ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การเปรียบเทียบการหาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในอาหาร ด้วยวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

(Comparison of malonaldehyde content by distillation and extraction methods)

T096598

จัดทำโดย

นางสาวภัทรภร พรมทอง รหัสนักศึกษา 46041085

นางสาวฐิติมา พิพัฒน์ผลสกุล รหัสนักศึกษา 46041094

นางสาวธนาภรณ์ บริสุทธิ์ รหัสนักศึกษา 46041098

สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี.....
.b.....
.i.....

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การเปรียบเทียบการหาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในอาหาร
ด้วยวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด
(Comparison of malonaldehyde content by distillation and extraction methods)

จัดทำโดย

นางสาวภัทรภร	พรมทอง	รหัสนักศึกษา	46041085
นางสาวฐิติมา	พิพัฒน์ผลสกุล	รหัสนักศึกษา	46041094
นางสาวธนาภรณ์	บริสุทธิ์	รหัสนักศึกษา	46041098

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

....26.../...ต.ค.../...56... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร.ยุพร พืชกมุทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษเรื่อง การเปรียบเทียบการหาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในอาหารด้วยวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

(Comparison of malonaldehyde content by distillation and extraction methods)

จัดทำโดย นางสาวภัทรภร พรมทอง รหัสนักศึกษา 46041085
นางสาวฐิติมา พิพัฒน์ผลสกุล รหัสนักศึกษา 46041094
นางสาวธนาภรณ์ บริสุทธิ์ รหัสนักศึกษา 46041098

สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ยุพร พืชกมุทร

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรด ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คืออุณหภูมิ 33 (อุณหภูมิห้อง) 60 และ 90 องศาเซลเซียสในผลิตภัณฑ์มันที่ฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่า ที่อุณหภูมิ 33°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ การศึกษาผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียง พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด ที่มีการเติมซัลฟานิลาร์ไมด์มีค่าสูงกว่าการไม่เติมและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การศึกษาวิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จาก 2 วิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่วิธีการกลั่นจะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงในขณะที่ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป จะเหมาะสมกับวิธีการสกัดในกรด

ภัทรภร พรมทอง		
ฐิติมา พิพัฒน์ผลสกุล		
ธนาภรณ์ บริสุทธิ์		26 ส.ค. 50
ลายมือชื่อนักศึกษา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ ดร.ยุพร พืชกมุทร ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ อีกทั้งยังกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาในด้านต่างๆ รวมถึงคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำปัญหาพิเศษ การนำเสนอผลงาน ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบปัญหาพิเศษ และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้ตลอดระยะเวลาของการศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่แนะนำการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีต่างๆ

ขอขอบคุณพี่บัณฑิตปริญญาโท พี่วิญญ์ ผิวนิ่ม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นผู้สนับสนุนด้านกำลังใจและทุนทรัพย์ตลอดระยะเวลาในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

หวังว่าปัญหาพิเศษหัวข้อนี้จะมีประโยชน์ในภายภาคหน้าไม่มากก็น้อย หากปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นประโยชน์แก่ท่านผู้ใด คณะผู้จัดทำขอมอบคุณความดีทั้งหมดให้แก่ทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....ก
กิตติกรรมประกาศ .....ข
สารบัญ .....ค
สารบัญตาราง .....จ
สารบัญรูปภาพ.....ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ 2
2.1 การหืน.....2
2.2 กลไกการเกิดออกซิเดชัน.....4
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดลิพิดออกซิเดชันในอาหาร.....5
2.4 การวัดและการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....9
2.5 บทบาทของไนเตรตและไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อ.....16
2.6 สเปกโทรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry).....19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 20
3.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 20
3.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์ 20
3.3 สารเคมี 20
3.4 เครื่องมือวิเคราะห์ 21
3.5 วิธีการดำเนินงาน.....21
3.6 สถานที่ดำเนินการ.....23
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....24
4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรด 24
4.2 ผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น.....26
4.3 ผลของวิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด.....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....29

5.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ 29
โดยวิธีการสกัดในกรด

5.2 ผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ 29
ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น

5.3 วิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆ 29
โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

ข้อเสนอแนะ.....30

บรรณานุกรม 31

ภาคผนวก.....33

ก. ข้อมูลผลการทดลอง กราฟและตารางการวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....34

ข. รูปภาพเครื่องมือที่ใช้ในกาวิเคราะห์.....48

ประวัติผู้เขียน.....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 วิธีวิเคราะห์ระดับการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน.....9

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของกลิ่นและค่า threshold ของ aliphatic aldehyde บางชนิด.....13

ตารางที่ 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....24
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....25
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....25
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นโดย.....26
เปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ตารางที่ 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดย.....27
เปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ตารางที่ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยเปรียบระหว่างวิธีการกลั่น.....28
และการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....35
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....36
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....37
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นโดยเปรียบเทียบ.....38
ระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดยเปรียบเทียบ.....38
ระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ตารางที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยเปรียบระหว่างวิธีการกลั่น.....39
และการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

ตารางที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....40
มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....40
มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
ตารางที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....40
มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
ตารางที่ ก.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์หมูแผ่น.....41
โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์
ตารางที่ ก.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์กุนเชียง.....41
โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์
ตารางที่ ก.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงโดยเปรียบระหว่าง.....42
วิธีการกลั่นและการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง thiobarbituric acid และ malonaldehyde.....11
ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาทางเคมีของเม็ดสีตั้งแต่จากเนื้อสดจนถึงผลิตภัณฑ์.....18
ภาพที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของ.....43
มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส
ภาพที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของ.....43
มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
ภาพที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของ.....44
มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
ภาพที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของ.....45
หมูแผ่นแบบเติมและไม่เติมซัลฟานิลาไมด์
ภาพที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของ.....45
กุนเชียงแบบเติมและไม่เติมซัลฟานิลาไมด์
ภาพที่ ก.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่น.....46
และการสกัดในกรดของหมูแผ่น
ภาพที่ ก.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่น.....46
และการสกัดในกรดของกุนเชียง
ภาพที่ ก.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่น.....47
และการสกัดในกรดของมันฝรั่งทอดกรอบ
ภาพที่ ก.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่น.....47
และการสกัดในกรดของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป
ภาพที่ ข.1 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Thermo).....49
ภาพที่ ข.2 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven).....49
ภาพที่ ข.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath).....50
ภาพที่ ข.4 เตาหลุม.....50
ภาพที่ ข.5 ชุดเครื่องกรองแบบสุญญากาศ.....51
ภาพที่ ข.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งทำให้เกิดการหืนขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารและเกิดขึ้นได้ทั้งในระหว่างการเก็บวัตถุดิบ การแปรรูป การให้ความร้อนและในช่วงการเก็บของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งส่วนใหญ่นำไปสู่การไม่ยอมรับของผู้บริโภค

การเหม็นหืนของอาหาร ไม่เพียงแต่ทำให้อาหารเสื่อมเสียแต่ยังก่อให้เกิดสารพิษ (Toxic byproducts) รวมทั้งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น เม็ดสีเกิดการฟอกสี การสูญเสียกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งการตรวจสอบเพื่อวัดการเกิดออกซิเดชันของลิพิดสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์หาค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value PV), ค่าแอซิด (Acid Value AV) และค่าไทโอบาบิทูริกแอซิด รีแอคทีฟ ซับสแตน (Thiobarbituric acid reactive substance TBARs) เป็นต้น แต่บางวิธีนั้นก็ยังมีข้อจำกัด เช่น ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ทอดสูง เมื่อเพอร์ออกไซด์เกิดขึ้นจะสลายตัวเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ ทำให้ค่า PV ลดลง ดังนั้นค่า PV อาจใช้ตัดสินคุณภาพของน้ำมันทอด (frylife) ได้ยากและวิธีไม่มีความจำเพาะเจาะจงในอาหารแต่ละชนิด

ดังนั้นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการหาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในอาหารนี้ จึงเลือกใช้ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARs) เนื่องจากเป็นตัวหนึ่งที่นิยมใช้วัดปริมาณเพอร์ออกไซด์ของไขมัน เพราะมีความไวในการเกิดปฏิกิริยา สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยสามารถวัดค่าได้โดยวิธี Spectrophotometry, Gas Chromatography (GC) และ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เนื่องจากวิธี Spectrophotometry สามารถทำได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อยจึงได้นำมาใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงในการทดลองนี้ และได้ทำการเปรียบเทียบค่า TBARs ระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและซัลฟานิลาร์ไมด์ ที่มีผลต่อค่า TBARs เพื่อเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการหาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในอาหารแต่ละกลุ่ม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรด
2. เพื่อศึกษาผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียง
3. เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 การหืน (Rancidity) (นิธิยา , 2545)

การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบดังนี้

ก. Lipolysis เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์หรือลิพิดด้วยเอนไซม์ไลเพส ความร้อน กรด ด่าง และความชื้น หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ลิโพไลซิส หรือ lipolytic rancidity หรือ hydrolytic rancidity ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาลิโพไลซิสของไขมันนม ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับน้ำนมดิบที่มีเอนไซม์ไลเพส ทำให้มีผลต่อกลิ่นของน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม กรดไขมันที่มีผลทำให้เกิดกลิ่นในไขมันนม คือ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย เช่น กรดบิวทีริก จึงทำให้เกิดกลิ่นหืนและมีผลต่อคุณภาพของไขมันหรือน้ำมันที่นำไปใช้ปรุงอาหาร หรือ แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารด้วย การเกิดลิโพไลซิสจะเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นขณะทอดอาหารที่มีน้ำ หรือมีความชื้นสูงและใช้อุณหภูมิสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิโพไลซิส ยังมีผลทำให้อุณหภูมิที่เกิดควันและแรงตึงผิวของน้ำมันลดต่ำลงด้วย น้ำมันจะเกิดควันได้ง่ายขณะทอดอาหาร เช่น การทอดโดนัท จะได้โดนัทที่มีสีคล้ำ ผิวแตก และดูดน้ำมันไว้มาก ทำให้โดนัทหรืออาหารที่ทอดนั้นมีคุณภาพต่ำ กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระยังมีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

Hydrolytic rancidity เป็นการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสไขมัน และน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเพสและความชื้น ทำให้ไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม จะมีกลิ่นเหม็นหืนมาก เช่น การหืนของน้ำมันมะพร้าว เนย และน้ำมันหมู เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

อย่างไรก็ตามไขมันและน้ำมันบางชนิดเมื่อเกิด hydrolytic rancidity แล้วไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการดมกลิ่น หรือชิมรส ต้องตรวจวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี คือ ต้องวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้เรียกว่า Acid Value (A.V.)

ค่า A.V. ของไขมันหรือน้ำมัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรอไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันหรือน้ำมันจำนวน 1 กรัม เป็นกลางพอดี ซึ่งนิยมเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดโอเลอิก ดังนั้น ค่า A.V. จะเป็นตัวบ่งชี้ภาวะหรือระดับการหืนของไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และน้ำมัน ถ้าค่า A.V. สูง แสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมากแสดงว่าเกิดการหืนมาก

ข. การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (Oxidative rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autooxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ออโตออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่ว จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย

ปฏิกิริยาการเกิด peroxide linkage ดังสมการ

$$-HC = CH- + O2 \longrightarrow -HC(-O-O)-CH- \text{ หรือ } -HC\text{-}CH(OO.)-$$

การเกิดการหืนโดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วยและยังทำลายพวกวิตามินต่างๆที่ละลายในไขมันและน้ำมันได้อีกด้วย

การหืนที่เกิดโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ยังอาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีเอนไซม์ลิพอกซิเดส (lipoxidase) ช่วยเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเป็น enzymatic oxidation

ไขมันและน้ำมันที่เกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชัน จะมีค่า I.N. ลดต่ำลง การตรวจวิเคราะห์ว่าไขมันและน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชันมากน้อยเท่าใด ทำได้โดยการหาค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value หรือ P.V.) คือการหาปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมันนั้น

ค่า P.V. หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิสมมูลของเพอร์อกไซด์ออกซิเจน (peroxide oxygen) ที่มีในน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า P.V. สูง แสดงว่าน้ำมันหรือไขมันเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชันมาก และค่า I.N. ที่วิเคราะห์ที่ได้จะต่ำกว่าค่าที่เป็นจริง

การเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชัน ยังทดสอบได้โดยใช้ Kreis test คือปฏิกิริยาของ Kreis reagent ซึ่งเป็นสารละลาย phloroglucinol กับไขมันหรือน้ำมันที่ถูกออกซิไดส์ในภาวะที่เป็นกรดจะทำให้เกิดสีแดง

