บางครั้งใช้ในการวัดการลดลงของ dienoic acids ระหว่างการเกิด Autoxidation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.11. Fluorescence (Fennema, 1985)

สารประกอบ Fluorescent เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบ carbonyls (ผลิตภัณฑ์จาก Lipid Oxidation) และเซลที่มี free amino groups เป็นองค์ประกอบ เป็นการตรวจ Lipid Oxidation ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต

2.4.12. Chromatographic Methods (Fennema, 1985)

เทคนิคที่ใช้วัด Lipid Oxidation อาหารที่ประกอบด้วยไขมันมีหลายวิธี ได้แก่ liquid, thin-layer, high-performance liquid, size-exclusion และ gas chromatography และวัดปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ สารมีขั้ว หรือ polimeric เช่น pentane, hexanal ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในรูปของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก autxidation

2.4.13. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Fennema, 1985)

การตัดสินกลิ่นเหม็นหืนในอาหารมักอาศัยการทดสอบทางประสาทสัมผัส ค่าทางเคมี หรือกายภาพจะถูกต้องหรือไม่ขึ้นกับความสัมพันธ์กันกับค่าทางประสาทสัมผัส การทดสอบกลิ่นมักอาศัยผู้เชี่ยวชาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสในน้ำมัน และไขมัน

เมื่อมีการเก็บน้ำมันหรือไขมัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสซึ่งมีอิทธิพลต่อคุณภาพ กลิ่นรสที่มาจากการเหม็นหืนนั้นเกิดจากสารหลายชนิด มีหลายตัวที่เรายังไม่ทราบโครงสร้างที่แน่ชัด เนื่องจากต่อมรับรสของมนุษย์มีความไวต่อ lactones และ กรดไขมันอิสระมาก ถ้ามีสารดังกล่าวอยู่ในอาหาร ภายในระยะเวลาไม่นานอาหารจะมีกลิ่นรสผิดปรกติ การเหม็นหืนเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา แต่บางครั้งก็ก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น ช่วยสร้างกลิ่นรสในเนยแข็ง (Allen และHamilton, 1994)

เป็นที่รู้กันมานานว่าไขมันจะค่อยๆ รวมตัวกับออกซิเจนในระยะเวลาหนึ่งก่อนเกิดการเหม็นหืน ระยะเวลาดังกล่าวเรียกว่า 'Induce period' จากนั้นการรวมตัวกับออกซิเจนจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยา Oxidation จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ระยะเวลาในการเกิดจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

ไขมันพืชโดยเฉพาะจากเมล็ดจะสามารถต้านทานการเหม็นหืนได้โดยที่บางเมล็ดที่สมบูรณ์เก็บไว้ได้เป็นปีโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมัน เนื่องจากมี Antioxidants แต่ในไขมันสัตว์นั้นจะเกิดการเสื่อมเสียค่อนข้างเร็ว ไขมันบางประเภทมี Prooxidants (โลหะ และอิออนของโลหะ) ซึ่งจะเร่งการเกิดการเหม็นหืน (Meyer, 1976)

2.5.1 ลักษณะกลิ่นรสที่เกิดจากไขมัน

กลิ่นรสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ต้นกำเนิดของกลิ่นรสมาจากกรด Linoleic และ Linolenic ซึ่งปฏิกิริยา Oxidation และปฏิกิริยาการแตกสลายของกรด Linoleic และ Linolenic นั้นจะทำให้เกิดสารให้กลิ่นรสมากมาย การเหม็นหืนอาจเกิดจาก Autoxidation และเอนไซม์ (Vaidehi และ Kadam, 1989)

การให้กลิ่นรสของไขมันอาจเกิดจาก volatile หรือ non volatile lipids ไขมันที่ไม่สามารถระเหยได้ ($< C_{10}$) จะไม่มีรสเปรี้ยว หวาน ขม และเค็ม เนื่องจากไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่จะให้กลิ่นรสที่เรียกว่า 'Candle-like' ส่วนกลีเซอรอลที่ออกมาจากไขมันอิ่มตัวนั้นพบว่ามีรสหวาน 'Metallic taste' ซึ่งเป็นสัมผัสส่วนที่ 5 นั้น มักจะพบในกรดไขมันมากมายเกิดจาก 1-octen-3-one

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแตกตัวของ non volatile lipids ในผลิตภัณฑ์จะกระตุ้นให้เกิดกลิ่นรสภายในปาก คุณสมบัติทาง Rheology มีอิทธิพลต่อการให้กลิ่นรส

Hexanal ซึ่งมีกลิ่นเหม็นเขียวนั้นพบว่าเป็นสารระเหยหลักจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีปริมาณถึงร้อยละ 25 ของสารระเหยทั้งหมด การเกิด Oxidation ของ Phosphatidylcholine จะทำให้เกิดรสขม (Vaidehi และKadam, 1989) การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระหว่างการเก็บรักษาจะมีอิทธิพลต่อระดับของ carbonyl compounds ซึ่งมีผลต่อ cooked flavor ของข้าว (Ramarathnam และKulkarni, 1983)

ไขมันสามารถเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของสารประกอบอื่นๆ ในอาหาร และยังมีอิทธิพลต่อสภาวะทางกายภาพของอาหาร โดยทั่วไปกลิ่นรสจะเพิ่มมากขึ้นในในสื่อที่เป็นน้ำ (lipophobic) มากกว่าในน้ำมัน (lipophilic) ปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเป็นขั้วของสารประกอบที่ให้กลิ่นรส และพันธะเชื่อมกับโมเลกุลของตัวทำละลาย ซึ่งเป็นปัจจัยที่ซับซ้อน โมเลกุลที่มีความเป็นขั้วต่ำ (กรดไขมันสายสั้น) จะให้กลิ่นรสน้อยในน้ำมัน และให้กลิ่นรสมากในน้ำ (Pattee et.al, 1982)

2.5.2 <u>การแตกตัวของไขมัน</u> (Pattee et.al, 1982)

เนื้อเยื่อที่ยังมีชีวิตจะสามารถต้านทานการเกิด Lipid Oxidation ถึงแม้ว่าจะมีองค์ประกอบที่สำคัญๆเกิดขึ้น เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัว ออกซิเจน และตัวเร่งปฏิกิริยาก็ตาม ความจริงดังกล่าวทำให้พิจารณาได้ว่าถ้าสามรถระบุถึงสาเหตุได้อย่างแม่นยำภายในเซลล์ จะสามารถป้องกับเซลล์จากการถูกทำลายได้

ความเข้าใจถึงการเสื่อมเสียของไขมันนั้นมีส่วนสำคัญต่อการระบุ และการแยกสารประกอบที่ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรส ซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญคือ ธรรมชาติและองค์ประกอบของไขมัน การจัดการถึงกระบวนการและสภาวะการเก็บ(บรรยากาศ pH ของอาหาร ออกซิเจน และอื่นๆ) การมีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา บทบาทของเอนไซม์ และปฏิกิริยาของไขมัน และผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียแล้วกับองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร

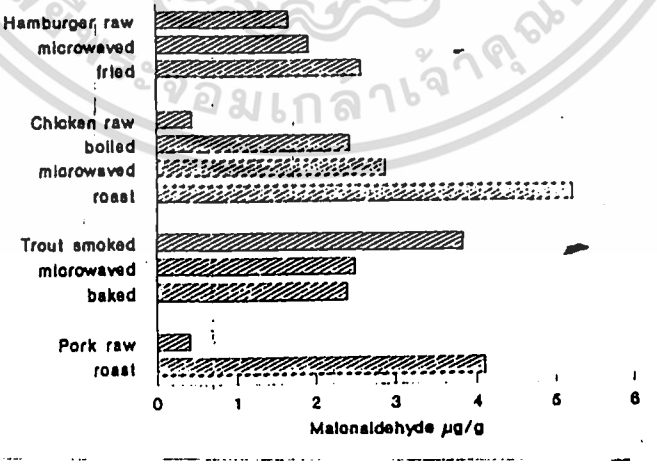
การพิจารณาถึงการเสื่อมเสียของไขมัน และการอธิบายถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีผลต่อการสูญเสียกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ก็มีความสำคัญเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 <u>กระบวนการแปรรูปที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมัน</u> (Pattee et. al, 1982)

แม้ว่าเราจะเก็บรักษาวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ไว้อย่างดีเพียงใด โอกาสที่จะเกิด off-flavors หรือ off-aromas ระหว่างการเก็บรักษาและระหว่างการผลิตย่อมเกิดได้ตลอดเวลา บทบาทของไขมันเป็นสิ่งแรกที่ควรคำนึงถึง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดการสูญเสียกลิ่นรสนั้นไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ปริมาณ polyunsaturated free fatty acids (PUFA) และ เอนไซม์ เช่น ไลปอกซีจีเนสในพืชน้ำมันนั้นเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิด off-flavors และ off-aromas ในระยะต่างๆ ของกระบวนการ (Pattee et.al, 1982)

การปรุงอาหารก็มีส่วนทำให้เกิดการเหม็นหืน ปริมาณสารที่ถูก oxidized จะขึ้นกับอุณหภูมิ และช่วงเวลาที่สัมผัสออกซิเจน ความเข้มข้นของ Malonaldehyde (MDA) ถูกใช้เป็นตัววัดปริมาณไขมันที่ทำให้เกิด Lipid Oxidation ขึ้นขณะหุงต้มการต้มหรือการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะทำให้ความเข้มข้นของ MDA ต่ำที่สุด การทอดหรือการอบจะทำให้เกิด MDA อย่างมากในเนื้อ แต่ในเนื้อปลากลับเป็นการลด MDA ในการปรุงเนื้อและปลาโดยใช้ถ่านจะเกิดเป็น polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) PAH ในปริมาณน้อยๆ จะเกิดขึ้นระหว่างการย่างหรือการทอดกรอบ ระหว่างการปรุงอาหารโดยใช้ถ่านปริมาณ PAH อาจสูงถึง 200 µg. ต่อกิโลกรัม (Allen และHamilton, 1994)



รูปที่ 2.5.1 ผลของการแปรรูปอาหารต่อปริมาณ Malonaldehyde

ที่มา : Allen และHamilton (1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับผลของกระบวนการผลิตต่อน้ำมันถั่วเหลือง โดยได้การแยกสารระเหยออกจาก deep fat-fried soybeans และพบ สารให้กลิ่นหอม carbonyl pyrazine และ pyrole (อนุพันธ์ของสารระเหย) เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 2, 4-decaienal ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นเนื่องจาก Autoxidation ของ Linolenic acid ในน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งบ่งบอกถึงกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนา และพบกลิ่นถั่วดิบ (raw flavor) หรือกลิ่นถั่ว (beany flavor) เล็กน้อยใน deep fat-fried soybeans นอกจาก 2, 4-decadienal และ 1-octen-3-ol แล้ว สารระเหยตัวอื่นๆ ที่สำคัญได้แก่ phenyl acetaldehyde, 4-vinyl guaiacol, furfural, 5-methyl furfural, 2-furfural methyl ketone, furfuryl alcohol และ pyrazine (และอนุพันธ์) มีผู้พบว่าพบว่ากลิ่นขมในถั่วเหลืองเกิดจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Autoxidation ของกรดไขมันที่อยู่กับ phosphatidylcholine ในถั่วเหลือง (Vaidehi และ Madam, 1989) น้ำมันจากถั่วเหลืองแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกันเนื่องจากระดับของกรด Linoleic ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 6-14 % ระดับดังกล่าวเป็นตัวบ่งชี้ภึงกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาในผลิตภัณฑ์ ในการพัฒนากลิ่นนั้นมีนักวิจัยต่างๆ มากมายหลายกลุ่มทำการวิจัยเพื่อลดระดับกรด Linoleic โดยใช้ปัจจัยหลายอย่างควบคุม แต่ก็สามารถควบคุมให้อยู่ในช่วง 2.5-4.6 % เท่านั้น ไม่สามารถควบคุมให้น้อยกว่า 2.5 % ได้ (Rennie และ Tanner, 1962)

มีการรายงานอื่นๆ ถึงการเปลี่ยนแปลงในไขมันซึ่งเป็นผลจากกระบวนการแปรรูปในพืชน้ำมัน Rackis และคณะ (1970) แสดงให้เห็นว่าเกิด Lipid Oxidation ขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเตรียม raw defatted soybean flakes พบว่ากลิ่นถั่ว กลิ่นขม (bitter flavor) และกลิ่นหญ้า (grass flavor) ที่เกิดขึ้นในส่วนของไขมันไม่สามารถสกัดได้ใน pentane-hexane แต่จะละลายใน ethanol และ hexane alcohol azeotropes และมีการรายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการเก็บถั่วลิสงนั้นขึ้นกับสภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และความชื้น Lipid Oxidation จะทำให้เกรสขม และ off-flavors

Sumner และคณะ (1979) ได้ทำการศึกษาแป้งถั่ว protein concentrate และแป้ง พบว่ากลิ่นจะเปลี่ยนแปลงที่ระดับความชื้นสูง (13.6 %) และอุณหภูมิสูง (30°C) อย่างมีนัยสำคัญ โดยหลังจาก 52 สัปดาห์ กลิ่นถั่วสดจะเปลี่ยนแปลงเป็นกลิ่นโคลน (musty flavor) กลิ่นคาวปลา (fishy flavor) และไม่พบการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิน้อยกว่า 30 °C และความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 และสรุปว่าเป็นผลมาจากเอนไซม์ไลปอกซีจีเนส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hichcliffe และคณะ (1977) ได้ศึกษาถึงกลิ่นรสของ faba beans ซึ่งได้รับผลกระทบจากความร้อน และการเก็บรักษา พบว่าแป้งถั่ว faba เกิดกลิ่นรสขมหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 ปีที่อุณหภูมิห้อง

Murry และคณะ (1976) ได้ศึกษาถึงสารประกอบที่ให้กลิ่นรสใน unblanched peas โดยระบุถึงประเภทของสารประกอบของสารประกอบในถั่ว และเปลือกถั่วได้แก่ alcohols, carbonyls, esters, hydrocarbons, terpenes และ 3-alkyl-2-methoxypyrazines และสรุปว่ากลิ่นที่เกิดส่วนใหญ่การจากการทำงานร่วมกับของ alkanals, alka-2-enals, alka-2, 4- และ 2, 6-dienals, octa-3, 5-dien-2-ones, 3-alkyl-2-methoxypyrazines รวมทั้ง hexanol ไม่มีสารประกอบใดที่ทำงานเพียงตัวเดียวที่ทำให้เกิดกลิ่นฟ่าง (haylike off-flavor) นอกจากนี้ยังรายงานอีกว่าสารประกอบที่ระบุถึงนี้เกิดจากการสลายตัวของไขมันไม่อิ่มตัวในถั่ว โดยตั้งสมมุติฐานว่าสารประกอบส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิด off-flavors ในถั่วคือ mono, di-unsaturated carbonyls และ mono saturated, unsaturated alcohols ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ไลปอกซีจีเนส และalcohol dehydrogenase

การสูญเสียกลิ่นรสเป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค ในกรณีของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองนั้นสารประกอบ carbonyl จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเขียว และกลิ่นหญ้าที่ไม่ต้องการ นอกจากนี้ยังมี ethyl vinyl ketones, n-hexanal, 3-cis-hexenal และ n-pentyl furan ซึ่งให้กลิ่นที่ไม่ต้องการเช่นกัน

การเกิดปฏิกิริยาของ Peroxide และการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ซึ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา Oxidation นั้น สามารถทำลายโปรตีน และกรดอะมิโน secondary product ที่เกิดจากการสลายตัวของ Peroxide โดยเฉพาะ aldehyde จากทำให้กรดอะมิโนเสียสภาพ โดยกระทำที่ covalent bond ส่วน Malonaldehyde ซึ่งสามารถ cross-link กับโปรตีนได้นั้นจะเป็นผลิตภัณฑ์ตัวสำคัญที่เกิดจาก aldehyde

1. **ไขมันที่ถูก oxidized ภายใต้ความร้อนสูง** (Allen และHamilton, 1994)

โดยทั่วไปในการทอดปลาให้กรอบใช้อุณหภูมิ 180 ^{o}Cเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างอาหารและน้ำมันทำให้เกิดความกรอบนั่นเอง การเปลี่ยนแปลงของความดันไอของน้ำเป็นผลมาจากไขมันที่ถูกให้ความร้อนรวมทั้ง Antioxidants เช่น วิตามิน E BHT การให้ความร้อนแก่ไขมันและน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation และการรวมตัวของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีขั้วได้แก่ glycerides และการทอดโดยการใช้กะทะก้นตื้นจะทำให้อาหารสุกเร็วขึ้น ไม่ควรจะใช้น้ำมันเดิมทอดอาหารใหม่ จะช่วยลดการรวมตัวของสารมีขั้วได้ แต่ถ้าการทอดกรอบโดยใช้น้ำมันเก่าหรือน้ำมันที่ถูกเก็บมาเป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้การรวมตัวของสารมีขั้วสูงถึงร้อยละ 25 หลังจากการทอด 30 ชั่วโมงการรวมตัวของสารมีขั้วสูงถึงร้อยละ 30 ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของอาหาร ในทางอุตสาหกรรมจะใช้การทอดคล้ายๆกับการทอดด้วยกะทะตื้นๆ สารมีขั้วที่เกิดจากการที่ไขมันถูก oxidized ด้วยความร้อนจะมีปริมาณ cyclic monomer อยู่ในช่วงร้อยละ 0.1-0.5 โดยน้ำหนัก สารพวกนี้เกิดจากการรวมตัวกันของ linoleic และ linolenic acid ซึ่งมีความเป็นพิษอีกด้วย จึงต้องแยกออก เช่นในน้ำมัน linseed ต้องมีการผ่านความร้อนสูงถึง 275 °C เพื่อไม่ให้มีออกซิเจนเหลืออยู่

2. อาหารและรังสี (Allen และHamilton, 1994)

กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลเดี่ยวจะมีความทนทานต่อรังสีมาก แต่กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2-3 พันธะจะถูกทำลายได้ง่าย การเกิด Lipid Oxidation จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออาหารมีส่วนผสมของ ไขมันหมูกับแป้ง หรือ น้ำมันข้าวโพดกับแป้ง แต่จะเกิดมากหากเป็นส่วนผสมของน้ำมันจากปลาเฮอริงกับแป้ง เนื่องจากน้ำมันจากปลาเฮอริงมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภทที่มีคาร์บอน 20-22 โมเลกุลอยู่มาก การเกิด Lipid Oxidation จะมากขึ้นถ้าไขมันกระจายตัวอยู่ในอาหารที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา เช่น แป้ง แต่จะเกิดน้อยลงถ้ามีเพียงไขมันโดดๆ และยังขึ้นกับปริมาณน้ำในอาหารอีกด้วย โปรตีน เช่น เคซีน จะมีส่วนในการยับยั้ง Lipid Oxidation ไทโรซีนและไกลซีน จะช่วยลด Lipid Oxidation ได้ร้อยละ 30 ในเนื้อปลาเมื่อถูกฉายรังสีจะทำให้ Lipid Oxidation สูงขึ้น

2.5.4 <u>การลดปริมาณการสูญเสียกลิ่นรส</u> (Pattee et.al, 1982)

ประสิทธิภาพการลดการสูญเสียกลิ่นรสนั้นต้องอาศัยความรู้ทางด้านข้อมูล และคุณสมบัติทางด้านเคมี-กายภาพของสารประกอบ ซึ่งมีความซับซ้อน ต้องการความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยี โดยเฉพาะเมื่อวัตถุดิบเริ่มผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในหลายรูปแบบ

ความเข้าใจเกี่ยวกับ mechanism ของ Lipid Oxidation นั้นยังไม่กระจ่างชัด นัก Lipolysis และ Lipid Oxidation จะให้ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือ Hydroperoxide นอกจากนี้มี carbonyls ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรส การควบคุมปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการใช้วิธีการทางกายภาพ หรือชีวเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทางกายภาพใช้ในการลดการเกิด off-flavors และ substrates (ไขมัน) รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากความร้อนแห้ง และความร้อนชื้น การควบคุมสภาวะการเก็บ (การลดอุณหภูมิเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยา) การควบคุมสภาวะการแปรรูป(โดยเฉพาะการขัดสี) ปริมาณ polycyclic aromatic hydrocarbon สามารถลดลงได้โดยอาศัยเทคนิคบางอย่างในการปรุงอาหาร เช่น ใช้อุณหภูมิต่ำเมื่อหุงต้มอาหารโดยใช้ถ่าน นอกจากนี้อาจลดปริมาณไขมันในอาหารเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้อาหารและไขมันสัมผัสเปลวไฟโดยตรง (Allen และHamilton, 1994) มีการศึกษาวิธีการทางกายภาพสำหรับถั่วเหลือง และถั่วลิสง พบปัญหาของการใช้ไอน้ำ คือ สารประกอบจำพวก nonvolatile ซึ่งทำให้เกิด off-flavors ไม่สามารถถูกขจัดออกไปได้ โดยเฉพาะสารประกอบที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับอาหาร

วิธีการทางชีวเคมี รวมทั้งพันธุกรรมนั้นเพื่อการควบคุมการสังเคราะห์ไขมัน และกำหนดตัวแปรทางเคมีเพื่อป้องกันหรือลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการ เช่น pH การสกัดทางเคมี (ใช้ตัวทำละลายสกัด เช่น ethanol, butanol, hexanes เป็นต้น) และมีจุดประสงค์เพื่อยับยั้ง Lipid Oxidation เนื่องจากเอนไซม์ โดยเฉพาะ lipoxygenase) โดยใช้วิธีการทางเคมีมากกว่ากายภาพ เช่น การลวก

วิธีการอื่นๆ คือการสกัดเอา substrates และ/หรือ ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด off-flavors ตัวทำลายที่ใช้ ได้แก่ alcohol, hydrocarbon และส่วนผสมซึ่งอาจมีหรือไม่มีความรันเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยก็ได้ แต่พบปัญหาเดียวกันกับวิธีการทางกายภาพ เนื่องจากคุณสมบัติการละลายของสารประกอบที่ทำให้เกิด off-flavors ทำให้จำกัดวิธีการที่ใช้ ตัวทำละลายที่เหลืออยู่ทำให้เกิดพิษ จึงยังเป็นปัญหาอยู่

การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ lipase และ lipoxygenase จะช่วยลด Lipid Oxidation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ความปลอดภัยในการบริโภคอาหารที่เกิด Lipid Oxidation (Allen และHamilton, 1994)

พิษที่เกิดจากไขมันเป็นผลมาจากความร้อนที่เกิดจากอุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงเกินไประหว่าง deep - fat frying นั้นปฏิกิริยา Oxidation และการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนในน้ำมันจะเกิดขึ้นพร้อมกับสารละลายของสารที่สามารถระเหยได้และระเหยไม่ได้ Crampton และคณะ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงหนูด้วยน้ำมันถั่วเหลือง 10 หรือ 20 % จะลดอัตราการเพิ่มน้ำหนัก และลดปริมาณ calorie intake Reporter และHarris พบว่าการให้น้ำมันถั่วเหลืองที่ถูก oxidised แล้ว 18 % ทำให้เกิดไตขยาย การเจริญเติบโตลดลง และอุจจาระร่วงรุนแรงในหนู (Vaidehi และKadam, 1989)

2.6.1 สารประกอบที่เป็นพิษ

มีสารหลายตัวที่เกิดจาก Lipid Oxidation ที่ก่อให้เกิดพิษ ได้แก่ Peroxide และผลิตภัณฑ์ของมัน สารโพลิเมอร์ และOxidised Sterol สารพิษที่เกิดขึ้นมีดังนี้

- Lipid peroxide
- Hydroxy fatty acids
- Carbonyl compounds - malonaldehyde
- Cyclic monomers
- Dimers and polymers
- Polycyclic aromatic hydrocarbons
- Oxidised sterols

ในทางเภสัชกรรม การสลายตัวของ Peroxides จะมีผลต่อร่างกายเพราะมีลักษณะคล้ายกับตัวรับเอนไซม์จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวในร่างกาย สารประกอบจากหลาย ๆ monomers เป็นสารที่ย่อยยาก แต่จะทำปฏิกิริยากับลำไส้ และมีผลต่อการดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมัน Oxidised sterol โดยเฉพาะคลอเรสเตอรอลที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่คล้ายคลึงกับผลจากฮอร์โมนสารมีพิษอื่น ๆ เป็นผลมาจากการ Pyrolysis ของไขมันจากการย่างหรือปิ้งเนื้อและปลา Polycyclic aromatic hydrocarbons ที่รู้จักกันดีในนามคาร์ซิโนเจน (carcinogens)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเหม็นหืนที่เกิดจากออกซิเจนจะลดคุณค่าทางอาหารของอาหาร Lipid peroxides และ free radicles จะทำลายวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น A และ E มีผลต่อพันธะ sulphydryl ในโปรตีน เช่น sulphur amino acid ซึ่งเป็นตัวจำกัดกรดอะมิโนในโปรตีนหลายตัว การลดลงของ sulphur amino acid จะทำให้โปรตีนมีคุณภาพด้อยลง เป็นคำอธิบายว่าทำไมคุณภาพของโปรตีนในปลารมควันจึงต่ำกว่าในปลาสด

2.6.2 <u>แหล่งอาหารที่มี Oxidised fat</u>

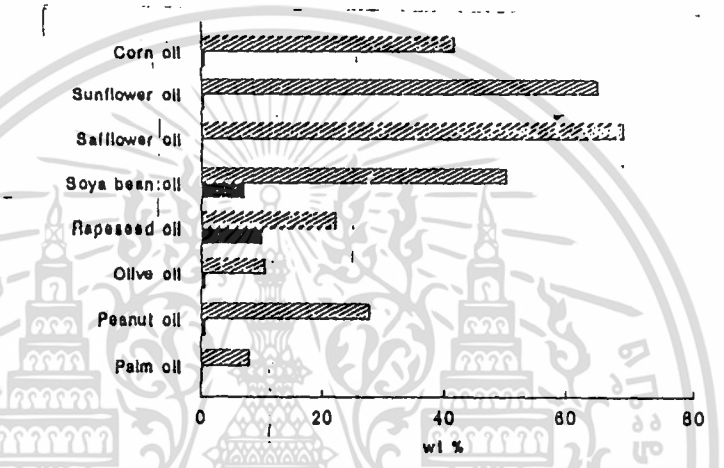
การเหม็นหืนจากออกซิเจนเกิดขึ้นจากการเตรียมการผลิต หรือการเก็บอาหารที่ไม่ถูกหลัก ในความเป็นจริงอาหารทุกชนิดจะเกิด Lipid Oxidation ปฏิกิริยา Oxidation จะเกิดเร็วขึ้นเมื่อได้รับความร้อน แสง น้ำ และอิออนของโลหะ เช่น เหล็ก หรือทองแดง ความเร็วของการเกิด Oxidation ขึ้นอยู่กับระดับของความไม่อิ่มตัวของสารประกอบของกรดไขมัน ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวมากจะมีโอกาสเกิด Oxidation สูง อาหารที่มักเกิดการเหม็นหืน ได้แก่ อาหารพวกปลา และอาหารทอด ไข่ซึ่งเป็นแหล่งของคลอเรสเตอรอล มักจะถูกนำมาทำให้แห้ง ซึ่งจะทำให้มีการ oxidised ของคลอเรสเตอรอล เนื้อสัตว์ที่กินไม่ได้หอย และอาหารอื่น ๆที่มีคลอเรสเตอรอล หรือสเตอรอลตัวอื่น ๆ อยู่มากก็เช่นเดียวกัน น้ำมันพืชที่มีสเตอรอลตัวอื่น ๆ เช่น β- sitosterol จะมีโอกาสเกิดการเหม็นหืนระหว่างการใช้งานหลายครั้ง

กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเกิด Oxidation ได้ง่ายกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ปริมาณของพันธะคู่ที่มีมากจะมีแนวโน้มให้เกิด Lipid Oxidation กรดไขมันที่ได้มาจากพืช เช่น Linoleic และ α Linoleic ใน γ Linoleic พบว่ามาจากพืชต่าง ๆ เช่น evening primrose และน้ำมันจาก Blackcurrant ซึ่ง Linoleic เป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวพบในเมล็ดทานตะวัน เมล็ดฝ้าย ถั่วเหลือง และน้ำมันข้าวโพด

กรด Linolenic มีแนวโน้มที่จะเกิด Oxidation มากกว่ากรด Linoleic จากข้อเท็จจริงตรงนี้สามารถนำมาประยุกต์กับอุตสาหกรรมการผลิตสี และน้ำมันชักเงา ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำมันที่มี α Linolenic acid ปริมาณ 60 % เพื่อให้แห้งได้ง่าย แต่น้ำมันจากถั่วเหลือง และน้ำมันพืชจะมี α Linolenic acid ในปริมาณน้อย ปฏิกิริยา Oxidation ของ α Linolenic acid จะทำให้เกิดกลิ่นไม่ดี จากเหตุผลนี้ทำให้น้ำมันถั่วเหลืองถูกเลือกให้ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนเพื่อลดความเข้มข้นของ α Linolenic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเหม็นหืนจากปฏิกิริยา Oxidation ของน้ำมันพืชโดยทั่วไปเกิดจากสองสาเหตุ คือ กรด Linoleic เป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว และอีกประการหนึ่งคือในกรด Linoleic แม้ว่าจะมี Antioxidant โดยธรรมชาติ แต่ก็เกิดการเหม็นหืนได้ง่ายกว่าน้ำมันที่ผ่านการกลั่นแล้ว การเกิดออกซิเดชั่นของน้ำมันพืชที่เก็บไว้นานจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เช่น มันฝรั่งทอดจะมีวันหมดอายุเป็นเวลาที่มันฝรั่งเกิดการเหม็นหืนนั่นเอง ไขมันจากสัตว์มีแนวโน้มเกิดการเหม็นหืนเพราะมีปริมาณวิตามิน E ต่ำ ในพวกเนื้อนั้น เหล็กในฮีโมโกลบิน และไมโอโกลบินจะเป็นตัวเร่ง Lipid Oxidation ของไขมัน ไขมันในปลาเฮอริง