ค. Ketonic rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กลไกการเกิดออกซิเดชัน (Mechanism of oxidation) (นิธิยา , 2545)

การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว อิสระหรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในลิพิดหรืออาหารที่มีลิพิด ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ (deterioration) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อลิพิดหรืออาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free-radical chain reaction) ซึ่งมีกลไกการเกิดได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)
2. Propagation เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ
3. Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้โปรดักต์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ (non-radical products)

ปฏิกิริยาเริ่มต้นของออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะทำให้เกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) โดยไฮโดรคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอมทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ

$$\underset{\text{กรดไขมัน}}{RH} \longrightarrow \underset{\text{อนุมูลอิสระ}}{R.} + H.$$

และออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่เกิดเป็น diradical ดังนี้

$$R-\overset{H}{\underset{|}{C}}=\overset{H}{\underset{|}{C}}-R' + O_2 \longrightarrow R-\overset{H}{\underset{|}{C}}-\overset{H}{\underset{|}{C}}.-R' \quad \left(\text{O-O.}\right)$$

หลังจากนั้นก็จะเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ

$$R. + O_2 \longrightarrow ROO.$$

$$ROO. + RH \longrightarrow ROOH + R.$$

ได้เป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (ROO.) ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน (R.) อนุมูลที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป และเมื่อใดที่อนุมูลอิสระมาทำปฏิกิริยากันเองจะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาก็จะหยุดลง ตัวอย่างเช่น

$$R. + R. \longrightarrow R-R$$

$$ROO. + ROO. \longrightarrow ROOR + O_2$$

$$RO. + R. \longrightarrow ROR$$

$$ROO. + R. \longrightarrow ROOR$$

$$2RO. + 2ROO. \longrightarrow 2ROOR + O_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไม่มีอนุมูลอิสระเหลือสำหรับทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากยังมีออกซิเจนมากพออยู่ ก็จะเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาขั้นที่ 1 (Initiation reaction) เพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ใหม่

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดลิพิดออกซิเดชันในอาหาร (กฤษณี , 2543 และนิธิยา , 2545)

เนื่องจากลิพิดที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่างๆ มากมาย ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนั้นส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหารอาจทำหน้าที่ร่วมออกซิไดส์ (coxoxidize) หรือทำปฏิกิริยากับลิพิดที่ถูกออกซิไดส์แล้ว หรือโปรดักต์ที่เกิดจากการออกซิเดชัน ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของลิพิด จึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างสลับซับซ้อน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดลิพิดออกซิเดชัน มีดังนี้

1. ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมันและน้ำมันมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และอัตราเร็วของการเกิดจะแตกต่างกัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่า ดังนี้

กรดอะราคิโดนิก : กรดลิโนเลนิก : กรดลิโนเลอิก : กรดโอเลอิก = 40 : 20 : 10 : 1

กรดไขมันที่อยู่ในรูป*ซิส*ไอโซเมอร์ เกิดออกซิไดส์ได้เร็วกว่า ทรานส์ไอโซเมอร์ และตำแหน่งที่เป็น conjugated double bond จะเกิดได้ไวกว่า nonconjugated double bond การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้อง กรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะไม่เกิดออโตออกซิเดชัน จะเกิดเฉพาะกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้น แต่ที่อุณหภูมิสูงกรดไขมันชนิดอิ่มตัวก็อาจเกิดออโตออกซิเดชันได้บ้าง

2. กรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

3. ความเข้มข้นของออกซิเจน ในภาวะที่มีออกซิเจนมาก อัตราการเกิดออกซิเดชันจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ในภาวะที่มีออกซิเจนน้อยอัตราการเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน อย่างไรก็ดีผลของออกซิเจน ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจน

4. อุณหภูมิ

การเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ในขั้นโพรพาเกชันเพิ่มขึ้น และยังเร่งให้เกิดการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ทำให้มีอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ Bloukas และ Honokel ในปี 1992 พบว่าระยะเวลาการเก็บที่อุณหภูมิสูงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการเก็บนานขึ้นทำให้ค่า TBA และปริมาณเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากๆ ทำให้การละลายของออกซิเจนลดลงจึงเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Radiant energy

แสงและรังสีต่างๆ เช่น visible light แสงอัลตราไวโอเลต และแกมมาเรดิเอชัน มีผลช่วยเร่งให้เกิดออกซิเดชันได้เร็วขึ้น โดย Ultraviolet เร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่า เพราะมีพลังงานสูงกว่า (λของ UV เท่ากับ 200-350, visible light = 350-800 nm) แสงและรังสีต่างๆ เช่น visible light แสงอัลตราไวโอเลต และแกมมาเรดิเอชัน มีผลช่วยเร่งให้เกิดออกซิเดชันได้เร็วขึ้น

6. การบด หรือ พื้นที่ผิวสัมผัส

จากการศึกษาผลการบดมันหมูแข็งต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดย Bloukas และ Honokel ในปี 1992 พบว่ามันหมูแข็งที่ผ่านการบดจะมีค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเก็บนาน 2 วัน และมีค่าสูงสุดเมื่อเก็บนาน 15 วัน เนื่องจากการบดทำให้ไขมันมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

อัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ผิวของลิพิดที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้น หากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น การเกิดออกซิเดชันจะเร็วขึ้น สำหรับอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ การเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนเข้าไปยังส่วนที่เป็นน้ำมัน

7. โซเดียมคลอไรด์

โซเดียมคลอไรด์ มักใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อเพิ่มรสชาติและสกัดโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือออกมา นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พบว่าโซเดียมคลอไรด์เร่งการเกิดออกซิเดชันในเนื้อสัตว์ โดยการใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นทำให้ค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) เพิ่มขึ้น เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ไปลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant enzyme) คือ catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px) และ superoxide dismutase (SOD) โดยการใช้โซเดียมคลอไรด์ 2 เปอร์เซนต์ในเนื้อหมูจะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ CAT, Gsh-Px และ SOD ลดลง 18, 41 และ58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

8.ตัวกระตุ้นให้เกิดออกซิเดชัน (prooxidation)

ตัวกระตุ้นให้เกิดออกซิเดชันที่สำคัญคือ อิออนของโลหะเช่น เหล็ก,ทองแดงและฮีโมโกลบิน ซึ่งมีอิออนของเหล็กเป็นองค์ประกอบก็ถือเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดออกซิเดชันด้วย โดยฮีโมโกลบินจะสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าอิออนของเหล็ก และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยฮีโมโกลบินจะเพิ่มขึ้นจนสูงสุดที่พีเอช 6.6 และที่พีเอช 7.5 การกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะลดลง เนื่องจาก การเกิดปฏิกิริยา ionization ของโมเลกุลน้ำที่นับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 บนฮีม (pk 8.9) และการเกิดปฏิกิริยารีดักชันบางส่วนเป็นเฟอร์รัส นอกจากนี้การมีโซเดียมคลอไรด์อยู่ด้วยทำให้ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นประมาณ 3-5 เท่าของตัวอย่างที่มีอิออนเหล็กเพียงอย่างเดียว เนื่องจากอิออนเหล็กที่เติมส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับโปรตีนจึงเป็นการป้องกันไม่ให้อิออนเหล็กเกิดปฏิกิริยากับลิปิดและป้องกันปฏิกิริยาที่อิออนเหล็กเป็นตัวเร่งให้เกิดออกซิเดชัน ส่วนโซเดียมคลอไรด์จะมีผลกับปฏิกิริยาระหว่างอิออนเหล็กกับโปรตีนทำให้เกิดอิออนเหล็กอิสระขึ้นจำนวนมาก จึงเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของอิออนทองแดงในมันหมูโดย Coxon และคณะในปี 1986 พบว่าการเติมทองแดงทั้งในรูป copper II sulphate, copper II acetate หรือ copper II palmitate ที่ความเข้มข้น 5, 25, และ 50 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัมจะทำให้สูญเสียกลิ่นมันหมูสดหลังเก็บที่ -20 องศาเซลเซียสนาน 3 สัปดาห์และหลังเก็บนาน 10 สัปดาห์จะเกิดกลิ่นหืนและกลิ่นโลหะรุนแรงขึ้น นอกจากนี้เกลือที่ใช้ในการหมักยังเสริมฤทธิ์การเร่งการเกิดออกซิเดชันของอิออนทองแดงด้วย

แร่ธาตุหรือโลหะบางชนิด เช่น โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและนิกเกิล มีสมบัติเป็น pro-oxidants ได้ ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งจะเร่งอัตราการเกิดออกซิเดชันได้ แร่ธาตุหรือโลหะเหล่านี้ได้มาจากดินที่ปลูกพืช และปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันพืชหรือมาจากสัตว์ และอุปกรณ์โลหะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา

9. เอนไซม์

เอนไซม์ไลเปส (lipase) และไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) จะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุและลิปิด โดยไลเปสมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่าไลพอกซีจีเนส ในขณะที่ฟอสโฟไลเปสเอ (phospholipase A) ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของรงควัตถุ ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากฟอสโฟไลเปสเอไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางอย่างหรือระบบของไลโพโปรตีน (lipoprotein) ที่เกี่ยวข้องกับความไม่เสถียรของไมโครโกลบิน โดยความไม่เสถียรนี้เกิดจากผลตรงข้ามหรือทางอ้อมขององค์ประกอบของลิปิดด้วย

10. ความชื้น

อัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันขึ้นอยู่กับค่า a_w อาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำมาก (a_w น้อยประมาณ 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 0.3 จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิพิดให้เกิดน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อค่า a_w เพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 0.55 – 0.85 อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของคะตะลิสต์และออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. การเกิดอิมัลซิฟิเคชัน

ในอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ หยดน้ำมันจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ออกซิเจนจะต้องแพร่กระจายผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำเข้าไปยังหยดน้ำมันผ่านชั้นระหว่างผิวของน้ำกับน้ำมัน ดังนั้นอัตราการเกิดออกซิเดชันจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วยเช่น ชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ ขนาดของอนุภาคหยดน้ำมัน พื้นที่ผิวของ interface ความหนืดของตัวกลางที่เป็นน้ำ ค่าพีเอช ส่วนประกอบและ porosity ของตัวกลาง

12. สารต้านออกซิเดชัน

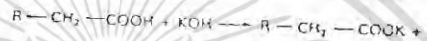
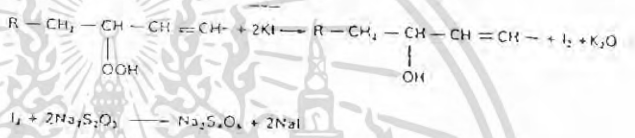
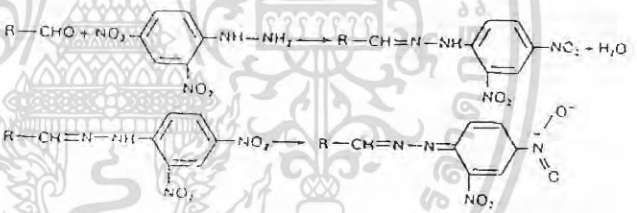
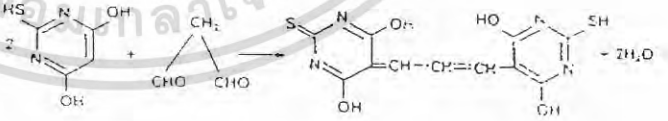
สารต้านออกซิเดชันจะช่วยยับยั้ง หรือชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ ซึ่งมีทั้งสารต้านออกซิเดชันในธรรมชาติ เช่น วิตามินอีในน้ำมันพืช และสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารสังเคราะห์และอนุญาตให้เติมลงในอาหารได้ เช่น โพรพิลแกลเลต BHA และ BHT เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวัดและการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กฤษณี, 2543)

การวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมคุณภาพและลักษณะกลิ่นรส ซึ่งวิธีการวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันของไขมันมีหลายวิธีดังแสดงในตารางที่ 2 แต่วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันคือ TBA method (วิธีทางเคมี) direct gas chromatography (วิธีทางกายภาพ) และ descriptive analysis (วิธีทางประสาทสัมผัส)

ตารางที่ 2.1 วิธีวิเคราะห์ระดับการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน

Property measured	Method	Principle of reaction
Acid value	Titration by alkali	
Peroxide value	Iodometry	
Carbonyl value	2,4-DNPH method	
	Hydroxylamine method	
TBA number	Thiobarbituric acid method	
Amount of oxygen absorbed	Warburg's manometer, oxygen analyzer; measurement of weight	