รูปที่ 2.6.1 องค์ประกอบของ Linoleic และ α Linolenic Acid ในน้ำมันพืช

ที่มา : Allen และHamilton (1994)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวในไขมันสัตว์ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่สัตว์กิน ยกเว้นพวกสัตว์เคี้ยวเอื้อง (แกะ วัว แพะ) ซึ่งจะกินอาหารที่มีไขมันในปริมาณต่ำ ในหมูที่ถูกเลี้ยงด้วยน้ำมันข้าวโพด จะได้รับไขมันที่มีปริมาณกรด Linoleic สูง ตามปกติสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ไขมันไม่อิ่มตัวได้แต่สามารถเปลี่ยน Linoleic และ α Linolenic เป็นกรดไขมันที่มีความอิ่มตัวมากขึ้น ซึ่งอาจมีพันธะคู่ถึง 6 พันธะ และมีคาร์บอน 20-22 ตัว เช่นกรด Arachidonic, กรด Eicosapentaenoic และกรด Docosahexaenoic กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอน 20-22 ตัวนั้นพบว่าเป็นส่วนสำคัญของ Phospholipids ในเมมเบรน และมีความไวต่อการเกิด Lipid Oxidation ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดตำหนิในเนื้อ Membrane Lipids ในเนื้อจะมีความไวต่อการเกิด Lipid Oxidation เนื่องจากมีปริมาณเหล็กสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันที่มีปริมาณคาร์บอน 20-22 ตัว ซึ่งมีความไม่อิ่มตัวสูง พบในปลา และไขมันปลา ในน้ำมันจากปลาหลายชนิดมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 20 ดังนั้นน้ำมันจากปลา จึงเป็นน้ำมันที่เกิดการเหม็นหืนง่าย ในการเกิด Lipid Oxidation พบว่า กรด Eicosapentaenoic และกรด Docosahexaenoic จะสามารถรวมตัวกันได้เร็วกว่าการสลายตัวของ Peroxides หรือ Hydroperoxides ดังนั้นค่า Peroxides จะไม่สามารถบอกได้ถึงการเกิด Lipid Oxidation ในน้ำมันจากปลา ปลาที่มีน้ำมันสูงผ่านการรมควัน จะมีปริมาณไขมันที่ถูก Oxidised มากอย่างเห็นได้ชัด

ในอังกฤษ และเยอรมันนี มีการใช้น้ำมันจากปลามาทำเป็นมาร์การีน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนกรดไขมันที่มีคาร์บอน 20-22 ตัว มาร์การีนจากปลานี้เป็นไขมันซึ่งผ่านการ Oxidation และเกิดการคงตัว น้ำมันตับปลาเป็นไขมันปลาชนิดหนึ่งที่ถูกบริโภคในรูปของเหลว ส่วนใหญ่จะมี Antioxidants โดยธรรมชาติ น้ำมันตับปลาเข้มข้นจะมีขายในร้านอาหารเพื่อสุขภาพ ใช้ป้องกันโรคหัวใจ แต่ก็ยังไม่มีการเติม Antioxidants สังเคราะห์ เนื่องจากผู้บริโภคยังไม่ยอมรับ

2.6.3 <u>ผลทางชีวเคมีจาก Lipid Oxidation</u>

ลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างหนึ่ง คือ การลดลงของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 2 ตัวในชั้น Phospholipids ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลและส่วนประกอบซลล์หลุดออกมาภายนอก Lipid Oxidation อาจจะเร่งหรือยับยั้งการทำงานของไซม์ หรืออาจเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation ของกลุ่ม Thiol ในโปรตีน ซึ่งมีต่อการสังเคราะห์โปรตีน ผลดังกล่าวจะแผ่วงกว้างไปยังเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ทำให้เสียหาย

จากข้อสงสัยที่ว่าทำไมสิ่งมีชีวิตจึงไม่เกิดการเหม็นหืนจนกระทั่งกลายเป็นอาหาร สามารถอธิบายได้โดยกลไกของ Radicals อิสระ เช่น เอนไซม์, Gluthione Peroxidase, Catalase และ Antioxidants พวกวิตามินอี และซี สิ่งเหล่านี้สามารถป้องกัน Lipid Oxidation ประสิทธิภาพของการป้องกันการเกิด Peroxides ขึ้นอยู่กับ Silinium ทองแดง กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์ และวิตามินอีและซี ปริมาณไขมันอิ่มตัวที่ได้รับมากเกินไปทำให้การป้องกันด้อยประสิทธิภาพลง เช่น ในวัว หรือแกะที่ได้รับปริมาณ Silinium ไม่เพียง จะทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า White Muscle Disease ซึ่งมีอาการเหมือนกับสัตว์ที่ได้รับไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากเกินไป กรด Linoleic กรด Eicosapentaenoic และกรด Docosahexaenoic จะทำให้เกิดอาการดังกล่าวไม่รุนแรงเท่า α Linolenic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของ Radicals อิสระ อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ ซึ่งอาการดังกล่าวจะเกิดจากการรวมตัวกันของ Radicals อิสระ อาการที่เกิดขึ้นได้แก่ โรคไขข้ออักเสบ มะเร็ง ความเกี่ยวข้องกันของโรคดังกล่าวมิได้เกี่ยวข้องกันโดยตรง

2.6.4 ผลจากการบริโภคไขมันที่ถูก Oxidised ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน

มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการบรีโภคอาหารรมควันกับโอกาสที่จะเกิดโรคมะเร็ง พบว่าการรับประทานอาหารรมควันจะเพิ่มโอกาสในการเป็นโรคมะเร็งในช่องท้อง และการรับประทานอาหารย่างจะเพิ่มโอกาสในการเป็นมะเร็งที่ทรวงอก ต่อมลูกหมาก และลำไส้ นอกจากนี้ไขมันที่ถูก Oxidised ยังเร่งการเจริญเติบโตของเนื้องอกอีกด้วย Malonaldehyde ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของ Peroxides นั้นจัดเป็นสารก่อมะเร็ง

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Lipid Oxidation เช่น carbonyl จะทำปฏิกิริยากับโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และวิตามิน ปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรส และคุณค่าทางอาหาร กลิ่นถั่ว กลิ่นหญ้า กลิ่นขม กลิ่นฟาง และกลิ่นเปรี้ยวที่พบในเมล็ดนั้นดูจะเป็นปัญหาระหว่างผู้ผลิต และผู้บริโภคในปัจจุบัน เทคโนโลยีในปัจจุบันยังไม่ประสิทธิภาพบผลสำเร็จในการแก้ปัญหาการสูญเสียกลิ่นรส ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังไม่เต็มที่นัก เนื่องจากยังต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจอีกมาก ปัญหาดังกล่าวเป็นเรื่องที่ซับซ้อน แต่อาจแก้ไขได้ด้วยความพยายามอย่างแน่วแน่และมีระบบการทำความเข้าใจเกี่ยวกับ mechanism ที่เกี่ยวข้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ไขมันที่ผ่านการ Oxidised เป็นสิ่งที่ร่างกายไม่ต้องการ ซึ่งโดยมากจะได้รับจากอาหารดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ พยายามหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีไขมันที่ผ่านการ Oxidised เช่น น้ำมันปลา อาหารไขมันสูง อาหารที่ปรุงด้วยความร้อนสูง และอาหารฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

<u>วิธีทดลอง</u>

ตอนที่ 1

เลือกใช้ตัวอย่างในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพ 3 ตัวอย่าง คือ ข้าว ถั่วแดง และถั่วเหลือง ซึ่งมีคุณสมบัติเริ่มต้นดังภาคผนวก ค. โดยนำมาปรับความชื้นให้ได้ 5 ระดับ คืออยู่ในช่วง 6, 8, 10, 12, และ 14% ตามลำดับด้วยวิธีการปรับระดับความชื้นดังแสดงในภาคผนวก ก. จากนั้นนำมาบรรจุในถุงเมทัลไลซ์ที่มีขนาด 10 x 6.5 เซนติเมตร (คุณสมบัติของถุงเมทัลไลซ์แสดงในภาคผนวก ง.) ปริมาณถุงละ 50 กรัม แล้วผนึกปากถุงโดยให้มีช่องว่างน้อยที่สุด ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Factorial 2x4x4 เก็บไว้ ณ อุณหภูมิ 30 °C ทำการเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางเคมีดังนี้

1. การหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)
2. การปริมาณ Free Fatty Acid โดยวิธีวิเคราะห์ %Fat Acidity (Tungjaroenchai, 1990)
3. การหาปริมาณ Malonaldehyde โดยวิธี TBA Test (Tungjaroenchai, 1990)

ตอนที่ 2

ทำการทดลองวิธีเดียวกันกับตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนตัวอย่างเป็นข้าวกล้อง และถั่วเหลือง ปรับความชื้นให้ได้ 4 ระดับให้อยู่ในช่วง 9% 12% 15% และ 18% ทำการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Factorial 2x4x4 เก็บไว้ ณ อุณหภูมิ 40 °C ทำการเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางเคมีดังนี้

1. การหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

2. การปริมาณ Free Fatty Acid โดยวิธีวิเคราะห์ %Fat Acidity (Tungjaroenchai, 1990)

3. การหาปริมาณ Malonaldehyde โดยวิธี TBA Test (Tungjaroenchai, 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. <u>ตอนที่ 1</u>

จากการนำตัวอย่างข้าว ถั่วแดง และถั่วเหลือง มาทำการปรับระดับความชื้นให้อยู่ในช่วง 6% 8% 10% 12% และ 14% โดยทำการบรรจุในถุงเมทัลไลซ์เพื่อควบคุมความชื้น จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ และทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 8 สัปดาห์ เพื่อนำมาตรวจปริมาณความชื้น และวิเคราะห์การเหม็นหืนด้วยวิธีการปริมาณ Fat Acidity ได้ผลดังตารางที่ 4.1.1 – 4.1.6 / รูปที่ 4.1.1 – 4.1.6

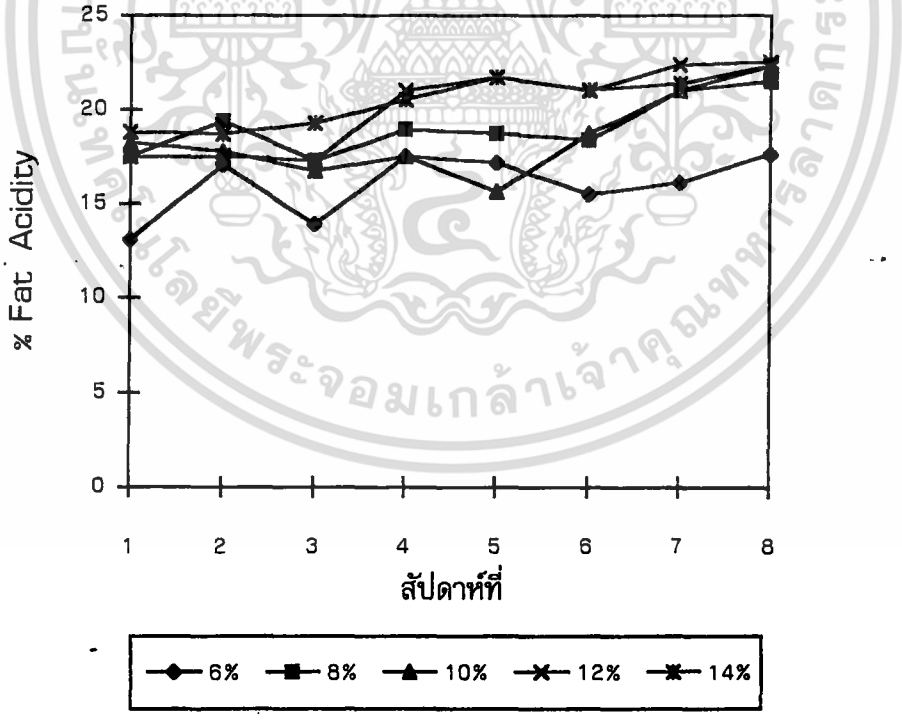
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.1 ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในข้าวที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ระยะเวลา (สัปดาห์)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
6	13.09_{a}	17.06_{b}	13.90_{a}	17.53_{b}	17.19_{b}	15.53_{a}	16.13_{b}	17.62_{c}
8	17.53_{a}	19.40_{abc}	17.30_{a}	18.94_{abc}	18.75_{abc}	18.40_{ab}	21.04_{bc}	21.52_{c}
10	18.24_{a}	17.77_{a}	16.73_{a}	17.54_{a}	15.66_{a}	18.74_{a}	21.04_{b}	22.32_{b}
12	17.51_{a}	17.53_{a}	17.30_{a}	21.04_{b}	21.74_{b}	21.04_{b}	22.44_{b}	22.56_{b}
14	18.85_{a}	18.71_{a}	19.29_{ab}	20.54_{abc}	21.74_{bcd}	21.05_{bcd}	21.39_{cd}	22.35_{d}

*$_{a-d}$ แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.1 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์

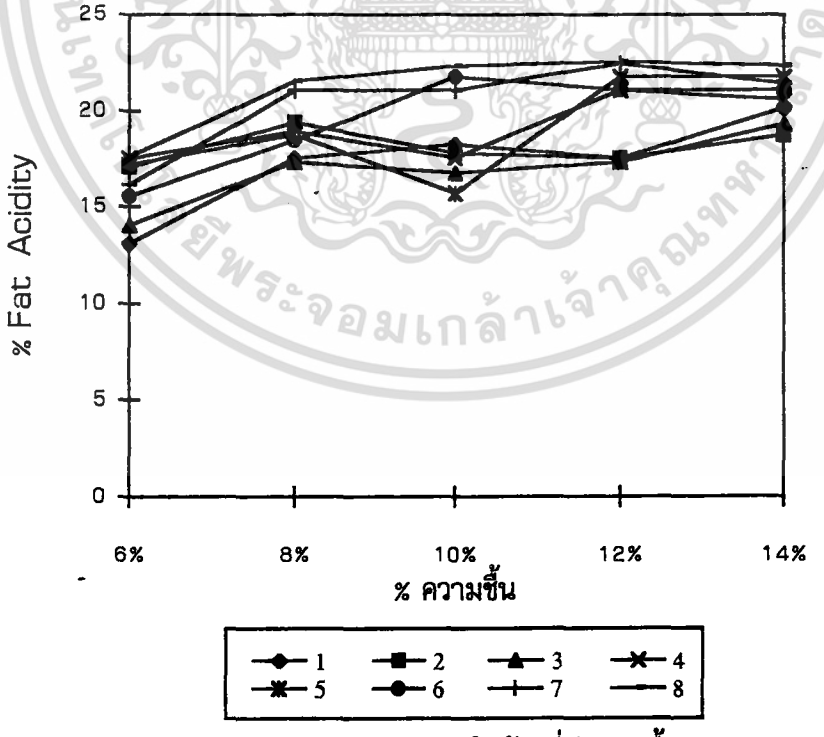
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2 ผลของความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในข้าวระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์