2, 4-DNPH = 2, 4-Dinitrophenylhydrazine; TBA = thiobarbituric acid

ที่มา : Jadhav และคณะ (1996) ; กฤษณี, (2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการตรวจสอบการเกิดลิพิดออกซิเดชัน

การเกิดลิพิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อน และมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีของลิพิด การตรวจสอบเพื่อวัดการเกิดออกซิเดชันของลิพิดทำได้หลายวิธี ตัวอย่าง ได้แก่

ก. การหาค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

เพอร์ออกไซด์เป็นโปรดักต์แรกของการเกิดออโตออกซิเดชัน ซึ่งวัดปริมาณที่เกิดขึ้นได้โดยใช้ความสามารถของเพอร์ออกไซด์ ที่จะทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ได้เป็นไอโอดีน แล้วหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นโดยการไตเตรชันหรือไอโอดิเมตรี (iodimetry)

$$ROOH + 2KI \longrightarrow ROH + I_2 + K_2O$$

หรือออกซิไดส์เฟอร์รัสไอออนให้เป็นเฟอร์ริกไอออน โดยวิธีไทโอไซยาเนต

ค่าเพอร์ออกไซด์ หมายถึง มิลลิสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมของไขมันหรือน้ำมัน ระหว่างการเกิดออกซิเดชันค่าเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดต่ำลง

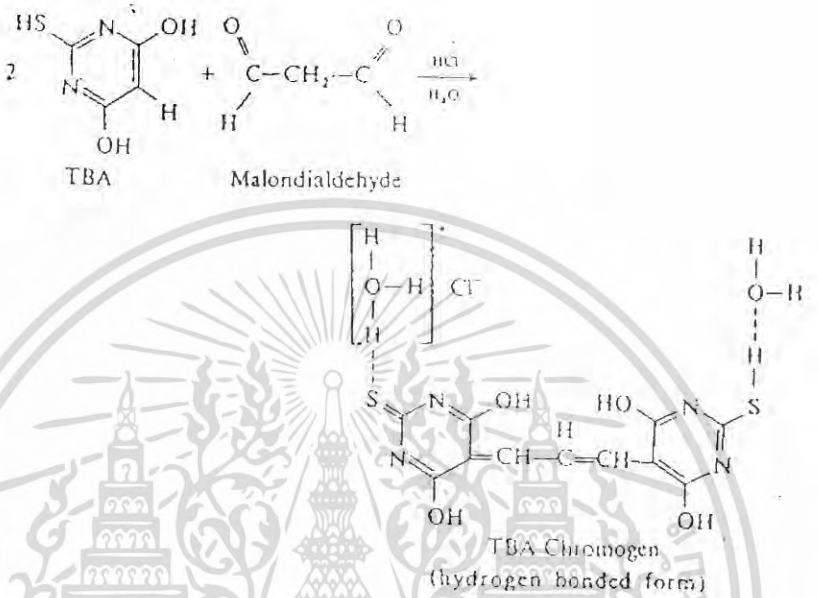
ข. การทดสอบกรดไทโอบาบิทูริก

โปรดักต์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว จะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาบิทูริกทำให้เกิดสี ซึ่งเชื่อว่าเกิดจากปฏิกิริยา condensation ของมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondiadehyde, MDA) กับกรดไทโอบาบิทูริก 2 โมเลกุล อย่างไรก็ตาม การเกิดออกซิเดชันอาจไม่จำเป็นต้องเกิดมาลอนไดอัลดีไฮด์เสมอไป เพราะสารประกอบพวกแอลคานาล (alkanals) แอลคีนาล (alkenals) และ 2,4 – ไดอีนาล (2,4-dienals) สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาบิทูริกได้และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร ได้เช่นเดียวกับมาลอนไดอัลดีไฮด์ ดังนั้นจึงเปลี่ยนการเรียกชื่อวิธีการวิเคราะห์จาก TBA เป็น TBARS (Thiobarbituric acid reactive substance) เนื่องจากการเรียกชื่อแบบเดิมจะหมายถึงสารมาลอนไดอัลดีไฮด์เพียงชนิดเดียว แต่ TBARS จะหมายถึงกลุ่มของสารดังกล่าวด้วย การรายงานผลการวิเคราะห์ค่า TBARS จะรายงานผลเป็นมิลลิกรัมของมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (milligrams of malondiadehyde equivalents/kg of sample)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้บ่อยในการวัดออกซิเดชันของลิปิดและมีความสัมพันธ์กับระดับของอัลดีไฮด์ (aldehydes) โดยวิธีนี้เป็นการวัดสารสีแดง (red chromogen) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง thiobarbituric acid (TBA) กับ malonaldehyde ด้วย spectrophotometer (Rossell,1964) ปฏิกิริยาระหว่างสาร thiobarbituric acid กับ malonaldehyde แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งนอกจาก thiobarbituric acid จะเกิดปฏิกิริยากับ malonaldehyde ได้สารสีแดงแล้ว สารอัลดีไฮด์อื่นก็จะสามารถทำปฏิกิริยากับ thiobarbituric acid ให้สารสีแดง นอกจากนี้ลิปิดที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ (non-extractable lipid) ยูเรีย น้ำตาล โปรตีนที่ถูกออกซิเดชัน (oxidize protein) หรือสารอื่นในอาหารที่ถูกออกซิเดชัน (oxidize material) ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาให้สารที่มีสีได้เช่นกัน ดังนั้นการวัดผลิตผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ต้องเลือกความยาวคลื่นที่เห็นความแตกต่างของสารสีแดงจากปฏิกิริยาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกัน โดย alka-2,4-dienals และ alk-2-enals ผลิตสารสีแดงที่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และอัลดีไฮด์ที่ผลิตสารสีเหลือง (yellow chromogen) จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร นอกจากนี้การแยกสารที่มีสารที่มีสียังสามารถใช้ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ที่มีความยาวคลื่น 546 นาโนเมตรด้วย (กฤษณี, 2543)



ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง thiobarbituric acid และ malonaldehyde
ที่มา : Rossell (1994); กฤษณี (2543)

Rossell (1994) กล่าวว่าวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบมี 2 วิธี คือการสกัดรงควัตถุที่มีสีออกมาโดยตรงและการกลั่นด้วยไอน้ำ จากนั้นนำสารที่สกัดได้มาทำปฏิกิริยากับ reagent วิธีการทำได้โดยนำอาหารมา 10 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 96.5 มิลลิลิตรนาน 2 นาที ถ่ายตัวอย่างใส่ก้นขวดขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริค 4 โมลาร์จำนวน 1.5 มิลลิลิตรและเติมสารละลายซัลฟานิลาร์ไมด์ 0.5 % ที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริค 20 % จำนวน 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างไปกลั่นจนได้ส่วนใสจำนวน 50 มิลลิลิตร (ใช้เวลา 30-45 นาที) นำส่วนใสที่กรองได้จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง แล้วเติมกรดไทโอบาร์บิทูริคจำนวน 0.02 โมลาร์ ที่ละลายใน 90% กรดอะซีติคจำนวน 5 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลอง เขย่าสารละลายและจุ่มลงในอ่างน้ำเดือดนานประมาณ 35 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาทำให้เย็นลงภายในเวลา 10 นาที จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ค่า TBA number ถูกคำนวณในหน่วยมิลลิกรัมของ malondialdehyde ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม มีหลายๆงานวิจัยกล่าวว่า TBA test มีประโยชน์ในการวัดการเหม็นหืนในขั้นแรกของน้ำมันพืช , มันหมู (lard) , ไขมันที่ทำให้สุกและอาหารสด Tarladgis (1962) รายงานผลว่าสาร thiobarbituric acid ไม่คงตัว เกิดการแตกตัวได้ภายใต้สภาวะที่ใช้ทดสอบคือความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกรดแก่ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อดีคือ มันสามารถใช้ได้กับอาหารทุกชนิด และเห็นการเกิดออกซิเดชั่นของวัตถุดิบได้มากกว่าวิธีการสกัดเอา triglyceride จากไขมันออกมา

Williams และคณะ (1983) ได้ศึกษาวิธีหาค่า TBA ของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของลิปิดในเนื้อ 4 ชนิดคือ เนื้อละมั่ง (antelope), เนื้อกวาง (deer) , เนื้อ elk และเนื้อวัว โดยเปรียบเทียบ TBA numbers จากวิธีวิเคราะห์ 4 วิธี คือ วิธี distillation method , direct sample method , fluorometric method และ HPLC พบว่า วิธี distillation method จะให้ค่า TBA number สูงกว่าวิธีอื่นๆ ($p<0.05$) ในเนื้อกวางและเนื้อ elk ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Witte และคณะ (1970) ที่ว่า distillation จะให้ค่า TBA มากกว่าวิธี extraction 2 เท่า

ค. **direct gas chromatography** (กฤษณี, 2543)

การวัดปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิของปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถใช้วิธี gas chromatography ได้โดยกลุ่มไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอลกอฮอล์ด้วยโซเดียมโบโลไฮไดรด์ (sodium borohydride) และอะซีติกคลอไรด์ (acetyl chloride) เกิดปฏิกิริยา methylation ได้ methyl ester ความไวของการวิเคราะห์เพิ่มขึ้นโดยการใช้ pentafluorobenzyl ester แทน methyl ester และใช้ electrolytic conductivity เป็นตัววัดค่า (Prior และ Loliger, 1994) และ St.Angello (1996) กล่าวว่าวิธี direct gas chromatography มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนหรือสูญหายของสารระเหยโดยการเคลื่อนที่หรือการจับที่ไม่มีประสิทธิภาพ และยังลดการสูญเสียของสารระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ การรายงานปริมาณสารระเหยจะรายงานในหน่วย 1 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (กฤษณี, 2543)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นการประเมินคุณภาพโดยอาศัยลักษณะที่เห็นหรือได้รับกลิ่น ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่มีความสำคัญ ถ้าเกิดกลิ่นหรือกลิ่นรสที่ไม่ดีอาจทำให้ไม่ยอมรับอาหารนั้นๆในอนาคตได้ จึงทำให้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินทางด้านกลิ่นรสทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการ โดยกลิ่นรสที่ไม่ดีหรือกลิ่นหืนเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง ซึ่งถูกเร่งโดยอิออนของโลหะ อนุมูลอิสระอื่นๆที่สร้างขึ้นในระบบ กลิ่นรสที่ไม่ดีจะเพิ่มขึ้นและกลิ่นรสที่ดีจะลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น นักวิทยาศาสตร์การอาหารจะมีส่วนร่วมในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการพัฒนาคำศัพท์เพื่อใช้อธิบายลักษณะของกลิ่นให้เข้าใจโดยคำที่ใช้พรรณนานั้นมีมากมายเช่น rancid painty beany green metallic stale และยังพยายามที่จะพรรณนาความรู้สึกต่อกลิ่นที่ไม่ดีที่เกิดจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมันหรือน้ำมันแม้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะอัลดีไฮด์ซึ่งมีลักษณะเฉพาะดังแสดงในตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของกลิ่นและค่า threshold ของ aliphatic aldehyde บางชนิด

Aldehyde	Threshold (ppm)	Character
cis-3-Hexenal	0.09	Green bean
trans-2-Hexenal	0.60	Green
cis-4-Heptenal	0.0005	Cream to tallow
trans-6-Nonenal	0.00035	Hydrogenation
trans-2-cis-6-Nonadienal	0.0015	Beany
trans-2-trans-6-Nonadienal	0.02	Cucumber
trans-2-trans-4-Decadienal	0.10	Stale frying oil

ที่มา : Hudson และ Gordon (1994)

ในปี 1986 ได้มีการพัฒนาและดัดแปรคำศัพท์ที่ใช้อธิบายสำหรับการประเมิน Warmed-over flavor (WOF) เช่น

Painty หมายถึง กลิ่นร่วมระหว่างน้ำมันและไขมันที่หืน

Cardboardy หมายถึง กลิ่นร่วมระหว่างกลิ่นอับของเนื้อวัว คล้ายกระดาษแข็งเปียก และกลิ่นอับของน้ำมันและไขมัน

Sour หมายถึง รสเปรี้ยว

Bitter หมายถึง รสขมของสารเช่น คาเฟอีน (caffeine) หรือควินิน (quinine)

ส่วนคำที่ใช้ในการพรรณนาถึงกลิ่นที่ดีของเนื้อวัวคือ

Cooked beef lean หมายถึง กลิ่นเนื้อวัวสุก

Cooked beef fat หมายถึง กลิ่นไขมันวัวสุก

Browned หมายถึง กลิ่นรวมของเนื้อวัวย่างหรือต้มให้เกรียมแต่ไม่ไหม้

Serum/bloody หมายถึง กลิ่นเนื้อวัวดิบ

Sweet หมายถึง กลิ่นที่เหมือนน้ำตาล

Cook beef lean พัฒนาเป็น cooked beef / caramel

Serum/bloody พัฒนาเป็น serumy

(St.Angello, 1996; Ranken, 1994; Hudson และ Gordon, 1994 และ St.Angelloและคณะ, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กฤษณี, 2543)

1 การใช้สารกันหืน (antioxidant)

สารกันหืนตามความหมายของ FDA คือสารที่ใช้รักษาอาหารโดยชะลอการเสื่อมเสีย การหืน หรือสูญเสียสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Dziezak, 1986)

1.1 ชนิดของสารกันหืนในอาหารแบ่งเป็น

1.1.1 สารกันหืนปฐมภูมิ (primary antioxidant)

สารกันหืนกลุ่มนี้จะเป็นตัวให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่เสถียรมากกว่า นอกจากนี้ยังอาจมีหน้าที่ในปฏิกิริยาของอนุมูลลิปิด สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นสารกันหืนได้เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ แต่ถ้าใช้ที่ความเข้มข้นสูงมันจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดออกซิเดชัน ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น BHA, BHT, TBHQ, tocopherols, polyhydroxyphenolic ส่วนสารที่เกิดตามธรรมชาติ เช่น flavonoids, eugenol, vanillin และ rosemary

สารในกลุ่มนี้มีผลในการชะลอและยับยั้งปฏิกิริยาในขั้นแรกของการเกิดออกซิเดชัน โดยสารกลุ่มนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไขมันหรือยับยั้งในขั้นโพรพาเกชันโดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลเปอร์ออกซีหรืออนุมูลอัลโคซีดังสมการที่ (9) ถึง (11) นอกจากนี้อนุมูลอิสระของสารกันหืนยังเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาโพรพาเกชัน โดยการเกิดปฏิกิริยากับกับอนุมูลเปอร์ออกซีได้ peroxy antioxidant compounds ดังสมการที่ (12) และ (13)

$$AH + R^{\circ} \longrightarrow A^{\circ} + RH \quad (9)$$

$$AH + ROO^{\circ} \longrightarrow A^{\circ} + ROOH \quad (10)$$

$$AH + RO^{\circ} \longrightarrow A^{\circ} + ROH \quad (11)$$

$$A^{\circ} + ROO^{\circ} \longrightarrow ROOA \quad (12)$$

$$A^{\circ} + RO^{\circ} \longrightarrow ROA \quad (13)$$

1.1.2 สารกันหืนเสริมฤทธิ์ (synergistic antioxidant)

สารกันหืนเสริมฤทธิ์แบ่งออกเป็นสารจับกับออกซิเจน (oxygen scavengers) และสารจับกับโลหะ (chelators) โดยสารนี้มีหน้าที่หลายๆกลไกอาจให้ออกซิเจนแก่อนุมูล phenoxy ตัวอย่างของสารจับกับออกซิเจน คือกรดแอสคอร์บิก, แอสคอร์บิวพามิเตท (ascorbylpalmitate), ซัลไฟต์ และอีริทอร์เบท (erythorbates) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนอิสระและดึงออกซิเจนออกจากระบบ นอกจากนี้กรดแอดคอร์บิกและแอสคอร์บิวพามิเตท ยังส่งเสริมการทำงานของสารกันหืนปฐมภูมิโดยเฉพาะโทโคเฟอร์รอล (tocohherols)

สารจับกับโลหะเช่น ethylenediaminetetraacetic acid, กรดซิตริกและฟอสเฟต ตัวมันเองไม่ใช่สารกันหืน แต่ช่วยส่งเสริมการทำงานของสารกันหืนปฐมภูมิและสารจับกับออกซิเจนให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3 สารกันหืนทุติยภูมิ (secondary antioxidants)

เรียกอีกอย่างว่า preventive antioxidant สารในกลุ่มนี้เช่น thiodipropionic acid และ dilauryl thidipropionate ที่หน้าที่ในการทำให้เปอร์ออกไซด์ของลิปิดแตกตัวและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียร

1.1.4 สารกันหืนอื่นๆ (miscellaneous antioxidant)

สารกันหืนในกลุ่มนี้เช่น flavonoids และกรดอะมิโนที่มีหน้าที่เป็นสารกันหืนปฐมภูมิและสารเสริมฤทธิ์ β - carotene และสารพวก carotenoids ที่ป้องกันการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นต้น

1.2 หน้าที่ของสารกันหืน (Namiki, 1990)

หน้าที่ของสารกันหืนในการป้องกันการเสื่อมเสียสามารถจัดแบ่งตามประสิทธิภาพการทำงานคือ

1.2.1 จับกับกลุ่มอนุมูล (Radical scavenger) โดยให้ไฮโดรเจน (hydrogen donor) หรืออิเล็กตรอน (electron donor)

1.2.2 ทำให้เปอร์ออกไซด์แตกตัว (peroxide decomposer)

1.2.3 กำจัด singlet oxygen (singlet oxygen quencher)

1.2.4 ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibitor)

1.2.5 เป็นสารเสริมฤทธิ์ (synergist) จับกับโลหะหรือเป็นสารเสริมฤทธิ์

การบรรจุแบบสุญญากาศหรือดัดแปลงบรรยากาศ

เป็นการป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากออกซิเจนโดยกำจัดแหล่งออกซิเจน สามารถทำได้โดยบรรจุเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศหรือดัดแปรบรรยากาศโดยผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซออกซิเจน จะช่วยรักษาสีและป้องกันการเกิดกลิ่นหืนได้ดีพอสมควร และยังมีประโยชน์ในด้านจุลินทรีย์ด้วยเช่นในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักที่ทำให้สุกส่วนในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักที่ไม่ได้ผ่านการทำให้สุกเช่นในเบคอนที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เมื่อบรรจุแบบสุญญากาศจะมรประโยชน์ในด้านจุลินทรีย์ และมีความสัมพันธ์เล็กน้อยกับสีและกลิ่นหืน

Okayama (1987) พบว่าการบรรจุเนื้อสันในสด โดยใช้การดัดแปรบรรยากาศให้มีอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซออกซิเจน 20 ต่อ 80 จะรักษาสีได้ดีแต่มีผลต่อค่า TBA เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลีกเลี่ยงสารที่กระตุ้นให้เกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

การควบคุมการเกิดออกซิเดชันในข้อนี้จะคล้ายกับการกำจัดออกซิเจน คือต้องมีการกำจัดหรือลดการปนเปื้อนของสารที่กระตุ้นให้เกิดออกซิเดชัน โดยสารหรือสภาวะที่กระตุ้นให้เกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นคือ

- คลอรีนและสารทำความสะอาดที่มีคลอรีน
- โอโซน (อาจเกิดจากประกายไฟของเครื่องมือที่ใช้เชื่อมโลหะเป็นต้น)
- อิออนโลหะ โดยเฉพาะเหล็กและทองแดง
- อนุมูลอิสระ การโดนแสง โดยเฉพาะแสงอัตราไวโอเลต ซึ่งทำให้เกิดการทำลายสีของเนื้อหมักที่ทำให้สุกและเกิดกลิ่นหืน

2.5 บทบาทของไนเตรตและไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อ (เปรมศิริ , 2545)

ไนไตรท์ (Nitrite : NO_2) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ได้จากกระบวนการไนทริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยแบคทีเรียช่วยเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนไตรท์เป็นไนเตรท

สารไนเตรตและไนไตรท์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ จะใช้ในรูปของเกลือโซเดียมหรือโปแตสเซียม เกลือไนไตรท์เป็นสารที่ทำลายได้ด้วยความร้อน ส่วนเกลือไนเตรตนั้นทนต่อความร้อนได้ดีกว่า แต่ถูกรีดิวส์ไปเป็นไนไตรท์ได้โดยแบคทีเรียบางชนิดเช่น *Micrococcus spp.* (Furia, 1972)

ไนเตรตและไนไตรท์ เป็นสารที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด โดยปฏิกิริยาของกรดไนตรัส (HNO_2) กับกรดอะมิโน มีผลกระทบต่อโครงสร้างของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ไนไตรท์ยังอาจเกิดปฏิกิริยาร่วมกับสารพวกโมโนฟีนอล (mono-phenol) เช่น ไทโรซีน (tyrosine) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังเซลล์จุลินทรีย์ ไนเตรตและไนไตรท์จะทำปฏิกิริยาร่วมกับฮีม (heme) ทำให้มีผลกระทบต่อระบบไซโตโครม (cytochrome system) ของเซลล์ด้วย

Gray และ Randall (1979) รายงานว่าประสิทธิภาพในการยังยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไนไตรท์มากขึ้นเมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และ รายงานว่ามีโซเดียมไนไตรท์ในปริมาณ 100-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Clostridium botulinum* และโซเดียมไนไตรท์ยับยั้งเชื้ออื่นๆได้อีกด้วย เช่น *Salmonella spp.* เป็นต้น

หน้าที่อีกประการหนึ่งของไนเตรตและไนไตรท์ คือการทำให้เกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อ การเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เนื้อเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่าง ๆ หลายขั้นตอน (ภาพที่ 2) กล่าวคือ ไนเตรตและไนไตรท์จะให้ไนตริกออกไซด์ ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบินได้ไนโตรโซไมโอโกลบินสีแดง เมื่อถูกความร้อนในช่วงของการรมควันและการต้มจะเปลี่ยนเป็นไนโตรโซฮีโมโครมที่มีสีแดงซึ่งค่อนข้างคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

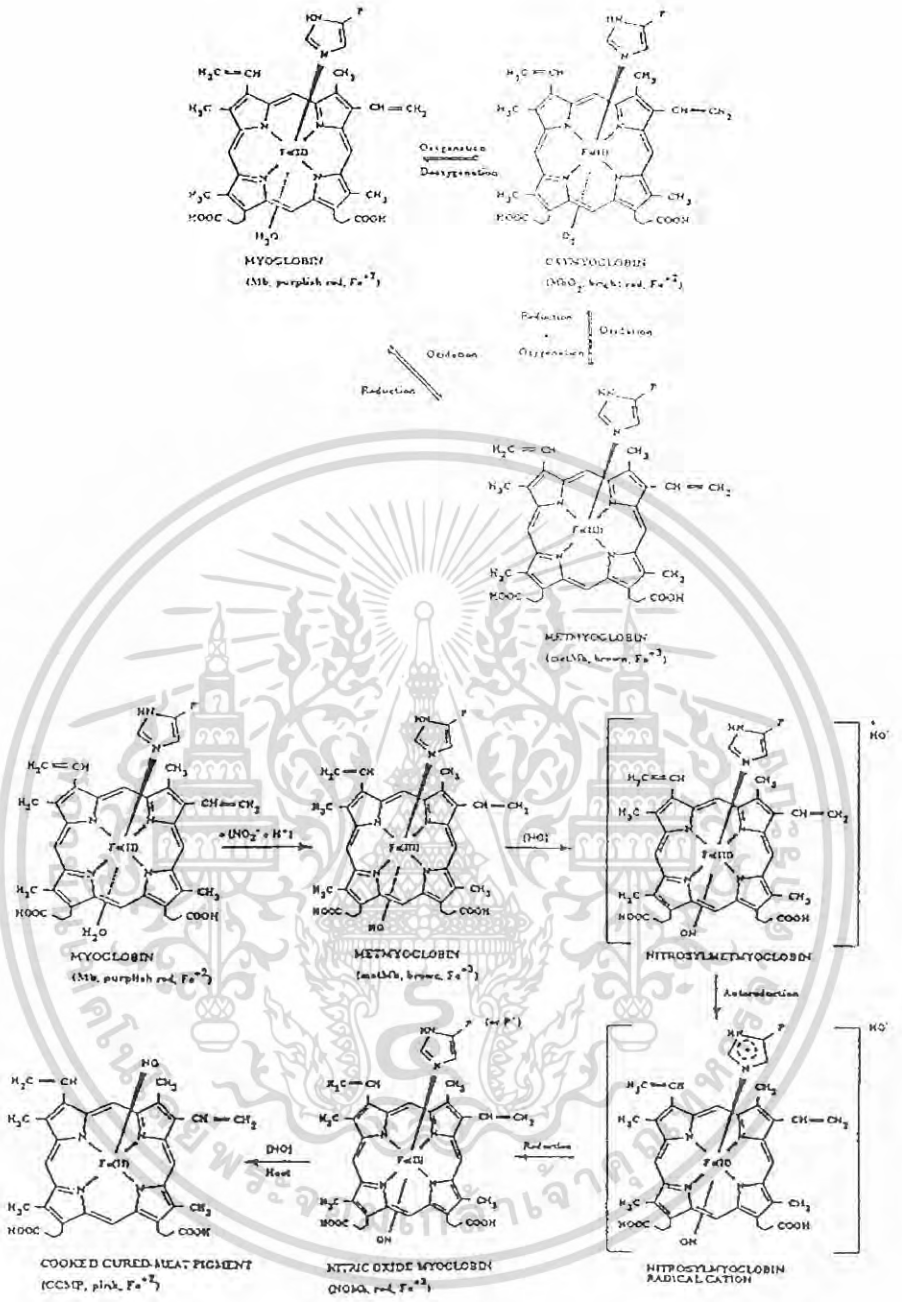
ในผลิตภัณฑ์เนื้อไนไตรท์สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันหรือการเกิด warmed-over flavor (WOF) ได้ ไขมันเป็นตัวสนับสนุนสำคัญในการเกิดกลิ่นรสโดยรวมของอาหาร และกลิ่นที่ไม่น่าพอใจจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น โอเลอิก ลิโนเลอิก และ ลิโนเลนิก (Gray, 1978) สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์เริ่มแรกหลักของปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน และจะสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ off-flavor ได้แก่สารประกอบ hexanal และ pentanal เป็นต้น สารเหล่านี้พบเป็นปริมาณมากในผลิตภัณฑ์เนื้อปรุงสุกที่ผ่านการหมักโดยใช้ไนไตรท์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อนั้นจะถูกเร่งโดยการบด การปรุงสุก ซึ่งทำให้เมมเบรนของเนื้อเยื่อถูกทำลาย (Igene และคณะ, 1979)