ระยะเวลา (สัปดาห์)	% ความชื้น				
	6	8	10	12	14
1	13.09_a	17.53_b	18.24_b	17.51_b	18.85_b
2	17.06_a	19.40_a	17.77_a	17.53_a	18.71_a
3	13.90_a	17.30_b	16.73_b	17.30_b	19.29_b
4	17.53_a	18.94_{ab}	17.54_a	21.04_b	20.54_{ab}
5	17.19_a	18.75_{ab}	15.66_a	21.74_b	21.74_b
6	15.53_a	18.40_a	18.74_a	21.04_a	21.05_a
7	16.13_a	21.04_b	21.04_b	22.44_b	21.39_b
8	17.62_a	21.52_b	22.32_b	22.56_b	22.35_b

*$_{a-b}$ แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.2 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ

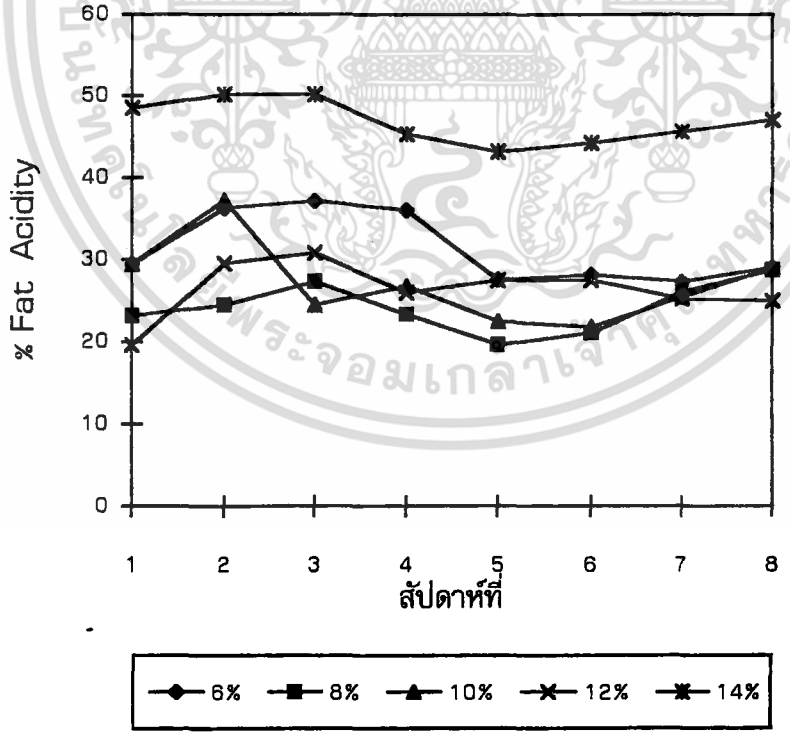
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.3 ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วแดงที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ระยะเวลา (สัปดาห์)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
6	29.46_{a}	36.24_{b}	37.17_{b}	36.00_{b}	27.60_{c}	28.15_{ac}	27.39_{c}	29.03_{ac}
8	23.15_{c}	24.55_{d}	27.37_{f}	23.33_{c}	19.64_{a}	21.04_{b}	26.13_{e}	28.66_{g}
10	29.46_{d}	37.18_{f}	37.18_{b}	26.83_{c}	22.50_{a}	21.74_{a}	25.43_{b}	28.94_{d}
12	19.64_{a}	29.59_{d}	29.59_{e}	26.04_{b}	27.53_{c}	27.53_{c}	25.25_{b}	24.98_{b}
14	48.45_{d}	50.14_{e}	50.14_{e}	45.23_{c}	43.16_{a}	44.19_{b}	45.59_{c}	46.98_{e}

*$_{a-g}$ แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.3 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วแดงระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์

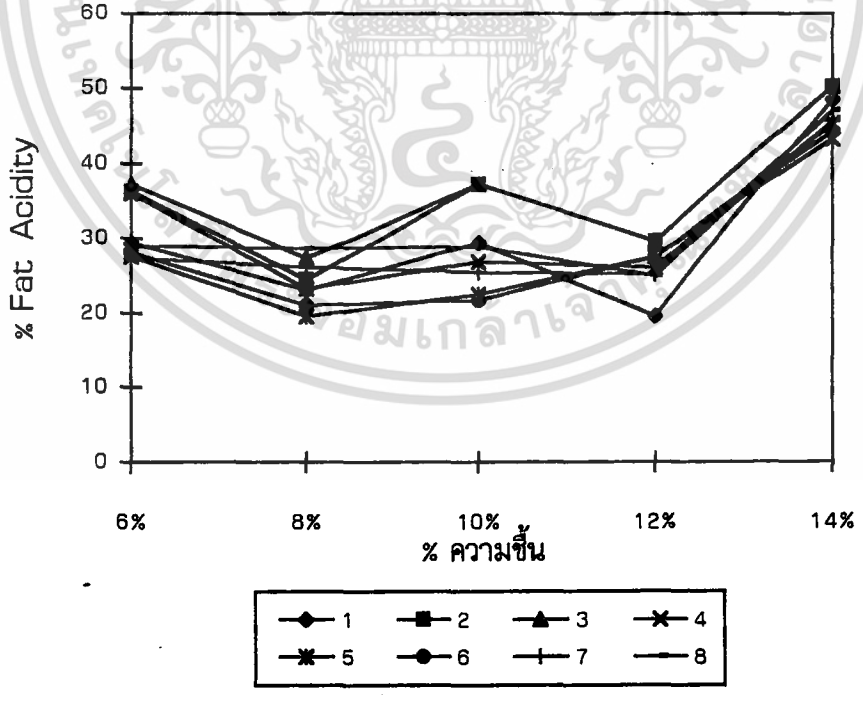
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.4 ผลของความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วแดงระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์

ระยะเวลา (สัปดาห์)	% ความชื้น				
	6	8	10	12	14
1	29.46_c	23.15_b	29.46_c	19.64_a	48.45_d
2	36.24_c	24.55_a	37.18_c	29.59_b	50.14_d
3	37.17_c	27.37_b	37.18_a	29.59_c	50.14_e
4	36.00_c	23.33_a	26.83_b	26.04_b	45.23_d
5	27.60_c	19.64_a	22.50_b	27.53_c	43.16_d
6	28.15_b	21.04_a	21.74_a	27.53_b	44.19_c
7	27.39_b	26.13_a	25.43_a	25.25_a	45.59_c
8	29.03_b	28.66_b	28.94_b	24.98_a	46.98_c

*$_{a-c}$ แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.4 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วแดงที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ

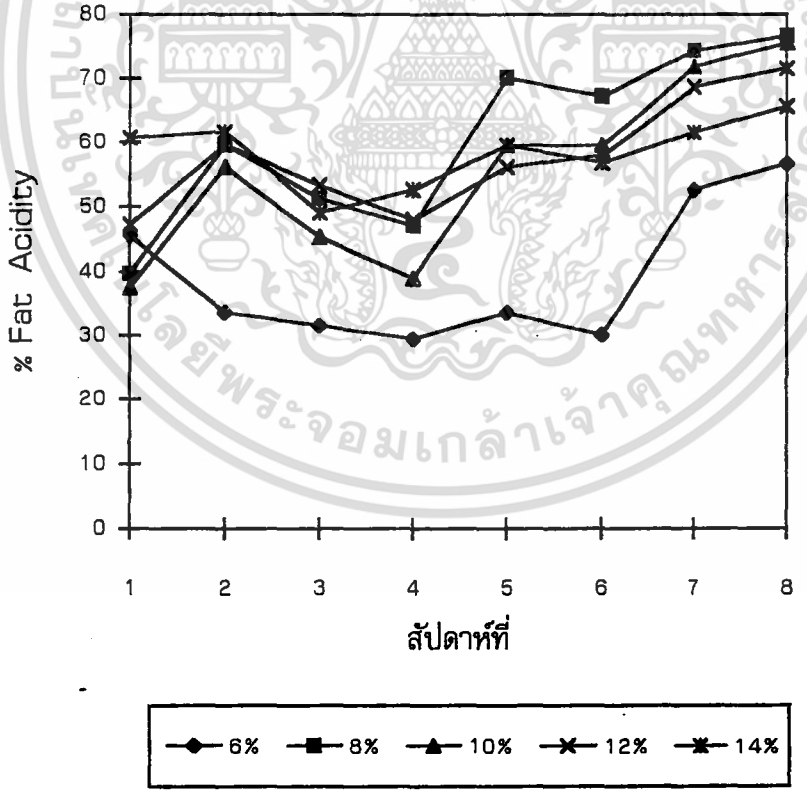
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.5 ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ระยะเวลา (สัปดาห์)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
6	45.59_{d}	33.67_{c}	31.56_{b}	29.46_{a}	33.67_{c}	30.16_{a}	52.60_{e}	56.69_{f}
8	39.63_{a}	59.62_{ab}	51.35_{ab}	46.99_{ab}	70.17_{b}	67.33_{b}	74.35_{b}	76.69_{b}
10	37.53_{a}	56.11_{c}	45.24_{b}	38.93_{ab}	59.62_{c}	59.62_{c}	71.89_{e}	75.56_{e}
12	47.23_{a}	59.62_{b}	53.30_{ab}	48.04_{a}	56.11_{b}	57.98_{b}	68.73_{c}	71.56_{c}
14	60.67_{cd}	61.72_{cd}	49.10_{a}	52.60_{ab}	59.62_{cd}	56.81_{bc}	61.72_{cd}	65.69_{d}

*$_{a-f}$ แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.5 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์

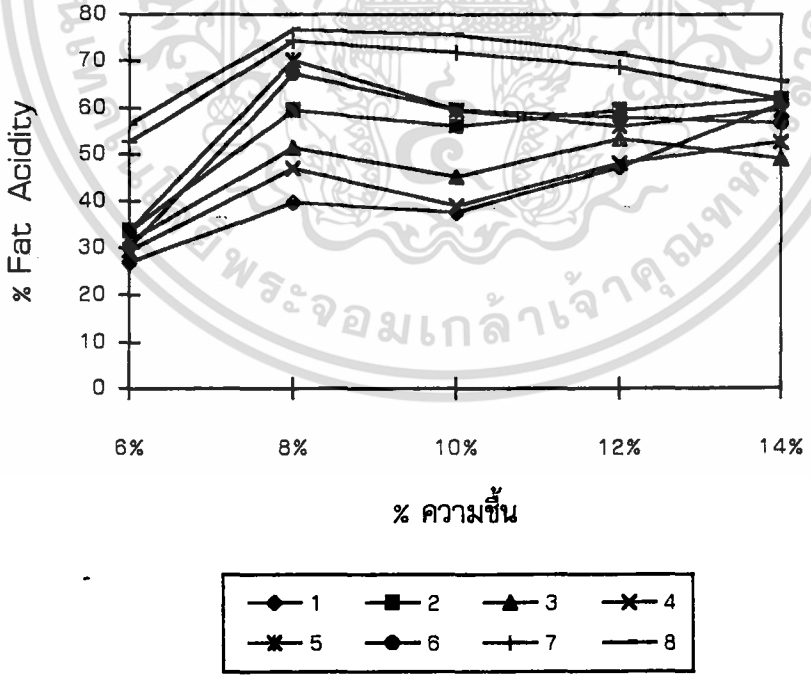
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.6 ผลของความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์

ระยะเวลา (สัปดาห์)	% ความชื้น				
	6	8	10	12	14
1	45.59_{b}	39.63_{a}	37.53_{a}	47.23_{b}	60.67_{c}
2	33.67_{a}	59.62_{b}	56.11_{b}	59.62_{b}	61.72_{b}
3	31.56_{a}	51.35_{c}	45.24_{b}	53.30_{bc}	49.10_{bc}
4	29.46_{a}	46.99_{ab}	38.93_{ab}	48.04_{b}	52.60_{ab}
5	33.67_{a}	70.17_{c}	59.62_{b}	56.11_{b}	59.62_{b}
6	30.16_{a}	67.33_{c}	59.62_{b}	57.98_{b}	56.82_{b}
7	52.60_{a}	74.35_{a}	71.89_{a}	68.73_{a}	61.72_{a}
8	56.69_{a}	76.69_{c}	75.56_{c}	71.56_{bc}	65.69_{b}

*$_{a-c}$ แตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.6 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 6%, 8%, 10%, 12% และ 14% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.7 แสดงค่า Correlation Coefficients ระหว่างระดับ Fat Acidity และปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Test Measurements	Correlation Coefficients (r), n=40
% $FA_{ข้าว}$ vs t	0.5513
% $FA_{ข้าว}$ vs % mc	0.6002
% $FA_{ถั่วแดง}$ vs t	-0.1109
% $FA_{ถั่วแดง}$ vs % mc	0.5258
% $FA_{ถั่วเหลือง}$ vs t	0.5705
% $FA_{ถั่วเหลือง}$ vs % mc	0.4300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1. ผลของระยะเวลาต่อการเกิด Lipid Oxidation

ผลของระยะเวลาต่อระดับ Fat Acidity ในข้าว ถั่วแดง และถั่วเหลือง เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ แสดงในรูปที่ 4.1.1 4.1.2 และ 4.1.3 ตามลำดับ พบว่าปริมาณ Fat Acidity ในข้าวจะมีค่า 13 – 22% ถั่วแดง 20–46% และถั่วเหลือง 30–75% เนื่องจากปริมาณไขมันในตัวอย่างแต่ละชนิดมีปริมาณแตกต่างกัน (แสดงในภาคผนวก ค.) ในถั่วเหลืองซึ่งมีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 17% จึงเกิด Lipid Oxidation สูงสุด เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$ ของปริมาณ Fat Acidity ในข้าว พบความแตกต่างในทุกระดับความชื้นเมื่อเก็บที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์ขึ้นไป ในถั่วเหลืองพบว่าหลังจากสัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไป จะพบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณ Fat Acidity ($P > 0.01$) และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลามากกว่า 4 สัปดาห์ ซึ่งจากการทดลองของ Clark และ Synder (1990) ปริมาณ Hydroperoxide ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Lipid Oxidation จะเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงระดับ Fat Acidity ระหว่างการเก็บรักษา มีอิทธิพลต่อปริมาณ Carbonyl compounds ซึ่งทำให้เกิด Cooked flavor ในข้าว (Ayano และ Furuhashi, 1990) ในถั่วแดงนั้นมีอัตราการเกิด Lipid Oxidation ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการเกิด Fat Acidity ในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ถั่วแดงมีพฤติกรรมการสูญเสียคุณภาพน้อยที่สุด ($r = -0.11$)