และสามารถกำจัด WOF ในเนื้อวัวบดที่ผ่านการปรุงสุก โดยเติมไนไตรท์ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเนื้อ ต่อมา Fooladi และคณะ(1979) ได้ทำการตรวจสอบบทบาทและหน้าที่ของไนไตรท์ในการป้องกันการเกิด WOF ในเนื้อหมู เนื้อไก่ และเนื้อวัวที่ผ่านการปรุงสุก โดยใช้ไนไตรท์ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเนื้อ พบว่าไนไตรท์ยับยั้งการพัฒนาการเกิด WOF ในผลิตภัณฑ์ได้ โดยทำให้ค่า TBA ลดลงถึง 2 เท่าในเนื้อวัวและเนื้อไก่ ส่วนในเนื้อหมูลดลงถึง 5 เท่า และได้มีการพบว่า ไนไตรท์ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แฮมที่อุณหภูมิ $4^{o}C$ โดยค่า off-odor และ off-flavour จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไนไตรท์เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามบทบาทของไนไตรท์ไม่เป็นที่เข้าใจโดยแท้จริง ไนไตรท์นั้นอาจจะทำให้เมมเบรนไขมันมีความเสถียร หรืออาจจะยับยั้งสาร pro-oxidant ในธรรมชาติที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อ (Peason และคณะ,1977)

ไนเตรทและไนไตรท์ถ้าบริโภคในปริมาณมากกว่า 4 กรัมต่อวัน หรือรับประทานครั้งเดียวมากกว่า 1 กรัม จะทำให้เกิดอาการเป็นพิษได้ กล่าวคือ จะทำให้กล้ามเนื้อเรียบคลายตัวโดยเฉพาะหลอดเลือดขนาดเล็ก ทำให้เกิดการระคายต่อกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กและเยื่อบุทางเดินอาหารทำให้เกิดอาการอุจจาระเป็นเลือด หรืออาเจียนเป็นเลือด ถ้าบริโภคมากกว่า 8 กรัมต่อวันจะถึงแก่ความตายได้ ทั้งนี้เพราะไนเตรทและไนไตรท์สามารถรวมตัวกับฮีโมโกลบินเกิดเป็นเมทฮีโมโกลบิน ทำให้การขนถ่ายออกซิเจนของเม็ดเลือดแดงเสียไป นอกจากนี้สารไนเตรทและไนไตรท์ทำให้เกิดสารไนโตรซามีนที่เป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย เนื่องจากความเป็นพิษดังกล่าวทำให้มีการกำจัดปริมาณสารไนเตรทและไนไตรท์ โดยประกาศกระทรวงสาธารณะสุขฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) อนุญาตให้เติมโปแตสเซียมไนเตรทหรือโซเดียมไนเตรท เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียในเนื้อสัตว์ทุกชนิดได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 500 ppm และอนุญาตให้ใช้โปแตสเซียมไนไตรท์หรือโซเดียมไนไตรท์เพื่อกันเสียในเนื้อสัตว์ทุกชนิดได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 125 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

86593



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาทางเคมีของเม็ดสีตั้งแต่จากเนื้อสดจนถึงผลิตภัณฑ์

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bard และ Townsend (1971); Killday และคณะ (1988) ;เปรมศิริ (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สเปกโทรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) (นิพนธ์, 2547)

สเปกโทรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) หรือสเปกโทรเมทรี (Spectrometry) และวิธีสเปกโทรเมทรีเป็นการวัดความเข้มของคลื่นแสงด้วยอุปกรณ์ที่แปลงค่าความเข้มของคลื่นแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (photoelectric transducer) หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic device) อื่นๆ เครื่องมือที่ใช้ทางด้านวิธีสเปกโทรเมทรีเรียกว่า สเปกโทรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer)

หลักการทำงานของเครื่อง Spectrophotometer

เครื่องวัดสีทำงานโดยใช้หลักการของ Spectrophotometry ดังนี้ ให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่อง ตกกระทบบนผิววัสดุ อนุภาคของสีบนผิววัสดุจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมา และถูกบันทึกโดยชุดรับสัญญาณ (Spectrometer) และนำข้อมูลมาประมวลตามการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขตามระบบ CIE (Commission Internationale de I'Eclariage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

3.1.1 หมูแผ่น บริษัท อุตสาหกรรมอาหาร ส.ขอนแก่น จำกัด (มหาชน)

3.1.2 กุนเชียง บริษัท อุตสาหกรรมอาหาร ส.ขอนแก่น จำกัด (มหาชน)

3.1.3 มันฝรั่งทอดกรอบ บริษัท เป๊ปซี่-โคล่า (ไทย) เทรดดิ้ง จำกัด

3.1.4 บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป บริษัทไทยเพรซิเดนท์ฟูดส์ จำกัด (มหาชน)

3.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์

3.2.1 ชุดเครื่องกลั่น

3.2.2 ขวดปริมาตรขนาด 100 มล.

3.2.3 ปิเปตขนาด 5 มล.

3.2.4 หลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10-15 มม. พร้อมฝาเกลียว

3.2.5 ฟาส์กรูปมะเฟือง

3.2.6 กระดาษกรอง Whatman No.1

3.2.7 บุชเนอร์

3.2.8 ซัคชั่นฟาส์ก

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์

3.3.1 เตาหลุม

3.3.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

3.3.3 Spectrophotometer พร้อม Glass cell ขนาด 10 mm.

3.3.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.3.5 Homogenizer

3.3.6 vortex mixer

3.3.7 เครื่อง Vacuum filter

3.3.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง

3.3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สารเคมี

3.4.1 กรดฟอสฟอริก 85%

3.4.2 กรดไทโอบาร์บิทูริค

3.3.3 กรดไฮโดรคลอริค

3.3.4 สารละลายซัลฟานิลาร์ไมด์

3.3.5 กรดอะซีติค

3.3.6 กรดไตรคลอร์โรอะซีติก

3.3.7 น้ำกลั่น

3.5 วิธีการดำเนินงาน

3.5.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างของการทดลองคือ กุนเชียง หมูแผ่น มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เก็บตัวอย่างดังกล่าวในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 °C เพื่อเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันดำเนินไปได้เร็วขึ้น ตรวจวัดการหืนโดยการดมกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์

3.5.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรด (aqueous acid extraction method)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ของมันฝรั่งทอดกรอบ และ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่เตรียมได้จากข้อ 5.1 โดยวิธีการสกัดในกรด ดังต่อไปนี้

1. ชั่งตัวอย่างที่บดหยาบแล้วจำนวน 10 กรัม ใส่ลงในฟาสก์รูปมะเฟือง
2. เติมสารละลายกรดไตรคลอร์โรอะซีติก 20 % ที่ละลายในกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์จำนวน 50 มิลลิลิตร (สารละลายที่ใช้ต้องมีอุณหภูมิ 4 °C)
3. ปั่นผสมตัวอย่างด้วยเครื่อง Homogeniser ที่ความเร็วสูงนาน 1.5 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ใช้กระดาษกรอง Whatman No.1 จนได้ส่วนใสจำนวน 50 มิลลิลิตร
6. ปิเปตส่วนใสที่กรองได้จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย 0.005 โมลาร์ กรดไทโอบาร์บิทูริคจำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex mixer 5 วินาที แล้วเก็บในที่มืดนาน 15 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. คำนวณค่า TBARS จากสูตร

ค่า TBARS number (mg malondialdehyde / kg sample) = 5.2 x absorbance

โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเพื่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไทโอบาบิทูริกกับสารละลายตัวอย่าง ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomize Design) ใช้อุณหภูมิทั้งหมด 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง (33 °C) อุณหภูมิ 60 °C และอุณหภูมิ 90 °C ทำการติดตามวัดค่า TBARS ทุกๆ 1ชั่วโมง จนกว่าจะได้ค่าที่จุดสมดุล นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความแตกต่างด้วย DMRT (Duncan's Multiple Range Test) และโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11.0 เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อวิธีการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยวิธีการสกัดในกรด

3.5.3 ศึกษาผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ของกุนเชียง และหมูแผ่นที่เตรียมได้จากข้อ 5.1 โดยวิธีการกลั่น

1. ชั่งตัวอย่างที่บดหยาบแล้วจำนวน 10 กรัม ใส่ลงในฟาสก์รูปมะเฟืองปั่นกับน้ำกลั่น 96.5มิลลิลิตร นาน 2 นาที
2. ถ่ายตัวอย่างใส่ก้นขวดขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริค 4 โมลาร์จำนวน 1.5 มิลลิลิตรและเติมสารละลายซัลฟานิลาร์ไมด์ 0.5 % ที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริค 20 % จำนวน 2 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปกลั่นจนได้ส่วนใสจำนวน 50 มิลลิลิตร (ใช้เวลา 30-45 นาที)
4. ส่วนใสที่กรองได้จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง แล้วเติมกรดไทโอบาร์บิทูริคจำนวน 0.02 โมลาร์ ที่ละลายใน 90% กรดอะซีติคจำนวน 5 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลอง
5. เขย่าสารละลายและจุ่มลงในอ่างน้ำเดือดนานประมาณ 35 นาที
6. เมื่อครบกำหนดเวลาทำให้เย็นลงภายในเวลา 10 นาที
7. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร
8. คำนวณค่า TBARS จากสูตร

ค่า TBARS number (mg malondialdehyde / kg sample) = 8.1 x absorbance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยศึกษาผลของปริมาณซัลฟานิลาร์ไมด์ โดยการเติมและไม่เติมสารละลายซัลฟานิลาร์ไมด์ นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความแตกต่างด้วย DMRT (Duncan's Multiple Range Test) และโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11.0 เพื่อสรุปหาแนวทางที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดโดยวิธีการกลั่น

3.5.4 ศึกษาวิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

โดยนำตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่เตรียมได้จากวิธีที่ 5.1 มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ ด้วยวิธีการสกัดในกรดและการกลั่น ดังวิธีการที่สรุปได้ในข้อ 5.2 และข้อ 5.3 ตามลำดับ โดยทำการเก็บตัวอย่างจากข้อ 5.1 ทุกๆ 5 วัน

ทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างด้วย DMRT (Duncan's Multiple Range Test) เพื่อหาความเหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

3.6 สถานที่ดำเนินการ

ห้องปฏิบัติการเคมีอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรด

จากตารางที่ 4.1.1 แสดงให้เห็นถึงค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ในเวลาต่างๆกันพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ที่เวลา 1 ชั่วโมงจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงเวลาอื่นๆ ส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ชั่วโมงที่15 นั้นจะมีค่าต่ำสุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ($p<0.05$)กับค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงเวลาอื่นๆเช่นกัน และที่ชั่วโมงที่ 2 , 3 และ 4 มีค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

สำหรับในผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ชั่วโมงที่ 2 และ 15 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ชั่วโมงที่ 1, 3 และ 4 ซึ่งในชั่วโมงที่ 2 จะมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำที่สุด และที่ชั่วโมงที่ 15 มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด ส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ชั่วโมงที่ 1,3 และ 4 นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	มันฝรั่งอบกรอบ(เลย์)	บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป(มาม่า)
1	0.954^{a}	0.411^{ab}
2	0.928^{b}	0.405^{a}
3	0.920^{b}	0.407^{ab}
4	0.917^{b}	0.410^{ab}
15	0.837^{c}	0.414^{b}

อักษรตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1.2 แสดงให้เห็นถึงค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบ ที่นาทีที่ 50 จะมีค่าสูงสุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงเวลาอื่นๆ ส่วนในนาทีที่ 90 ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าต่ำสุด

ค่าการดูดกลืนแสงของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่นาที่ 50 และ 60 จะมีค่าสูงสุด และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงเวลาอื่นๆ ส่วนนาทีที่ 10 ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าต่ำสุด

ตารางที่ 4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	มันฝรั่งอบกรอบ	บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป
10	0.861^{abc}	0.344^{a}
40	0.867^{bcd}	0.369^{bc}
50	0.895^{e}	0.376^{c}
60	0.874^{cd}	0.376^{c}
90	0.848^{ab}	0.368^{b}

อักษรตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.1.3 แสดงให้เห็นถึงค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ณ เวลาต่างๆคือ 5, 30, 40, 50 และ60 นาทีพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และในนาทีที่ 60 ของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	มันฝรั่งอบกรอบ	บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป
5	0.625^{a}	0.722^{a}
30	0.619^{b}	0.446^{b}
40	0.603^{c}	0.455^{c}
50	0.612^{d}	0.325^{d}
60	0.533^{e}	0.288^{e}

อักษรตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าการดูดกลืนสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ สามารถควบคุมได้ง่ายและสะดวกต่อการทดลอง

4.2 ผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียง

4.2.1 ผลิตภัณฑ์หมูแผ่น

จากตารางที่ 4.2.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของหมูแผ่นพบว่าแบบไม่เติมซัลฟานิลาไมด์ ที่เวลาต่างๆจะมีค่าน้อยกว่าค่าการดูดกลืนแสงแบบที่เติมซัลฟานิลาไมด์ และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างถูกเก็บเป็นเวลานานขึ้น

ตารางที่ 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

จำนวนวันในการเก็บตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	
	ไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์	เติมซัลฟานิลาร์ไมด์
0	0.022^{aA}	0.151^{aB}
5	0.114^{bA}	0.287^{bB}
8	0.137^{bcA}	0.286^{bB}
11	0.145^{cA}	0.306^{bB}

อักษรตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p\leq0.05$)
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ในแนวนอนที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p\leq0.05$)

4.2.2 ผลิตภัณฑ์กุนเชียง

จากตารางที่ 4.2.2 แสดงค่าดูดกลืนแสงของกุนเชียง พบว่า แบบที่ไม่เติมและเติมซัลฟานิลาไมด์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และในวันที่ 8 และ 11 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของกุนเชียงแบบเติมซัลฟานิลาไมด์จะมีค่าสูงกว่าแบบที่ไม่เติมซัลฟานิลาไมด์ ค่าการดูดกลืนแสงแบบไม่เติมซัลฟานิลาไมด์ในวันที่ 0 จะมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนวันอื่นๆ ส่วนค่าการดูโกลืนแสงของกุนเชียงแบบเติมซัลฟานิลาไมด์ในวันที่ 0 และ 11 พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนวันอื่นๆ โดยในวันที่ 0 มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด ส่วนในวันที่ 11 มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าการเติมซัลฟานิลาร์ไมด์จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าไม่เติม เนื่องจากมาลอนอัลดีไฮด์จะเกิดปฏิกิริยากับไนไตรท์ในสภาวะเป็นกลาง ที่อุณหภูมิห้อง สารประกอบเชิงซ้อนของ TBA มีความคงตัวในไนไตรท์ การเติมซัลฟานิลาร์ไมด์จึงเพื่อป้องกันการแทรกแซงการทำงานของไนไตรท์ ซัลฟานิลาร์ไมด์จะทำให้ค่า TBA เพิ่มขึ้นในตัวอย่างเนื้อสัตว์ที่มีไนไตรท์ Kolodziejska (1990) รายงานว่าซัลฟานิลาร์ไมด์จะเข้าไปขวางการเกิดปฏิกิริยาของมาลอนอัลดีไฮด์และไนไตรท์ โดยการจับมาลอนอัลดีไฮด์เอาไว้ไม่ให้ไปทำปฏิกิริยากับไนไตรท์เพื่อให้ได้ค่า TBA

ตารางที่ 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

จำนวนวันในการเก็บตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	
	ไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์	เติมซัลฟานิลาร์ไมด์
0	0.229^{aA}	0.142^{aB}
5	0.628^{bA}	0.708^{bB}
8	0.681^{bA}	0.743^{bB}
11	0.679^{bA}	0.786^{cB}

อักษรตัวพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p \leq 0.05$)
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ในแนวนอนที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p \leq 0.05$)

4.3 ผลของวิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

ค่าการดูดกลืนแสงของหมูแผ่น, กุนเชียง, มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในวิธีการกลั่นและการสกัดด้วยกรดนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่ค่าการดูดกลืนแสงของหมูแผ่นและกุนเชียงโดยใช้วิธีการกลั่นจะมีค่าสูงกว่าการสกัดในกรด และค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ในวิธีการสกัดด้วยกรดจะมีค่าสูงกว่าวิธีการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยเปรียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

ผลิตภัณฑ์	ค่าการดูดกลืนแสง	
	การกลั่น	การสกัดในกรด
หมูแผ่น	0.450^{a}	0.357^{b}
กุนเชียง	0.785^{a}	0.386^{b}
มันฝรั่งทอดกรอบ	0.248^{a}	0.664^{b}
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	0.474^{a}	0.699^{b}

อักษรตัวพิมพ์เล็กในแนวนอนที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น95%($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษณี สิทธิโชค. 2543. ผลของสารกันหืน การบรรจุและอุณหภูมิการเก็บต่อคุณภาพไส้กรอกหมู. ปริญญาโท. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิพนธ์ และ คณิตา ตังคณานุรักษ์. 2547. สเปกโทรสโกปีด้านการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์

เปรมศิริ โรจน์สัจจะกุล. 2545. ผลของปริมาณโซเดียมไนไตรท์และเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น Lactobacillus curvatus ต่อการเกิดสารระเหยในแหนม. ปริญญาโท. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริวรรณ เนติวรานนท์ 2544 คู่มือปฏิบัติการเคมีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Allen, J.C. and Hamilton R.J. (1994). Rancidity in Foods. 3rd ed. Chapman & Hall, 290 p.

AOCS. 1990. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, 4 th ed. American Oil Chemists's Champaign,liinois.

Dziezak, J. D. 1986. Innovative separation process finding its way into the food industry. Food Technology. 66-69. [0045] FDA. 1986

Fooladi, M.H., Pearson, A.M.,Coleman, T.H., and Merkel. R.A. (1979) The role of nitrite in preventing development of warmed-over flavor. Food Chem. 4 : 284.

Furia, T.E. (ed.). CRC Handbook of Food Additives. 2nd ed. Cleveland: The Chemical RubberCo.,1972., p. 154]

Gray, JI and ,Randall, CJ The Nitrite /Nitrosamine Problem in Meats: An Update. J Food Prot 42(2), 168-197 (February 1979).

Gray, J. I. 1978. Measurement of lipid oxidation : A review. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 55:539—546

Igene, J. O.; King, J. A.; Pearson, A. M. and Gray, J. I. (1979), Influence of heme pigments, nitrite and non-heme iron on development of warmed-over flavour (WOF) in cooked meat. *J. Agric. Food Chem.*, **27**, 838-842.

Kolodziejska, I., Skonieczny, S. & Rubin, L. J. (1990). J. Food Sci., 55, 925.

Pearson, A. M.; Love, J. D. and Shortland, F. B. (1977), "Warmed-over" flavor in meat, poultry, and fish. *Adv. Food Res.*, **23**, 1-74

S. Raharjo and J. N. Sofos (1992). Methodology for Measuring Malonaldehyde as a Product of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lipid Peroxidation in Muscle Tissues. Departments of Animal Sciences and Food Science and Human Nutrition, Colorado State University, USA.

S. Sakanaka and Y. Tachibana (2004). Active oxygen scavenging activity of egg-yolk protein hydrolysates and their effects on lipid oxidation in beef and tuna homogenates. [Online]. abstract form : http://www.elsevier.com/locate/foodchem.

Williams, J.C., Field, R.A., Miller, G.J., and Welke, R.A. 1983. Evaluation. of TBA methods for determination. of lipid oxidation in red meat

Witte, V. C., Krause, G. F. and Bailey, M. E. 1970. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *J. Food Sci.* 35: 582—585.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลอง กราฟและตารางการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ภาคผนวก ข. รูปภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลผลการทดลอง กราฟและตารางการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.1

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง)

เวลา (ช.ม.)	ซ้ำที่	มันฝรั่งทอดกรอบ			บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป		
		1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	1	0.978	0.974	0.976	0.404	0.407	0.406
	2	0.936	0.933	0.935	0.415	0.421	0.418
	3	0.948	0.956	0.952	0.411	0.409	0.410
2	1	0.947	0.944	0.946	0.407	0.408	0.408
	2	0.912	0.916	0.914	0.403	0.402	0.403
	3	0.923	0.926	0.925	0.404	0.403	0.404
3	1	0.917	0.919	0.918	0.409	0.405	0.407
	2	0.925	0.925	0.925	0.405	0.410	0.408
	3	0.915	0.921	0.918	0.407	0.405	0.406
4	1	0.927	0.923	0.925	0.412	0.412	0.412
	2	0.913	0.910	0.912	0.411	0.413	0.412
	3	0.918	0.913	0.916	0.409	0.404	0.407
15	1	0.850	0.835	0.843	0.413	0.411	0.412
	2	0.828	0.835	0.832	0.411	0.411	0.411
	3	0.835	0.838	0.837	0.420	0.418	0.419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (min)	ซ้ำที่	มันฝรั่งทอดกรอบ			บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป		
		1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
10	1	0.843	0.894	0.869	0.338	0.344	0.341
	2	0.851	0.876	0.864	0.343	0.351	0.347
	3	0.847	0.854	0.851	0.346	0.343	0.345
40	1	0.846	0.855	0.851	0.365	0.366	0.366
	2	0.899	0.890	0.895	0.375	0.374	0.375
	3	0.855	0.852	0.854	0.366	0.366	0.366
50	1	0.894	0.901	0.898	0.379	0.384	0.382
	2	0.892	0.893	0.893	0.368	0.364	0.366
	3	0.896	0.894	0.895	0.378	0.382	0.380
60	1	0.865	0.875	0.870	0.364	0.381	0.373
	2	0.874	0.885	0.880	0.368	0.381	0.375
	3	0.875	0.871	0.873	0.381	0.380	0.381
90	1	0.845	0.847	0.846	0.364	0.368	0.366
	2	0.847	0.854	0.851	0.368	0.366	0.367
	3	0.849	0.845	0.847	0.371	0.368	0.370
110	1	0.883	0.883	0.883	0.405	0.404	0.405
	2	0.880	0.887	0.884	0.409	0.405	0.407
	3	0.893	0.885	0.889	0.411	0.408	0.410
150	1	0.845	0.847	0.846	0.394	0.394	0.394
	2	0.851	0.835	0.843	0.395	0.396	0.396
	3	0.860	0.838	0.849	0.396	0.396	0.396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เวลา (min)	ซ้ำที่	มันฝรั่งทอดกรอบ			บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป		
		1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
5	1	0.628	0.624	0.626	0.714	0.724	0.719
	2	0.618	0.623	0.621	0.724	0.727	0.726
	3	0.628	0.629	0.629	0.720	0.721	0.721
30	1	0.620	0.621	0.621	0.446	0.447	0.447
	2	0.617	0.618	0.618	0.447	0.446	0.447
	3	0.618	0.618	0.618	0.446	0.444	0.445
35	1	0.546	0.538	0.542	0.426	0.426	0.426
	2	0.535	0.534	0.535	0.425	0.426	0.426
	3	0.538	0.536	0.537	0.426	0.430	0.428
40	1	0.602	0.603	0.603	0.458	0.456	0.457
	2	0.604	0.601	0.603	0.453	0.453	0.453
	3	0.603	0.604	0.604	0.456	0.456	0.456
45	1	0.680	0.677	0.679	0.401	0.403	0.402
	2	0.683	0.681	0.682	0.402	0.402	0.402
	3	0.680	0.683	0.682	0.409	0.405	0.407
50	1	0.615	0.615	0.615	0.324	0.321	0.323
	2	0.608	0.610	0.609	0.326	0.326	0.326
	3	0.614	0.609	0.612	0.325	0.326	0.326
55	1	0.569	0.567	0.568	0.376	0.376	0.376
	2	0.567	0.570	0.569	0.375	0.375	0.375
	3	0.567	0.568	0.568	0.375	0.377	0.376
60	1	0.536	0.535	0.536	0.291	0.289	0.290
	2	0.532	0.532	0.532	0.288	0.284	0.286
	3	0.533	0.532	0.533	0.290	0.289	0.290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ผลิตภัณฑ์	จำนวนวัน	ซ้ำที่	ไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์			เติมซัลฟานิลาร์ไมด์		
			1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
หมูแผ่น	0	1	0.020	0.019	0.020	0.145	0.152	0.149
		2	0.029	0.027	0.028	0.152	0.152	0.152
		3	0.019	0.018	0.019	0.151	0.150	0.151
	5	1	0.111	0.112	0.112	0.281	0.281	0.281
		2	0.115	0.115	0.115	0.318	0.319	0.319
		3	0.116	0.116	0.116	0.262	0.262	0.262
	8	1	0.121	0.120	0.121	0.289	0.289	0.289
		2	0.128	0.128	0.128	0.279	0.279	0.279
		3	0.199	0.126	0.163	0.291	0.291	0.291
	11	1	0.163	0.163	0.163	0.291	0.291	0.291
		2	0.144	0.145	0.145	0.316	0.318	0.317
		3	0.128	0.128	0.128	0.310	0.311	0.311