4.1.2. ผลของความชื้นต่อการเกิด Lipid Oxidation

ผลของความชื้นต่อระดับ Fat Acidity ของข้าว ถั่วแดง และถั่วเหลือง แสดงในรูปที่ 4.1.2 4.1.4 และ 4.1.6 ตามลำดับ จะเห็นว่าระดับ Fat Acidity จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างมีความชื้นสูงขึ้น ($P > 0.01$) ในข้าวและถั่วเหลืองพบว่าระดับ Fat Acidity จะเพิ่มมากขึ้นที่ระดับความชื้นมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ขณะที่ถั่วแดงจะเห็นความแตกต่างทางสถิติอย่างชัดเจน ($P > 0.01$) เมื่อมีความชื้นมากกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ค่า r พบว่าความชื้นจะมีผลต่อระดับ Fat Acidity ในข้าวมากที่สุด (ตารางที่ 4.1.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเบื้องต้น สามารถวิเคราะห์ได้ว่าการเพิ่มขึ้นของ Fat Acidity ในตัวอย่างดังกล่าว เกิดเนื่องจาก ปริมาณความชื้น และระยะเวลาในการเก็บ โดยจะมีผลต่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองมากกว่าข้าวกล้อง เนื่องจากถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันมากถึง 17% ขณะที่ข้าว และถั่วแดงมีปริมาณไขมัน 0.5% และ 1.9% ตามลำดับ โดยเมื่อระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น ($P > 0.01$) แต่เนื่องจากข้าวมีปริมาณไขมันน้อย การเกิด Lipid Oxidation จึงเป็นไปอย่างช้า จากการศึกษาในตอนที่ 1 พบความไม่คงตัวของค่า Fat Acidity ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าเนื่องจากเทคนิคการวิเคราะห์ จำเป็นต้องดัดแปลงวิธีการเตรียมตัวอย่างที่มีขนาดที่เอื้ออำนวยกับการกรองได้รวดเร็ว ทั้งนี้เพื่อป้องกันการระเหยของ Petrolium Ether ที่ใช้สกัดไขมัน อย่างไรก็ตาม Hunter และคณะ (1951) ได้ทำการทดลองในตัวอย่างข้าวกล้อง พบว่าระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อการเพิ่มของระดับ Fat Acidity

ในการทำการทดลองตอนที่สอง จึงเลือกตัวอย่างถั่วเหลืองเนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง และข้าวกล้องซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว จึงมีปริมาณไขมันสูงกว่าข้าวสารที่ผ่านการขัดสีถึงสองครั้ง และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 40 องศาเซลเซียส เพื่อเร่งการเกิด Lipid Oxidation เลือกระดับความชื้นที่สูงขึ้น และในละระดับจะมีช่วงที่กว้างขึ้น เพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ตอนที่ 2

จากการนำตัวอย่างข้าวกล้อง และถั่วเหลือง มาทำการปรับระดับความชื้นให้อยู่ในช่วง 9% 12% 15% และ 18% โดยทำการบรรจุในถุงเมทัลไลซ์เพื่อควบคุมความชื้น จากนั้นทำการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อเร่งการเกิด Lipid Oxidation เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ สัปดาห์ เพื่อนำมาตรวจปริมาณความชื้น และวิเคราะห์การเหม็นหืนด้วยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณ Fat Acidity และ Malonaldehydeได้ผลดังตารางที่ 4.2.1 -4.2.8 / รูปที่ 4.2.1 - 4.2.8

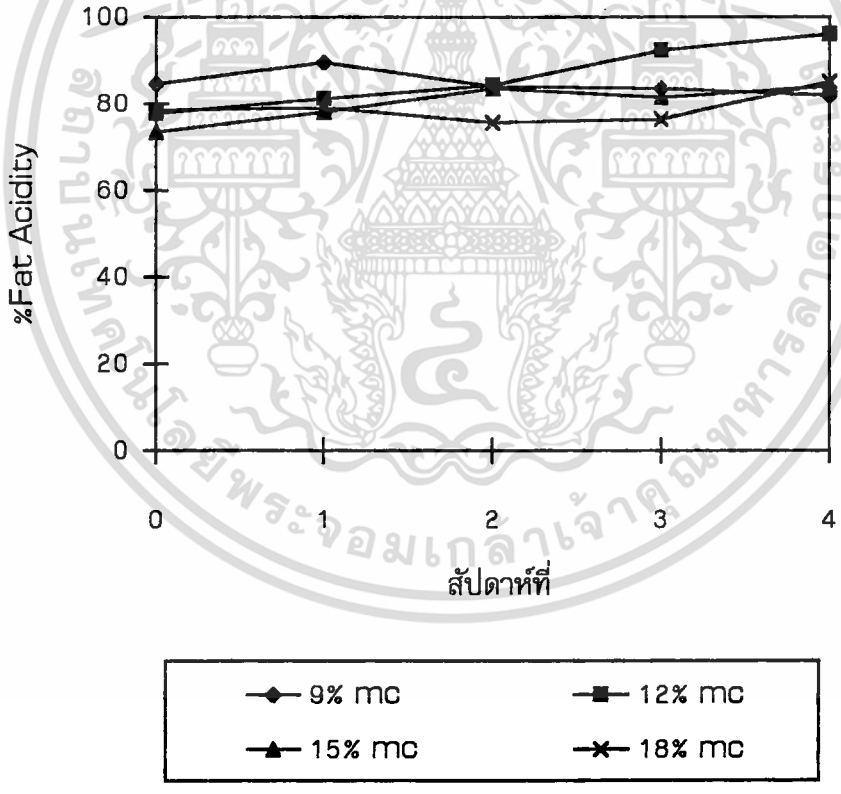
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.1 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ Fat Acidity ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ความชื้น	สัปดาห์ที่				
	0	1	2	3	4
9	84.58_a	89.57_a	84.02_a	83.67_a	81.94_a
12	77.77_a	81.24_{ab}	84.37_{ab}	92.35_{ab}	96.17_b
15	73.60_a	78.12_a	83.67_a	81.59_a	84.02_a
18	78.47_a	79.16_a	75.69_a	76.38_a	85.06_a

$^*{}_{ab}$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.1 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

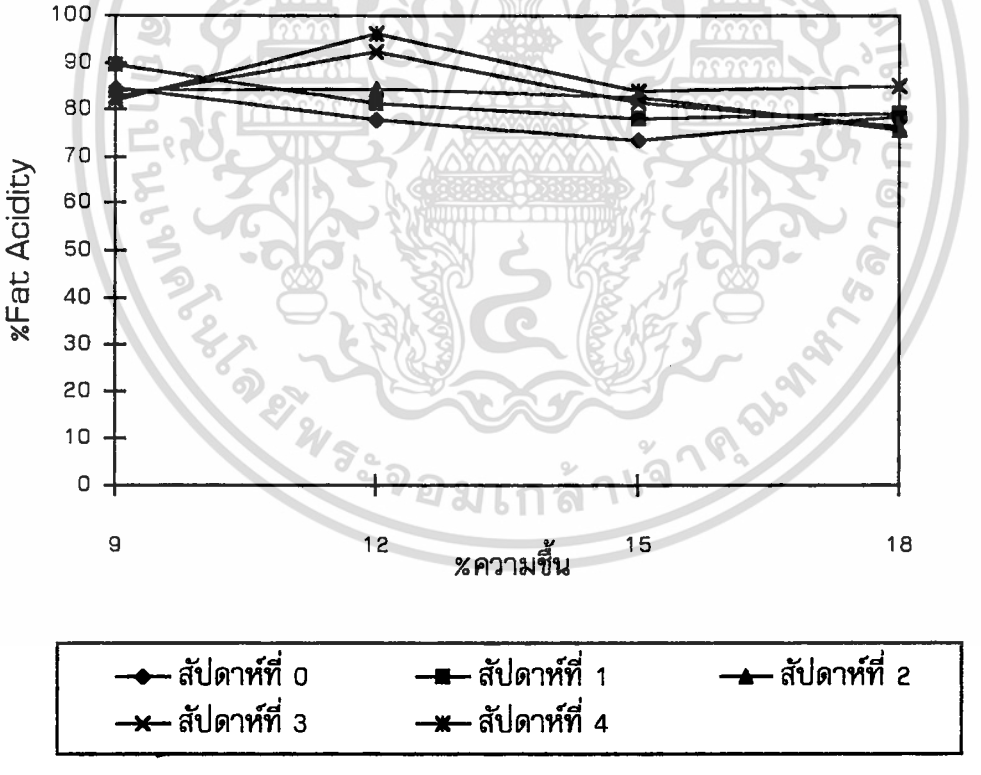
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.2 ผลของระดับความชื้นต่อปริมาณ Fat Acidity ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	% ความชื้น			
	9	12	15	18
0	84.58_a	77.77_a	73.60_a	78.47_a
1	89.57_a	81.24_a	78.12_a	79.16_a
2	84.02_a	84.37_a	83.67_a	75.69_a
3	83.67_a	92.35_a	81.59_a	76.38_a
4	81.94_a	96.17_a	84.02_a	85.06_a

*$_a$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.2 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

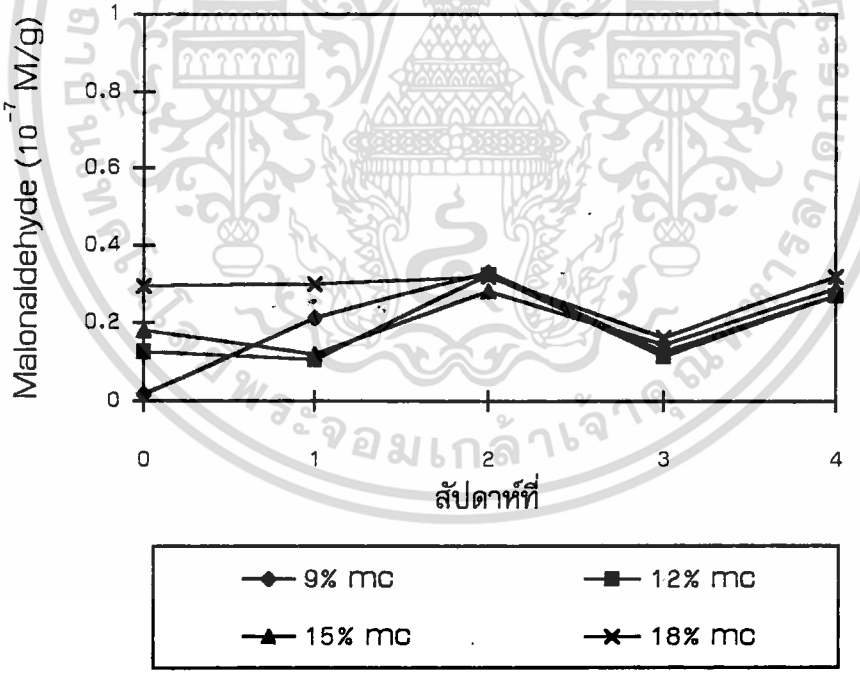
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.3 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7} M/g) ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ความชื้น	สัปดาห์ที่				
	0	1	2	3	4
9	0.019_a	0.213_a	0.331_a	0.125_a	0.269_a
12	0.125_a	0.106_a	0.325_b	0.113_a	0.269_b
15	0.181_a	0.119_a	0.281_b	0.144_a	0.288_b
18	0.294_a	0.300_a	0.319_a	0.163_a	0.319_a

*$_{ab}$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ P > 0.01

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.3 แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

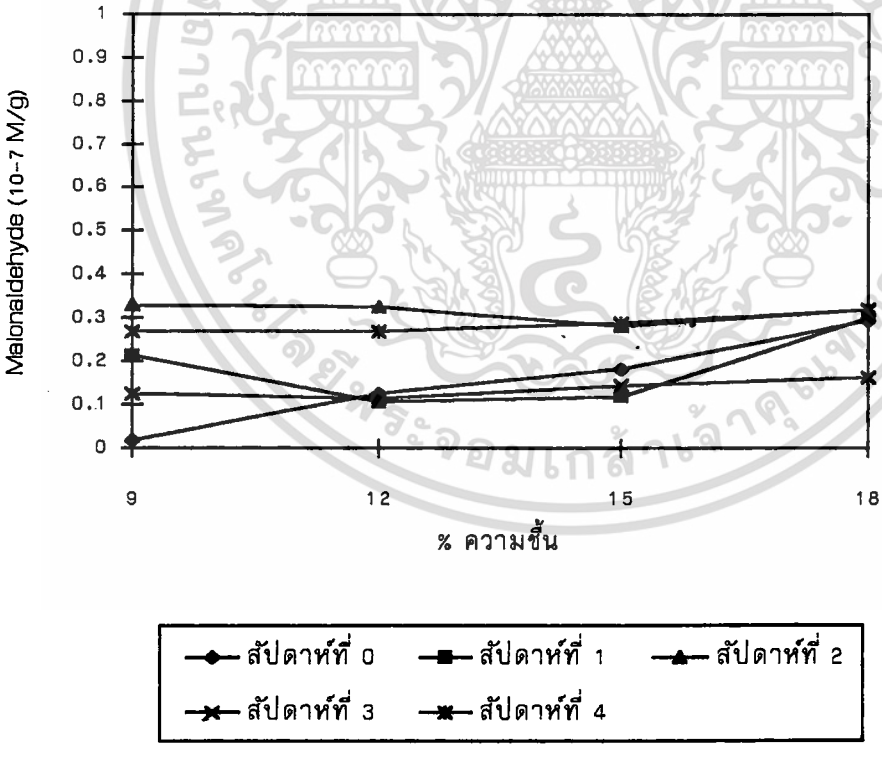
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.4 ผลของระดับความชื้นต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7}M/g) ในข้าวกล้องระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	% ความชื้น			
	9	12	15	18
0	0.019_a	0.125_a	0.181_a	0.294_a
1	0.213_a	0.106_a	0.119_a	0.300_a
2	0.331_a	0.325_a	0.281_a	0.319_a
3	0.125_a	0.113_a	0.144_a	0.163_a
4	0.269_a	0.269_a	0.288_a	0.319_a

*$_a$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.4 แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในข้าวกล้องที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

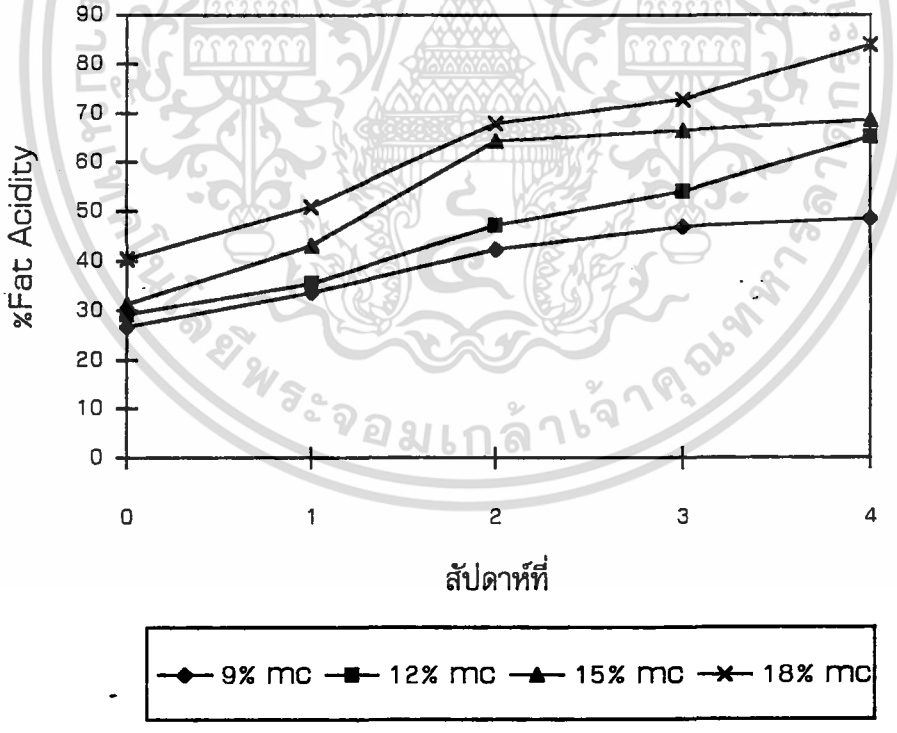
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.5 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ความชื้น	สัปดาห์ที่				
	0	1	2	3	4
9	26.73_{a}	33.68_{ab}	42.36_{bc}	46.87_{c}	48.61_{c}
12	29.16_{a}	35.42_{a}	47.22_{b}	54.16_{b}	65.27_{c}
15	31.25_{a}	43.05_{a}	60.41_{b}	66.66_{b}	68.74_{b}
18	40.28_{a}	51.04_{a}	68.05_{b}	72.91_{bc}	83.99_{c}