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ผลิตภัณฑ์	จำนวนวัน	ซ้ำที่	ไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์			เติมซัลฟานิลาร์ไมด์		
			1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
กุนเชียง	0	1	0.235	0.234	0.235	0.137	0.138	0.138
		2	0.226	0.229	0.228	0.135	0.136	0.136
		3	0.226	0.221	0.224	0.154	0.150	0.152
	5	1	0.646	0.645	0.646	0.736	0.737	0.737
		2	0.629	0.630	0.630	0.662	0.664	0.663
		3	0.607	0.608	0.608	0.725	0.725	0.725
	8	1	0.673	0.671	0.672	0.742	0.747	0.745
		2	0.683	0.697	0.690	0.730	0.733	0.732
		3	0.681	0.680	0.681	0.748	0.754	0.751
	11	1	0.624	0.626	0.625	0.781	0.785	0.783
		2	0.710	0.752	0.731	0.784	0.786	0.785
		3	0.681	0.682	0.682	0.788	0.790	0.789

หมายเหตุ ผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงมีการทำ Dilution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยเปรียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

ผลิตภัณฑ์	ซ้ำที่	การกลั่น			การสกัดในกรด		
		1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
หมูแผ่น	1	0.462	0.460	0.461	0.355	0.347	0.351
	2	0.440	0.435	0.438	0.357	0.361	0.359
	3	0.451	0.448	0.450	0.359	0.360	0.360
กุนเชียง	1	0.757	0.748	0.753	0.414	0.412	0.413
	2	0.844	0.811	0.828	0.363	0.358	0.361
	3	0.785	0.761	0.773	0.387	0.380	0.384
มันฝรั่งทอดกรอบ	1	0.253	0.250	0.252	0.659	0.659	0.659
	2	0.261	0.256	0.259	0.671	0.674	0.673
	3	0.234	0.232	0.233	0.661	0.658	0.660
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	1	0.496	0.485	0.491	0.708	0.707	0.708
	2	0.467	0.451	0.459	0.697	0.698	0.698
	3	0.474	0.471	0.473	0.690	0.694	0.692

หมายเหตุ ผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงมีการทำ Dilution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ABSORBL	Between Groups	.023	4	.006	37.202	.000
	Within Groups	.002	10	.000		
	Total	.025	14			
ABSORBM	Between Groups	.000	4	.000	2.622	.099
	Within Groups	.000	10	.000		
	Total	.000	14			

ตารางที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ABSORBL	Between Groups	.006	6	.001	9.420	.000
	Within Groups	.001	14	.000		
	Total	.008	20			
ABSORBM	Between Groups	.007	6	.001	61.137	.000
	Within Groups	.000	14	.000		
	Total	.008	20			

ตารางที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ABSORBL	Between Groups	.051	7	.007	1175.842	.000
	Within Groups	.000	16	.000		
	Total	.051	23			
ABSORBM	Between Groups	.362	7	.052	12002.79	.000
	Within Groups	.000	16	.000		
	Total	.362	23			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NOADD	Between Groups	.029	3	.010	45.609	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.030	11			
ADD	Between Groups	.047	3	.016	57.944	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.049	11			

ตารางที่ ก.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NOADD	Between Groups	.429	3	.143	173.767	.000
	Within Groups	.007	8	.001		
	Total	.435	11			
ADD	Between Groups	.829	3	.276	628.827	.000
	Within Groups	.004	8	.000		
	Total	.832	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงโดยเปรียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

Tests of Between-Subjects Effects

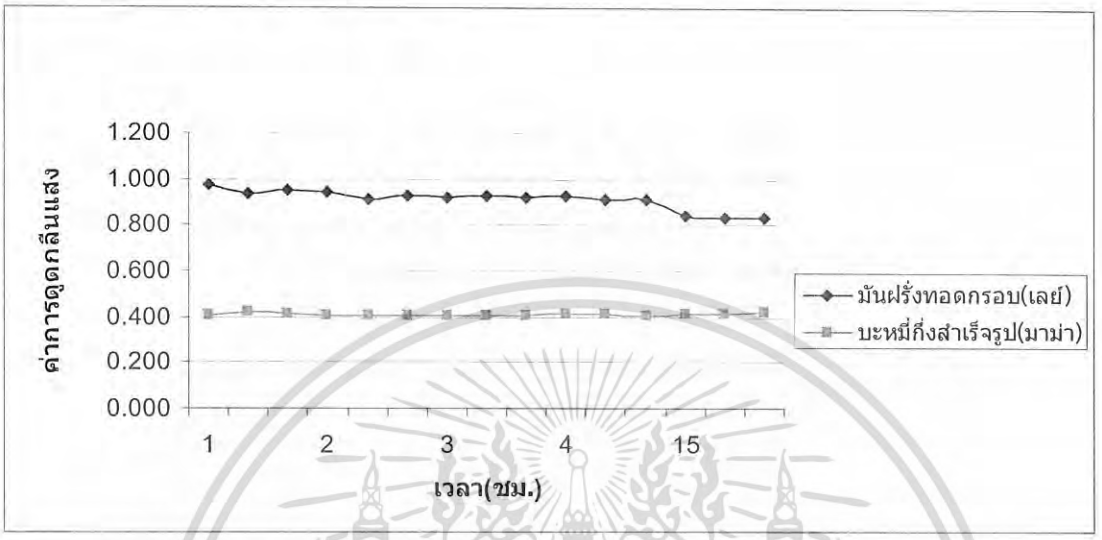
Dependent Variable: ABSORB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.742[a]	7	.106	291.634	.000
Intercept	6.189	1	6.189	17023.53	.000
METHOD	8.363E-03	1	8.363E-03	23.001	.000
TYPE	.155	3	5.178E-02	142.411	.000
METHOD * TYPE	.579	3	.193	530.401	.000
Error	5.817E-03	16	3.636E-04		
Total	6.938	24			
Corrected Total	.748	23			

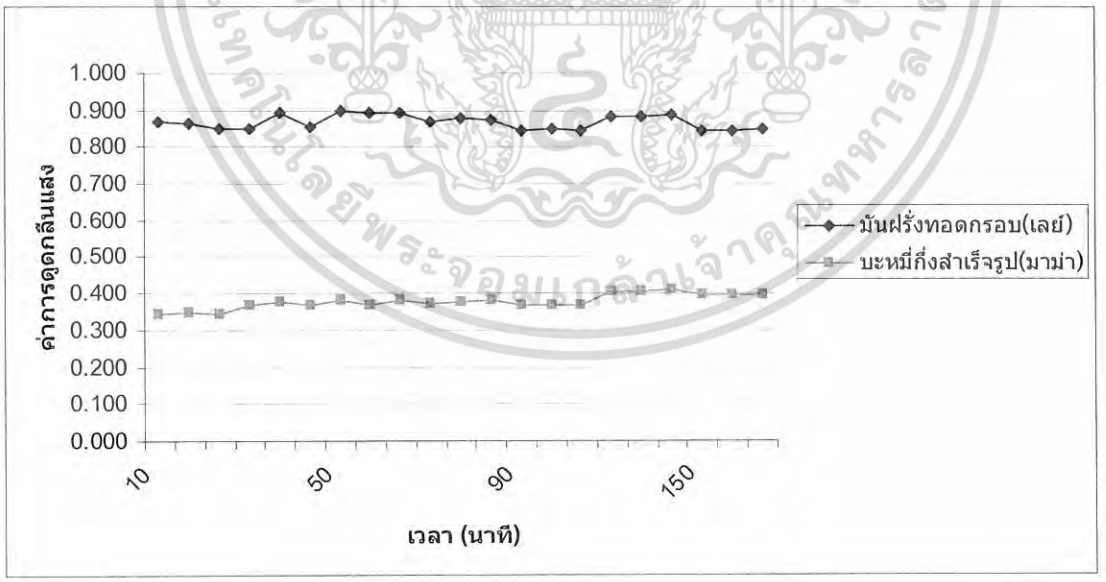
a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

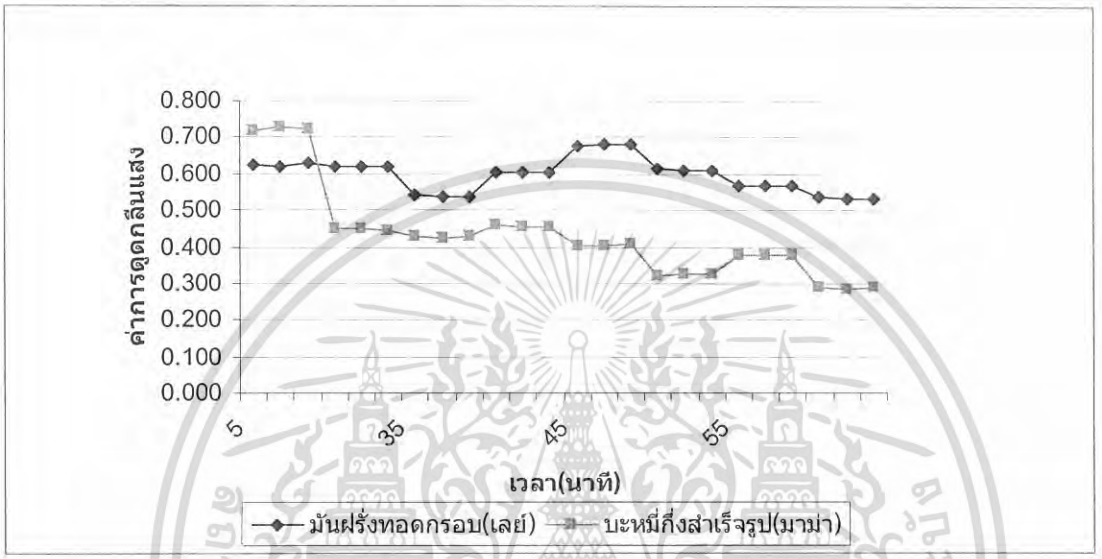


ภาพที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



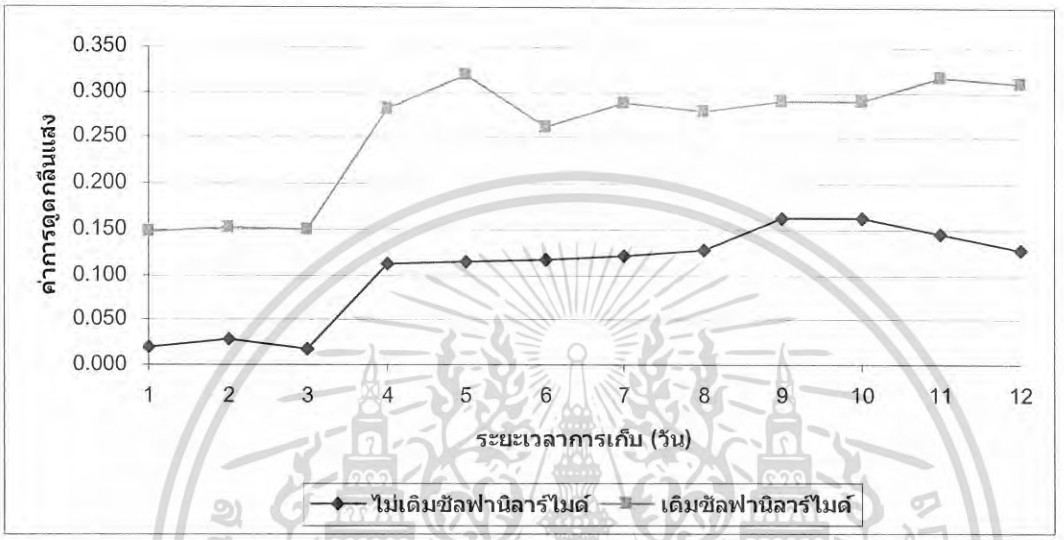
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