*$_{abc}$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.5 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

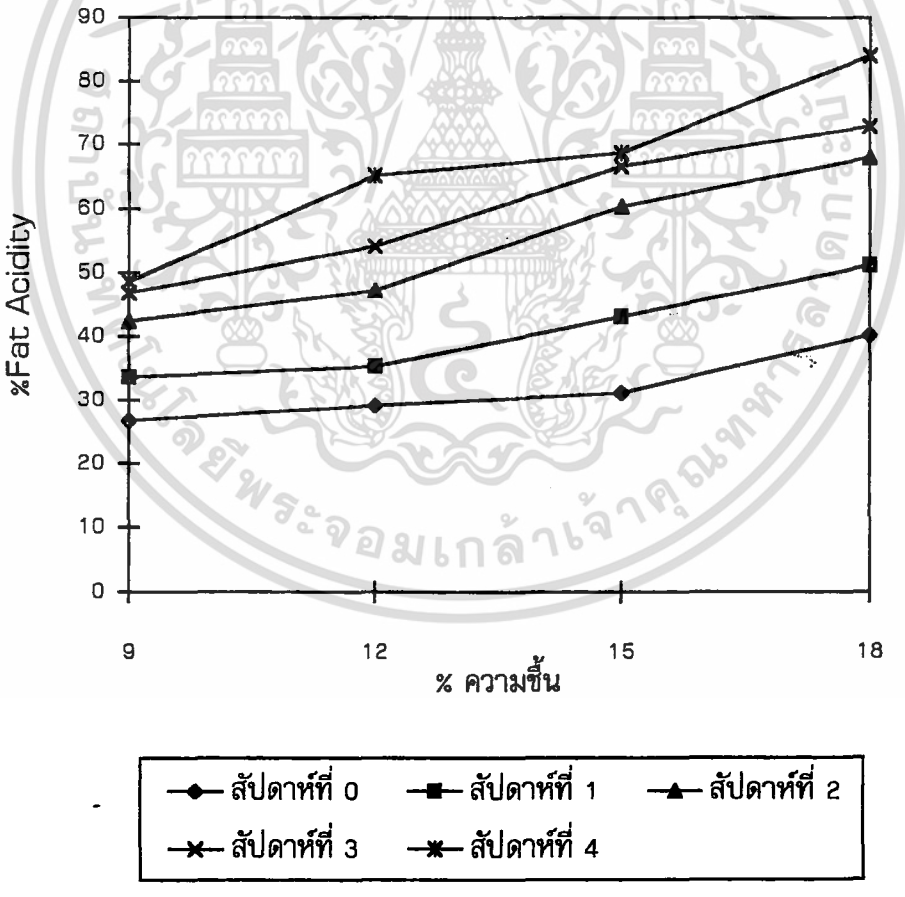
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.6 ผลของระดับความชื้นต่อปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	% ความชื้น			
	9	12	15	18
0	26.73_{a}	29.16_{ab}	31.25_{ab}	40.28_{b}
1	33.68_{a}	35.42_{a}	43.05_{ab}	51.04_{b}
2	42.36_{a}	47.22_{ab}	60.41_{bc}	68.05_{c}
3	46.87_{a}	54.16_{a}	66.66_{b}	72.91_{b}
4	48.61_{a}	65.27_{ab}	68.74_{b}	83.99_{b}

*$_{abc}$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.6 แสดงปริมาณ Fat Acidity ในถั่วเหลืองทีมีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

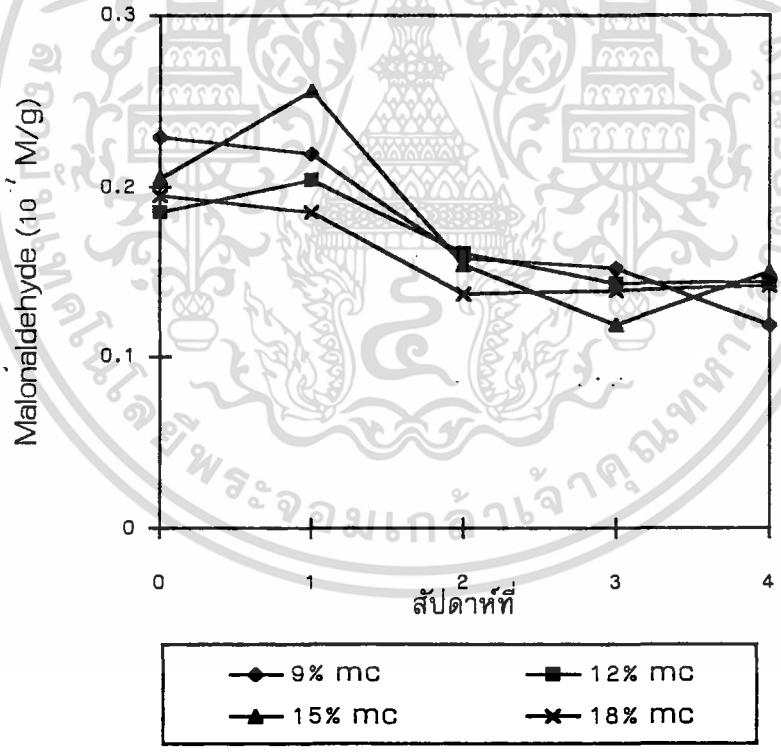
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.7 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7} M/g) ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ความชื้น	สัปดาห์ที่				
	0	1	2	3	4
9	1.431_{a}	1.369_{ab}	0.988_{bc}	0.950_{bc}	0.744_{c}
12	1.156_{a}	1.275_{a}	1.006_{a}	0.894_{a}	0.900_{a}
15	1.281_{ab}	1.600_{a}	0.963_{bc}	0.744_{c}	0.938_{bc}
18	1.219_{a}	1.156_{a}	0.856_{b}	0.869_{b}	0.888_{b}

*$_{abc}$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ P > 0.01

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.7 แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

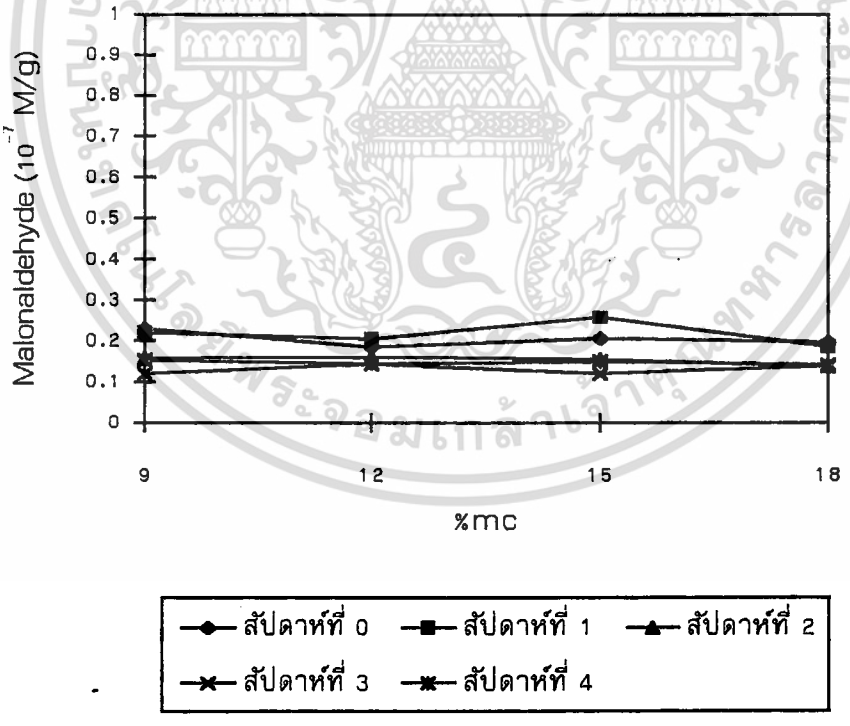
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.8 ผลของระดับความชื้นต่อปริมาณ Malonaldehyde (10^{-7} M/g) ในถั่วเหลืองระหว่างระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	% ความชื้น			
	9	12	15	18
0	1.431_a	1.156_a	1.281_a	1.219_a
1	1.369_a	1.275_a	1.600_a	1.156_a
2	0.988_a	1.006_a	0.963_a	0.856_a
3	0.950_a	0.894_a	0.744_a	0.869_a
4	0.744_a	0.900_a	0.938_a	0.888_a

*$_a$ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

** ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.8 แสดงปริมาณ Malonaldehyde ในถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.9 แสดงค่า Correlation Coefficients และ Probability Levels ระหว่างระดับ Fat Acidity กับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Test Measurements	Correlation Coefficients(r),n=16	Probability Levels
% FA_1 vs % mc	- 0.5287	0.0352**
% FA_1 vs t	0.1681	0.5336^{ns}
% FA_1 vs % mc & t	- 0.0512	0.8505^{ns}
% TBA_1 vs % mc	0.1685	0.5326^{ns}
% TBA_1 vs t	0.1692	0.5310^{ns}
% TBA_1 vs % mc & t	0.2217	0.4093^{ns}
% FA_1 vs TBA_1	- 0.1508	0.5772^{ns}
% FA_2 vs % mc	0.7020	0.0024**
% FA_2 vs t	0.6672	0.0048**
% FA_2 vs % mc & t	0.9316	0.0000**
% TBA_2 vs % mc	- 0.0841	0.7569^{ns}
% TBA_2 vs t	- 0.7659	0.0005**
% TBA_2 vs % mc & t	- 0.6659	0.0049**
% FA_2 vs TBA_2	- 0.6277	0.0092**

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P > 0.01$

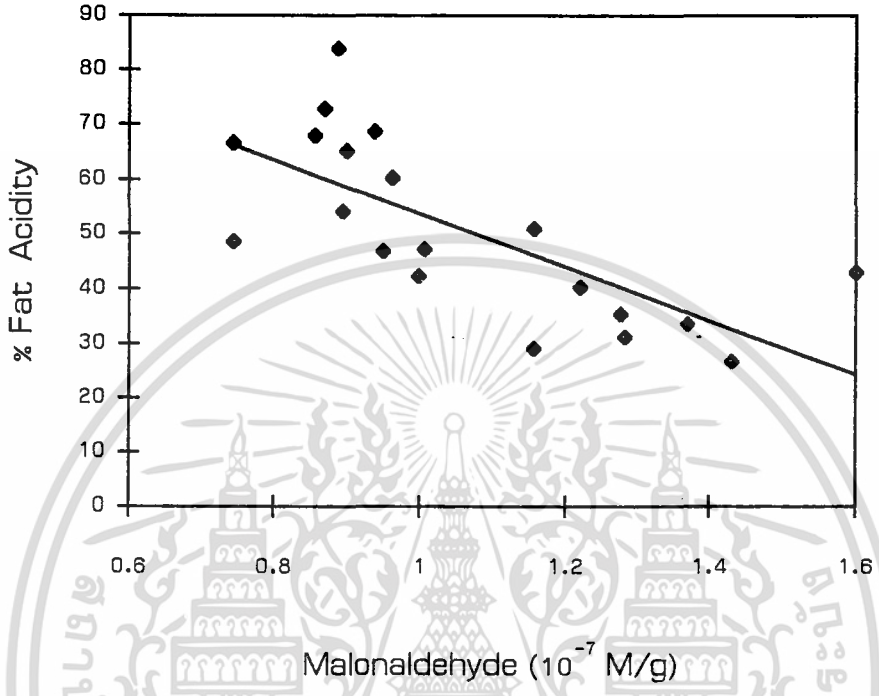
^{ns} ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1 ข้าวกล้อง

2 ถั่วเหลือง

t ระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fat Acidity และ ปริมาณ Malonaldehyde ระหว่างการเก็บ 4 สัปดาห์ ของถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9%, 12%, 15% และ 18% ตามลำดับ

$r = -0.62$, $n = 20$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1. ผลของระยะเวลาต่อการเกิด Lipid Oxidation

จากการวิเคราะห์ผลของระยะเวลาต่อการเกิด Lipid Oxidation ในข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 4.2.1 และ 4.2.3 พบว่าในสัปดาห์ที่ 4 นั้นข้าวที่มีความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์จะมีปริมาณ Fat Acidity เพิ่มมากขึ้น และมีปริมาณ Malonaldehyde เพิ่มขึ้นในข้าวที่มีความชื้น 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์($P > 0.01$) เมื่อวิเคราะห์ค่า Correlation Coefficient (r) ระหว่างปริมาณ Fat Acidity และ Malonaldehyde กับระยะเวลาในการเก็บพบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บ 4 สัปดาห์ไม่มีผลต่อการเกิด Lipid Oxidation ในข้าวกล้อง

ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองแสดงในตารางที่ 4.2.5 จะพบว่าความแตกต่างของระยะเวลาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ขึ้นไปมีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.01$) ในทุกระดับความชื้น ความคงตัวของไขมันอาจอาจได้รับผลกระทบจากโครงสร้างของ Triglycerides (Yoshida และ Alexander, 1984) การเพิ่มขึ้นของระดับ Fat Acidity สามารถอธิบายได้จากการ Breakdown ของ Triglycerides โดยกิจกรรมของเอนไซม์ Lipase ซึ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น โดย Lipase จะเกิดจากเนื่อเยื่อที่เสียหายของถั่วเหลือง แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณ Malonaldehyde พบว่ามีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป

นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของระดับ Fat Acidity อารเป็นผลมาจากเอนไซม์ Lipase ที่เกิดจากเชื้อราเมื่อตัวอย่างมีปริมาณความชื้นสูง Ramakrishna และ Bennjee (1951) ได้ทำการทดลองพบว่าเอนไซม์ Lipase ที่เกิดจากเชื้อราในเมล็ดพืชน้ำมันที่ปริมาณความชื้นสูงจะ Active ต่อ Cell membrane มากกว่าเอนไซม์ Lipase ในเมล็ดที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydrolysis ของพันธะ Ester ระหว่าง Acyl chains และ glycerols การทดลองดังกล่าวได้รับการสนับสนุนจาก Christensen (1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. ผลของความชื้นต่อการเกิด Lipid Oxidation

ตารางที่ 4.2.2 และ 4.2.4 แสดงให้เห็นค่าจากการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity และปริมาณ Malonaldehyde ทางสถิติของตัวอย่างข้าวกล้องที่ระดับความชื้นต่างๆ นั้น ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.01$) ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างระดับ Fat Acidity และปริมาณความชื้นมีค่าต่ำมาก ดังนั้นระดับความชื้นไม่มีผลต่อการเหม็นหืนในข้าวที่ระยะเวลาในการเก็บ 4 สัปดาห์

การวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลืองพบว่าข้อมูลความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.01$) โดยระดับ Fat Acidity จะสูงขึ้นเมื่อตัวอย่างมีระดับความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งช่วยเร่งการเกิด Lipid Oxidation ในตัวอย่าง ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ Fat Acidity และปริมาณความชื้นพบว่ามีความสัมพันธ์กัน ($r = 0.70$, $P > 0.01$)

4.2.3. ผลของระยะเวลาและความชื้นต่อการเกิด Lipid Oxidation

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมระยะเวลาและระดับความชื้นที่มีต่อระดับ Fat Acidity พบว่าระดับความชื้นและระยะเวลาไม่มีความสัมพันธ์ต่อระดับ Fat Acidity และปริมาณ Malonaldehyde ในข้าวกล้องที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ จึงควรทำการทดลองที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น Hunter และคณะ (1951) พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นในข้าวกล้องสูงขึ้น ระดับ Fat Acidity จะสูงขึ้นด้วย ในถั่วเหลืองพบว่าระดับความชื้นและระยะเวลามีความสัมพันธ์กับระดับ Fat Acidity จะเห็นได้จากค่าสหสัมพันธ์ซึ่งมีค่าสูง ($r = 0.93$, $P > 0.01$) สามารถยืนยันการเกิด Lipid Oxidation ที่ปริมาณความชื้นสูงๆ ได้สอดคล้องกับการทดลองของ White และคณะ (1986)แต่เมื่อความชื้นและระยะเวลาเพิ่มควบคู่กับนั้น ปริมาณ Malonaldehyde จะมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ Fat Acidity และ Malonaldehyde

จากรูปที่ 2.2.1 จะแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา Lipid Oxidation (Karel, 1974) โดยมี Unsaturated lipids เป็นสารตั้งต้น จากการศึกษาพบว่า กรดโอเลอิค และกรดลิโนเลอิค ซึ่งมีมากในข้าวกล้องและถั่วเหลืองนั้นมีบทบาทมากต่อการเกิด Lipid Oxidation (Ramarathnam และ Kulkarni, 1983) และเกิดผลิตภัณฑ์คือ Hydroperoxide ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียร จึงสลายตัวเป็น Malonaldehyde ดังนั้นการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity จึงเป็นการวิเคราะห์สารตั้งต้นในการเกิด Lipid Oxidation ส่วนการวิธี TBA Test จะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณ Malonaldehyde ที่เกิดจากการสลายตัวของ Hydroperoxide

จากการทดลองเมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ทั้งสอง พบว่าในข้าวกล้องไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างวิธีวิเคราะห์ แต่พบว่าในถั่วเหลืองนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไประดับ Fat Acidity เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา Lipid Oxidation ในตัวอย่างนั้นปริมาณ Malonaldehyde มีแนวโน้มลดลง ($r = -0.63$) ดังแสดงในรูปที่ 4.2.9 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากระยะเวลาและความชื้นนั้น สามารถวัดปริมาณ Unsaturated lipids ได้จากระดับของ Fat Acidity ในขณะเดียวกันปริมาณ Malonaldehyde สามารถเกิดการสลายตัวเป็น Secondary products ได้แก่ Aldehydes, Ketones หรือ Carbonyl compounds อื่นๆ อีกต่อไปได้ อดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณ Malonaldehyde ในถั่วเหลืองของ Stewart และ Bewley (1980) ซึ่งพบว่าปริมาณ Malonaldehyde จะลดลงหลังจากการทดลอง 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Adhikari, C., H.E. Snyder, T.W. Knon, and P.K. Clark.1992. Alternative extraction effect on the free fatty acids and phosphorus in oil from damaged and undamaged. J. Am. Oil. Chem. Soc. Soybeans.,69(11) : 1141, 1143.

Assosiation of Official Analytical Chemists.1995. Official Methods of Analysis 16th edition. Vol 2.

Aurand, W. Leaonard, A. Edwin Woods, and Marion R. Wells. 1987. Deterioration of fats. in Food Composition and Analysis. Van Nostrand Reinhold, New York. pp. 204-207.

Ayano, Y. And T. Furuhashi.1970. Volatile carbonyl compounds of cooked rice. Chiba Daigaku Eugeigakubu Gakujutsu Hokoku., 18 : 53.

Christensen, C.M. 1972. Microflora and seed deterioration. in Viability of Seed. (ed. Roberts, E.H.) Chapman and Hall Ltd, London.

Chu, Yan Hwa.1995. Effect of soybean pretreatment on crude oil quality. J. Am. Oil Chem. Soc., 72(2) : 177.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clark, P.K. and H.E. Snyder.1991. Hydroperoxide formation in soybean seeds during storage. J. Am. Oil Chem. Soc., 68(5) : 346.

Dey, G. And K. Mukherjee. 1986. Deteriorative change in seeds during storage and its control by hydration-dehydration pretreatment. Seed Reserch., 14(1) : 49-59.

Fennema, Owen. R. 1985. Lipids Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc, New York. pp. 193-198.

Galliard, T. 1994. Nutritional Aspects of rancidity. in Rancidity in foods. (eds. J.C. Allen and R.J. Hamilton) Chapman and hall, New York. pp. 128-137.

Gunstone, Frank D. 1986. Analytical method. in The Lipid Handbook. Chapman and Hall, New York. pp. 260.

Hinchcliffe, C., M. McDaniel, M. Vaisey, and N.A.M. Eskin. 1977. The flavor of faba beans affected by heat and storage. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., 10 : 181.

Hunter, I.R., D.F. Houston, and E.B. Kester. 1951. Developement of free fatty acids during storage of brown (husked) rice. Cereal Chem., 28 : 232-239.

Karel, M. 1994. Free radical reactions. in Water Relation of Foods. (ed. R.B. Ductworth) Academic Press, London. pp. 439-441.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Meyer, Lillian Hoagland. 1976. Flavor changes in fats and oils. in Food Chemistry. Reinhold Tuttle, Tokyo. pp. 32-34, 38-39.

Meyer, Lillian Hoagland. 1976. Moisture in foods. in Food Chemistry. Reinhold Tuttle, Tokyo. pp. 5-6.

Murray, K.E., J. Shipton, F.B. Whitfield, and J.H. Last. 1976. The volatiles of off-flavored unblanched green peas (*Pisum satirum*). J. Sci. Food Agric., 27 : 1093.

Pattee, H.E., P.K. Salunkhe, S.K. Sathe, and N.R. Reddy. 1982. Legume lipids. CRC Critical Reviews in food Science and Nutrition., 17(2) : 111-115, 118-112, 125-129, 132.

Rackis, J.J., D.H. Honig, D.J. Sessa, and F.R. Steggerda. 1970. Flavor and flatulence factors in soybean protein products. J. Agric. Food Chem., 18 : 977.

Ramarathnam, N. and P.R. Kulkarni. 1983. Effect of aging on the fatty acid composition of some indian varieties of brown rice. J. of Food Sci. and Technol., 20:286.

Ramakrishna, C.V. and B.V. Bannerjee. 1951. Destruction of lipase in oil seeds as the mould grow on them. J. Indian Chem. Soc., 128 : 591-594.

Rennie, B.D. and J.W. Tanner. 1989. Fatty acid composition of oil on soybean seeds grown at extreme temperatures. J. Am. Oil Chem. Soc., 66(77) : 1622.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rockland, Louis B. And George F. Stewart. 1981. Water activity and its estimation in food systems : Theoretical aspect. in Influences on Food Quality. Acedemic Press, New York. pp. 1-5.

Rossell, J.B. and J.L.R. Pritchard. 1991. Quality criteria and autoxidation. in Analysis of Oilseeds Fats and Fatty Foods. Elserier Science Publisher Ltd, London. pp. 461.

Sander , T.A.B. 1994. Nutritional aspects of rancidity. in Rancidity in Foods. (eds. J.C. Allen and R.J. Hamilton). Chapman and Hall, New York. pp.128-137.

Salunkhe, D.K., S.K. Sathe, and N.R. Reddy. 1989. Lipids. in Handbook of World Foods Legumes : Nutritional Chemistry, Processing Technology, and Utilization Vol.I. (eds. D.K. Sulunkhe and S. S. Kadam). CRC Press, Inc, Flolida. pp. 105-109.

Stewart, R.R.C. and J.D. Bewley. 1980. Lipid Peroxidation associated with accelelated ageing of soybean axes. Plant Physiol., 65 : 245,248.

Sumner, A.K., L.L. Whalley, G. Blankenagel, and C.G. Youngs. 1979. Storage stability studied on pea flour, protein concentrate and starch. Can, Inst. Food Sci. Technol. J., 12 : 51.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Troller, John A. And J.H.B. Christian. 1978. Moisture content methods and control of A_w. in Water Activity and Food. Academic Press, New York. pp. 69-71, 77.

Tungcharoenchai, W. 1990. The Use of Oxygen Absorber in Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) Package. Diploma Thesis. Massey University. Palmerston North. New Zealand.

Vaidehi, M.P. And S.S. Kadam. 1989. Soybean. in Handbook of World Foods Legumes : Nutritional Chemistry, Processing Technology, and Utilization Vol.III. (eds. D.K. Sulunkhe and S.S. Kadam). CRC Press, Inc, Flolida. pp. 8-10.

White, G.M., O.J. Loewer, I.J. ross, and D.B. Egli. 1976. Storage characteristics of soybean seeds dried with heated air. Trans. ASAE., 19(2) : 306-310.

Wu, Chang-May and Su-Er Liou. 1990. Effect of water content on voiatile compounds derived from soybean oils in cans. J. Am. Oil Chem. Soc., 60(2) : 96.

Yang, S.E. and Y.B. Yu. 1982. Lipid peroxidation in relation to ageing and loss of seed viability. Search. Am. Seed. Res. Foundn., 16(1): 2-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การปรับระดับความชื้นตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาหาความชื้นเริ่มต้น

⇩

ตอนที่ 1 : ปรับความชื้นให้ได้ 5 ระดับ*
(6%, 8%, 10%, 12% และ14%)
ตอนที่ 2 : ปรับความชื้นให้ได้ 4 ระดับ
(9%, 12%, 15% และ18%)

⇩

บรรจุลงในถุงเมทัลไลซ์ปริมาณถุงละ 50 กรัม

⇩

ผนึกถุงป้องกันการผ่านของอากาศ และไอน้ำ

⇩

ตอนที่ 1 : เก็บที่อุณหภูมิ 30 °C
ตอนที่ 2 : เก็บที่อุณหภูมิ 40 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดความชื้น : นำไปอบใน hot air oven

*การเพิ่มความชื้น : เติมน้ำกลั่นตัมในปริมาณตามที่ได้คำนวณไว้ตามต้องการโดยคำนวณเป็นน้ำหนักของน้ำที่ต้องเติม ใช้ micropipette ค่อยๆ หยดน้ำกลั่นตัมลงในตัวอย่างที่บรรจุอยู่ภายในถุงเมทัลไลซ์ จากนั้นทำการเขย่าถุงเป็นเวลา 2-3 นาที แล้วนำไปทำให้ตัวอย่างปรับสมดุลย์ของความชื้น (Equilibration) กับบรรกาศภายในถุง โดยผนึกและเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 2 °C เป็นเวลา 1 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ค่าทางเคมี

1. การหาค่าความชื้น

วิเคราะห์หาความชื้นโดยการใช้ตู้อบ Hot air oven method

1.1. อุปกรณ์

- Aluminium can
- Dessicator (ในการทดลองนี้ใช้สารดูดความชื้นที่เป็น Siliga gel)
- Hot air oven

1.2. วิธีการวิเคราะห์

อบ Aluminium can ใน hot air oven
ที่อุณหภูมิประมาณ 130 ± 3 องศาเซลเซียส

⇩

ทำให้เย็นใน Dessicator
ชั่งพร้อมฝาจนได้น้ำหนักคงที่

⇩

ชั่งตัวอย่างลงไปประมาณ 2 กรัม

⇩

นำเข้าอบใน Hot air oven ตั้งอุณหภูมิประมาณ 130 ± 3 องศาเซลเซียส
เมื่ออุณหภูมิถึง เริ่มจับเวลาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขณะทำการอบให้เปิดฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

⇩

เมื่อทำการอบจนได้น้ำหนักคงที่แล้ว
นำมาเข้า Dessicator จนอุณหภูมิลดจนถึงอุณหภูมิห้อง

⇩

นำไปชั่งน้ำหนัก

$$\%\text{ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

2. การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

2.1. อุปกรณ์

(1) Homogenizer
(2) Erlenmeyer flask 125 ml.
(3) Alumenium foil
(4) กระดาษกรอง whatman # 1
(5) Burette 50 ml.
(6) Pipette 10, 50 ml.

2.2. สารเคมี

(1) Petroleum ether
(2) Potassium hydroxide (KOH) 0.1 N : เตรียมได้โดยชั่ง KOH 5.611 กรัม นำมาละลายน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ml.
(3) ฟีนอล์ฟทาลีน 0.1% เป็นอินดิเคเตอร์ : เตรียมโดยละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.1 กรัม ใน ethanol 95% 100 ml.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. วิธีทดลอง

(1) pre-dried ตัวอย่างที่ 60 °C เป็นเวลา 2 ชม. เพื่อกำจัดความชื้นส่วนเกิน
(2) ปั่นตัวอย่างปริมาณ 20 กรัม รวมกับ petroleum ether 50 ml. นานประมาณ 5 นาที
(3) กรองผ่านกระดาษกรอง whatman #1 ปิดด้วยกระจกนาฬิกาเพื่อกันการระเหยของ petroleum ether
(4) ปิเปตสารละลายดังกล่าวมา 20 ml. ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 125 ml. ซึ่งบรรจุ ethanol 95% 20 ml. อยู่
(5) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 0.1% เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ นำมาไตเตรทกับ potassium hydroxide 0.1 N จนกลายเป็นสีชมพูอ่อน
(6) ทำ titration blank โดยไม่ต้องเติมตัวอย่าง

$$\%\text{กรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{ml.(titrant - blank)} \times 0.1 \times 56.11 \times 2.5 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ : 56.11 = มวลโมเลกุลของ KOH
2.5 = factor ที่ขึ้นกับ 20 ml. ของตัวอย่าง

2.3. การหาปริมาณ Malonadehyde (Thiobarbituric acid value)

3.1. อุปกรณ์

(1) Homogenizer
(2) Erlenmeyer flask 125 ml.
(3) Buchner funnel
(4) กระดาษกรอง whatman #2
(5) Pipette 10, 50 ml.
(6) Spectrophotometer (visible range)
(7) คิวเวท
(8) Waterbath
(10) Centrifuge 3000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(11) ขวดวัดปริมาตร 100, 1000 ml.

3.2. สารเคมี

(1) 1,1,3,3-tetrahydroxypropane
(2) Hydrochloric acid 1 N : เตรียมโดยปิเปต HCl 8.27 ml. ละลายใน double distilled water 100 ml.
(3) 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid : เตรียมโดยละลาย trichloroacetic acid 100 กรัม ลงใน double distilled water 500 ml. จากนั้นชั่ง TBA 2.5 กรัม ละลายลงใน 20% trichloroacetic acid 500 ml.

3.3. การเตรียมสารละลาย malonaldehyde มาตรฐาน

(1) ชั่ง 1,1,3,3-tetrahydroxypropane 0.2204 กรัม ที่ผ่านการกลั่นแล้ว 2 ครั้ง ละลายด้วย double distilled water 200 ml. ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ml.
(2) เติมกรด hydrochloric 1 N ลงไป 1 ml. ขณะเดียวกันให้ความร้อน 50 °C ใน waterbath เป็นเวลา 60 นาที (ระวังการระเหยของ malonaldehyde)
(3) cooling อย่างรวดเร็ว จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml. ด้วย double distilled water (10^{-3} M)
(4) ปิเปตมา 1 ml. เจือจางด้วยน้ำปราศจากอิออนในขวดวัดปริมาตร 100 ml. (10^{-5} M) เพื่อเป็นสารละลายมาตรฐาน

3.4. การหา Standard curve

(1) เตรียมสารละลาย 6 หลอด ดังนี้
    (1.1) 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid 5 ml. + สารละลายมาตรฐาน 5 ml.
    (1.2) 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid 5 ml. + สารละลายมาตรฐาน 4 ml.
    (1.3) 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid 5 ml. + สารละลายมาตรฐาน 3 ml.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1.4) 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid 5 ml.
+ สารละลายมาตรฐาน 2 ml.

(1.5) 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid 5 ml.
+ สารละลายมาตรฐาน 1 ml.

(1.6) 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid 5 ml.

Blank : double distilled water 5 ml.

(2) แช่หลอด (1) – (6) ลงใน waterbath 95 °C เป็นเวลา 20 นาที

(3) cooling เพื่อหยุดปฏิกิริยา

(4) centrifuge 3,000 rpm. เป็นเวลา 30 นาที สารละลายจะเป็นสีชมพู

(5) นำไปอ่านค่า Absorbance ที่ 532 nanometre

นำค่าที่ได้มา plot กราฟ โดยให้แกน y = absorbance, แกน x = ปริมาณ Malonaldehyde จะได้ stansard curve ดังภาคผนวก จ.

3.5. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

(1) นำตัวอย่างมา 1 กรัม ปั่นรวมกันกับ double distilled water 50 ml. เป็นเวลา 5 นาที

(2) ปรับปริมาตรเป็น 100 ml. ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml.

(3) กรองด้วยกระดาษกรอง whatman #1 ด้วย buchner funnel

(4) นำส่วนที่กรองได้ 4 ml. เติม 0.5% TBA ใน 20% trichloroacetic acid 5 ml.

(5) นำเข้า waterbath 95 °C เป็นเวลา 20 นาที

(6) cooling เพื่อหยุดปฏิกิริยา

(7) centrifuge 3,000 rpm. เป็นเวลา 30 นาที สารละลายจะเป็นสีชมพู

(8) นำไปอ่านค่า Absorbance ที่ 532 nanometres

(9) นำค่าที่วัดได้ไป plot บน standard curve เพื่อวิเคราะห์ค่า Malonaldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ ค.1 คุณสมบัติของตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	กรดไขมันอิสระหลัก*
ข้าว	12.1	0.5	oleic, linoleic
ข้าวกล้อง	12.0	2.3	oleic, linoleic
ถั่วแดง	11.9	1.9	linoleic, linolenic
ถั่วเหลือง	8.8	17	oleic, linoleic

*ที่มา : Pattee (1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

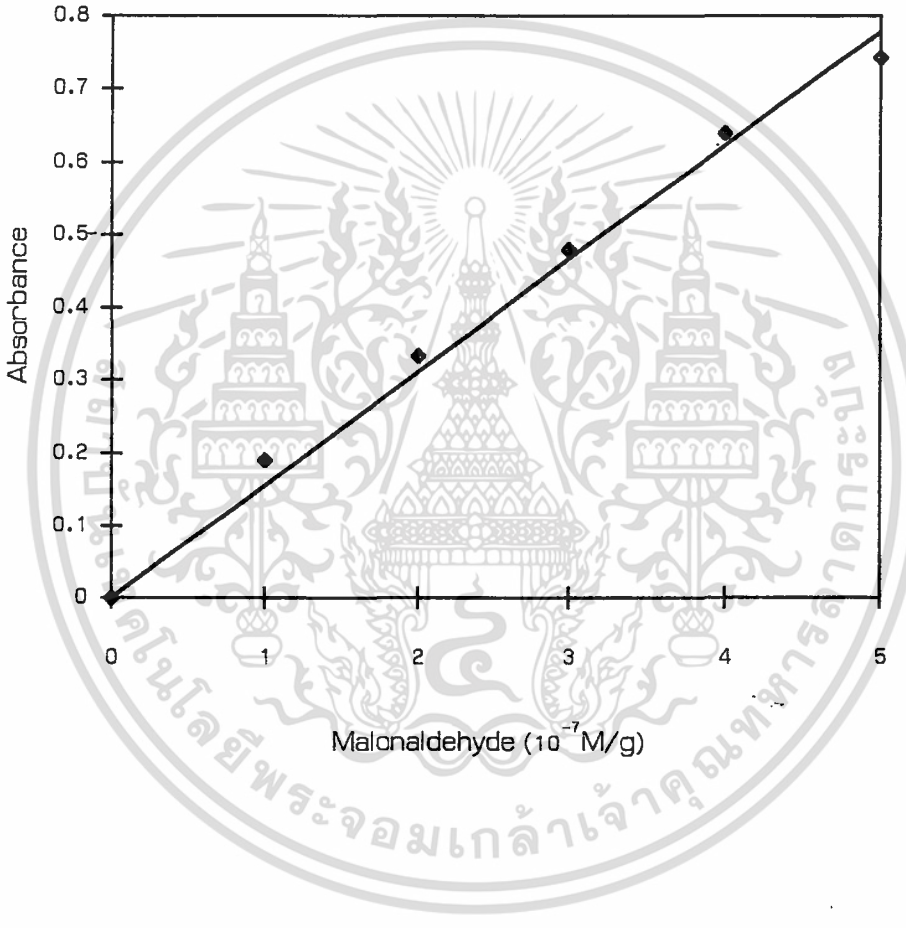
คุณสมบัติของถุงเมทัลไลซ์

- อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	=	31	มิลลิลิตร/ตารางเมตร/วัน
- อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	=	2.5	กรัม/ตารางเมตร/วัน
- ขนาดถุง	=	10 X 6.5	ตารางเซนติเมตร
- ความจุของถุง	=	26.25	ลูกบาศก์เซนติเมตร
- องค์ประกอบของถุง	=	OPP (Oriented Polypropylene)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

รูปที่ จ.1 Standart Curve ของ Malonaldehyde



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ผลการทดลองตอนที่ 1

ตารางที่ ฉ.1 ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในข้าว (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

ระยะเวลา (สัปดาห์ที่)	% ความชื้น				
	6	8	10	12	14
1	13.13	17.10	19.25	19.07	19.37
	14.10	16.80	17.00	17.20	19.15
	12.05	18.69	18.47	16.26	18.63
2	16.70	20.20	17.21	16.47	18.20
	17.01	19.50	16.88	17.00	18.71
	17.05	18.50	19.22	19.12	19.22
3	11.80	16.30	15.84	17.30	18.91
	13.80	17.30	16.80	17.22	19.37
	14.94	18.30	17.55	17.38	19.59
4	16.66	18.42	17.97	21.52	18.00
	16.83	19.37	16.89	20.90	20.47
	18.32	19.03	17.76	20.70	19.97
5	17.16	16.70	15.55	21.48	20.80
	17.08	17.94	16.60	21.90	21.40
	17.25	21.61	14.83	21.84	23.02
6	13.50	19.10	18.70	22.30	21.20
	16.00	18.45	18.34	21.70	21.81
	16.30	17.65	19.18	19.12	20.14
7	16.10	20.5	22.03	21.89	21.00
	-16.50	20.70	21.0	22.75	22.20
	16.96	21.92	19.59	22.68	20.97
8	17.60	21.40	22.10	22.60	22.00
	18.45	21.50	22.07	22.80	22.60
	17.22	21.66	22.70	22.28	22.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.2 ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วแดง (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

ระยะเวลา (สัปดาห์ที่)	% ความชื้น				
	6	8	10	12	14
1	28.10	22.74	29.87	19.44	49.00
	29.84	23.76	29.33	20.05	48.37
	30.44	22.95	29.18	19.43	47.98
2	37.47	25.00	36.74	29.27	50.07
	35.77	24.31	37.40	29.43	50.81
	35.48	24.34	37.40	30.07	49.54
3	37.60	26.89	24.79	31.23	49.76
	36.45	27.43	24.61	30.97	49.90
	37.46	27.79	24.25	30.07	50.76
4	35.90	23.48	27.43	25.68	45.66
	36.47	23.95	26.88	25.90	45.18
	35.63	22.56	26.18	26.54	44.85
5	28.03	19.22	22.70	27.80	43.40
	27.29	19.34	22.90	27.50	43.41
	27.48	20.36	21.90	27.29	42.67
6	28.70	20.63	22.03	27.59	43.94
	28.11	21.40	21.65	28.10	44.30
	27.64	21.09	21.54	26.90	44.33
7	26.89	26.72	25.34	25.46	45.48
	27.50	25.90	26.00	25.21	45.61
	27.78	25.77	24.95	24.99	45.68
8	29.41	29.08	28.70	25.13	49.78
	29.12	28.45	29.11	24.56	50.03
	28.56	28.45	29.01	25.25	50.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.3 ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลือง (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

ระยะเวลา (สัปดาห์ที่)	% ความชื้น				
	6	8	10	12	14
1	27.12	39.43	36.11	46.19	61.66
	27.48	39.84	38.89	45.08	63.58
	28.17	39.62	37.62	50.42	56.77
2	34.14	60.02	55.53	58.73	58.76
	33.23	59.24	54.62	63.36	61.33
	34.64	59.60	58.81	56.77	65.07
3	30.96	52.63	44.89	54.60	49.68
	31.87	50.01	47.33	50.16	50.52
	31.84	51.41	43.50	55.14	47.10
4	29.47	48.02	36.45	47.46	52.11
	29.76	45.66	38.16	46.90	51.32
	29.15	47.29	42.18	49.46	54.37
5	34.00	72.30	62.37	56.19	58.47
	33.47	70.15	58.01	57.76	58.63
	33.54	67.97	58.98	54.38	61.76
6	30.76	70.15	60.71	57.60	57.91
	30.24	73.39	61.83	55.48	55.32
	29.48	79.51	56.32	60.86	57.20
7	52.81	72.28	69.82	67.39	63.08
	52.35	73.31	73.87	66.09	79.54
	52.64	77.46	71.98	72.71	42.54
8	56.10	75.43	73.85	70.80	64.29
	56.72	74.28	74.03	69.37	65.07
	57.25	80.36	78.80	74.51	67.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.4 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (สัปดาห์)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ข้าว								
- 6%	6.33	6.53	6.94	7.03	6.89	6.68	6.97	7.46
- 8%	8.26	8.39	8.73	8.97	8.75	9.28	9.03	8.44
- 10%	10.23	10.46	10.2	10.49	10.70	10.68	10.98	10.83
- 12%	12.08	12.41	12.28	11.90	12.05	11.82	12.55	11.37
- 14%	16.46	13.56	13.70	13.69	13.87	13.87	13.90	14.56
ถั่วแดง								
- 6%	5.62	5.91	6.04	5.89	6.01	5.91	6.10	6.35
- 8%	7.86	7.43	7.60	7.92	7.38	7.75	7.63	7.71
- 10%	9.83	9.55	9.88	9.97	9.74	9.40	10.34	10.59
- 12%	13.01	12.61	12.42	12.63	12.65	12.76	13.68	13.56
- 14%	14.59	14.43	14.23	14.44	15.17	14.76	14.63	14.29
ถั่วหลือง								
- 6%	6.03	6.1	6.04	6.32	5.94	6.05	6.76	6.38
- 8%	7.82	7.67	7.83	7.74	8.03	7.73	7.34	8.36
- 10%	9.74	9.64	9.47	9.45	10.07	10.20	10.36	10.28
- 12%	11.23	11.53	12.07	11.39	11.20	11.05	12.76	12.87
- 14%	14.36	14.76	14.91	15.21	15.76	15.53	14.39	14.50

*ข้อมูลดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองตอนที่ 2

ตารางที่ ฉ.5 ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในข้าวกล้อง (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

เปอร์เซนต์ความชื้น	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
9	88.89	86.10	80.55	81.93	81.24
	90.27	93.04	87.49	85.41	82.63
12	78.46	81.93	85.41	90.27	101.38
	77.07	80.55	83.32	94.43	90.96
15	72.21	75.69	81.24	80.55	87.49
	74.99	80.55	86.10	82.63	80.55
18	77.77	77.77	79.85	82.63	90.27
	79.16	80.55	71.52	70.13	79.85

ตารางที่ ฉ.6 ผลการวิเคราะห์ระดับ Fat Acidity ในถั่วเหลือง (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

เปอร์เซนต์ความชื้น	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
9	25.69	36.80	41.66	46.52	47.22
	27.77	30.55	43.05	47.22	49.99
12	27.77	37.50	49.30	55.55	67.35
	30.55	33.33	45.13	52.77	63.19
15	30.55	41.66	63.88	65.27	72.21
	31.94	44.44	56.94	68.05	65.27
18	37.50	52.77	69.44	70.82	79.85
	43.05	49.30	66.66	74.99	88.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.7 ผลการวัดค่า Absorbance ในข้าวกล้อง (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

เปอร์เซนต์ความชื้น	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
9	0.042	0.045	0.056	0.025	0.045
	0.020	0.022	0.050	0.015	0.040
12	0.022	0.022	0.050	0.021	0.039
	0.018	0.011	0.053	0.014	0.046
15	0.026	0.022	0.043	0.022	0.046
	0.031	0.015	0.046	0.024	0.046
18	0.041	0.050	0.046	0.020	0.051
	0.052	0.045	0.056	0.032	0.050

ตารางที่ ฉ.8 ผลการวัดค่า Absorbance ในถั่วเหลือง (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

เปอร์เซนต์ความชื้น	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
9	0.226	0.243	0.156	0.158	0.121
	0.231	0.194	0.160	0.145	0.117
12	0.225	0.223	0.146	0.142	0.152
	0.145	0.186	0.176	0.143	0.135
15	0.209	0.260	0.137	0.126	0.131
	0.200	0.252	0.171	0.111	0.169
18	0.198	0.185	0.147	0.124	0.146
	0.192	0.185	0.127	0.153	0.138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.9 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์

ตัวอย่าง	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
ข้าวกล้อง					
- 9%	9.21	9.93	10.16	9.89	10.03
- 12%	12.90	12.62	13.42	13.23	13.56
- 15%	15.41	15.68	16.61	15.76	16.01
- 18%	18.67	18.93	19.66	15.54	18.88
ถั่วเหลือง					
- 9%	9.56	9.91	10.12	10.28	9.86
-12%	13.17	13.42	13.53	13.28	13.21
-15%	14.29	15.07	15.79	15.73	15.98
-18%	17.04	17.97	17.13	17.37	17.43

*ข้อมูลดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนงสุดา บุนนาค เกิดวันที่ 27 กรกฎาคม 2517 จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) ในปี พ.ศ. 2539 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนราชวินิตมัธยม กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2539

นายรณภูมิ มรุดัณฑ์ เกิดวันที่ 11 กรกฎาคม 2517 กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) ในปี พ.ศ. 2539 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนพระโขนงพิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้