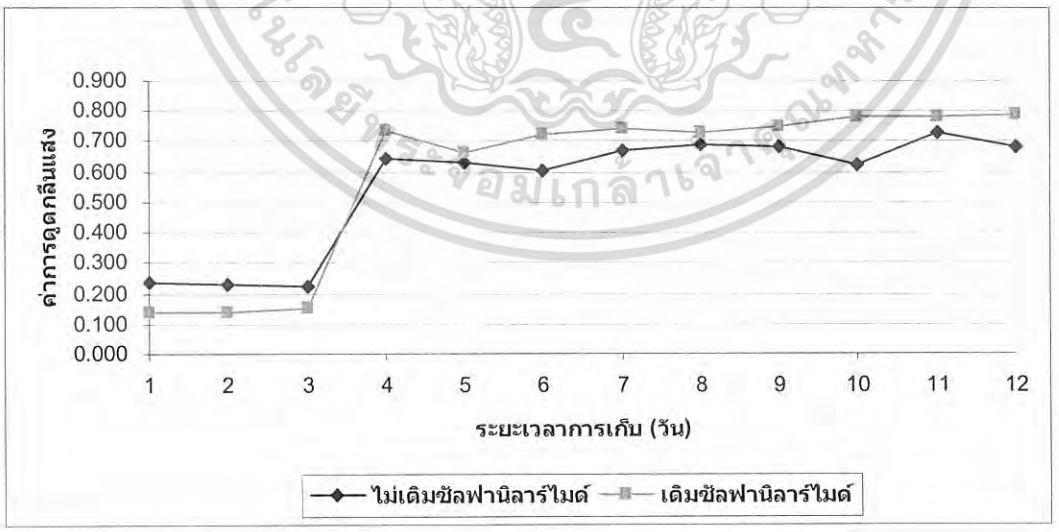


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของหมูแผ่นแบบเติมและไม่เติมซัลฟานิลาไมด์

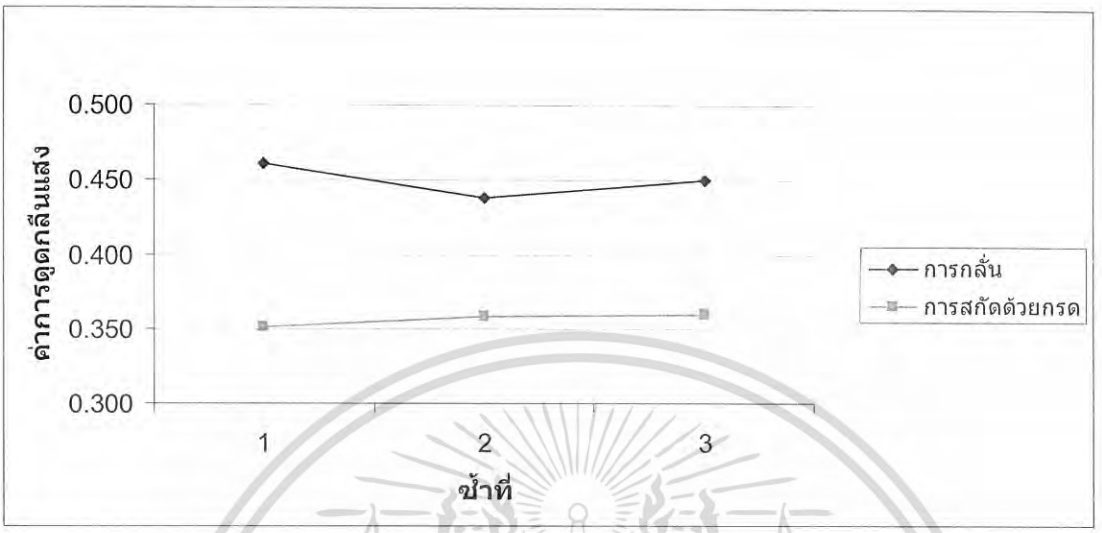


ภาพที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสงของกุนเชียงแบบเติมและไม่เติมซัลฟานิลาไมด์

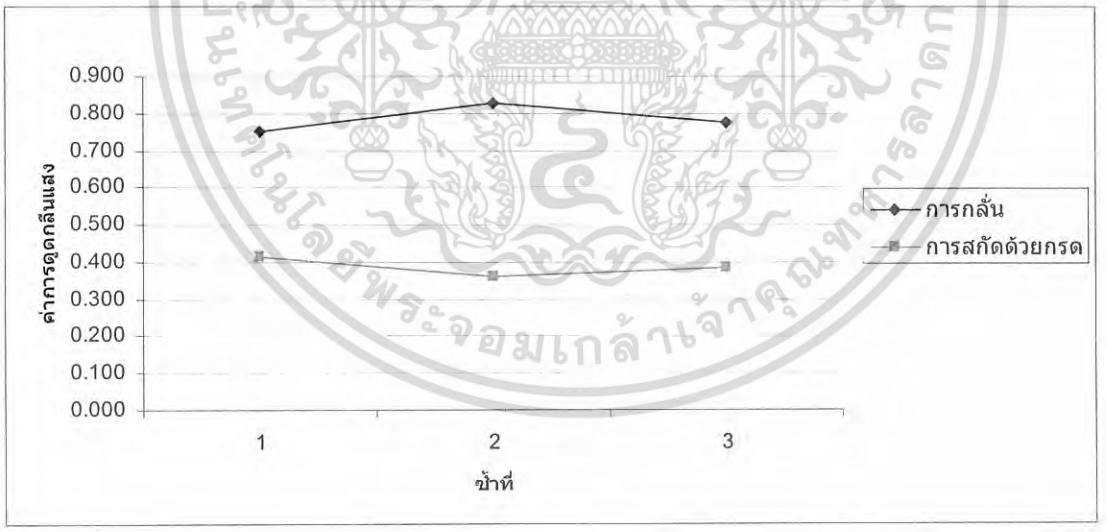


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดของหมูแผ่น

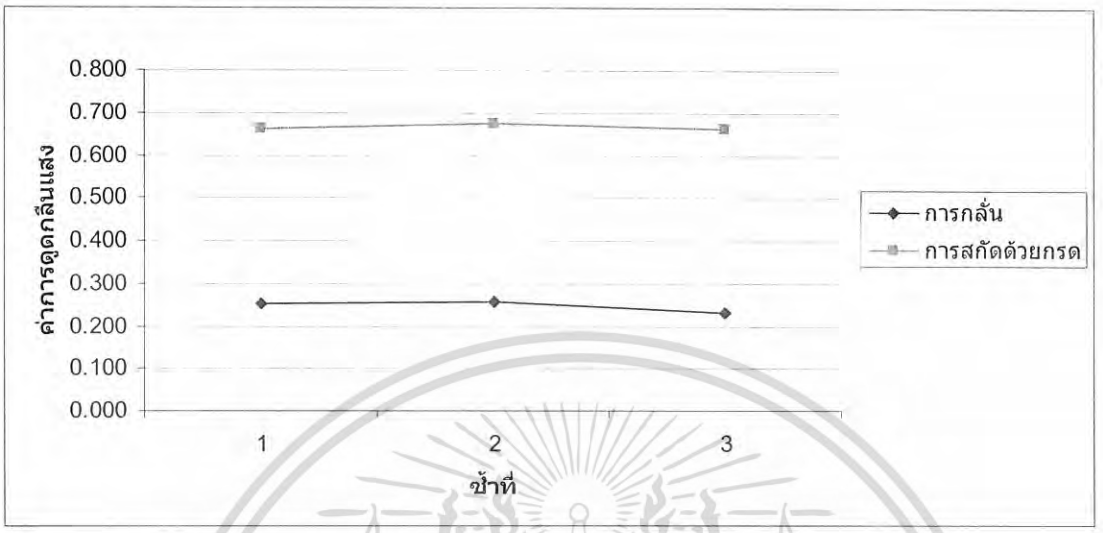


ภาพที่ ก.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดของกุนเชียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดของมันฝรั่งทอดกรอบ

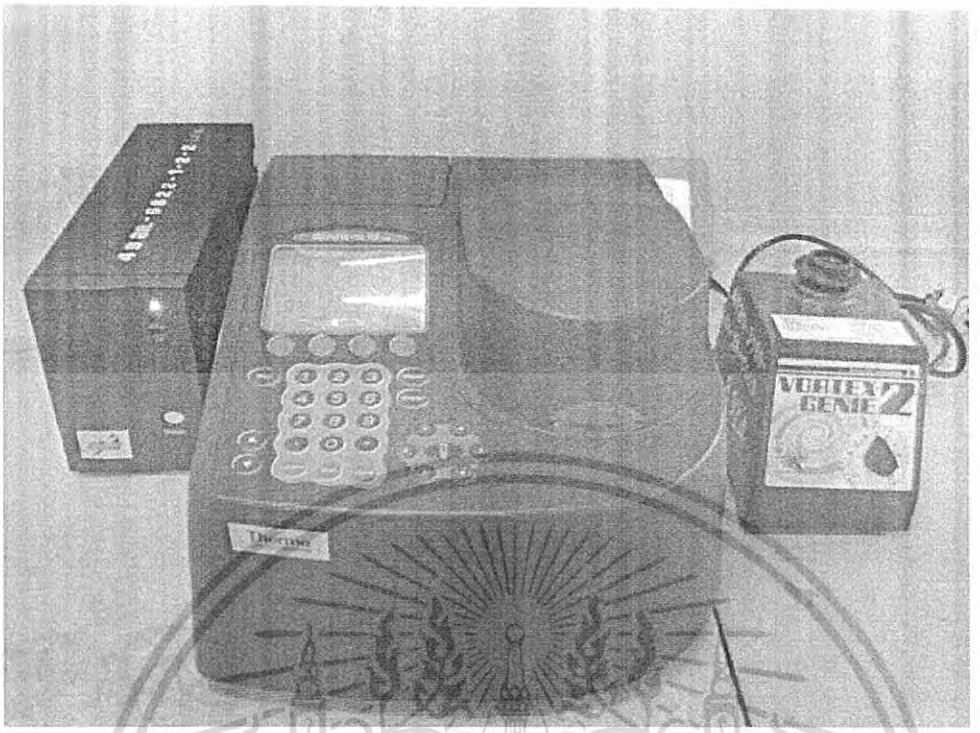


ภาพที่ ก.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

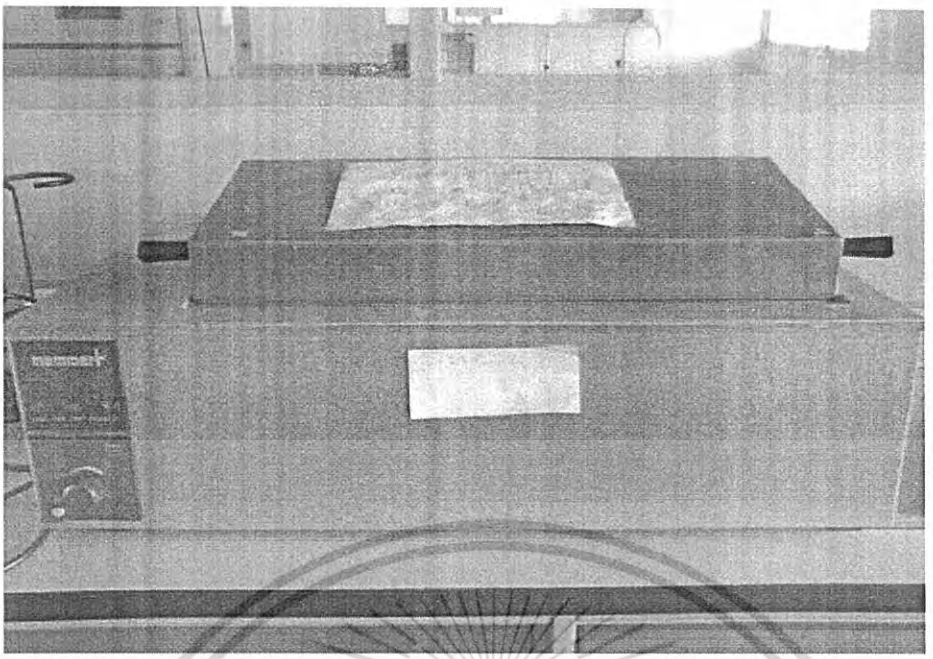
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



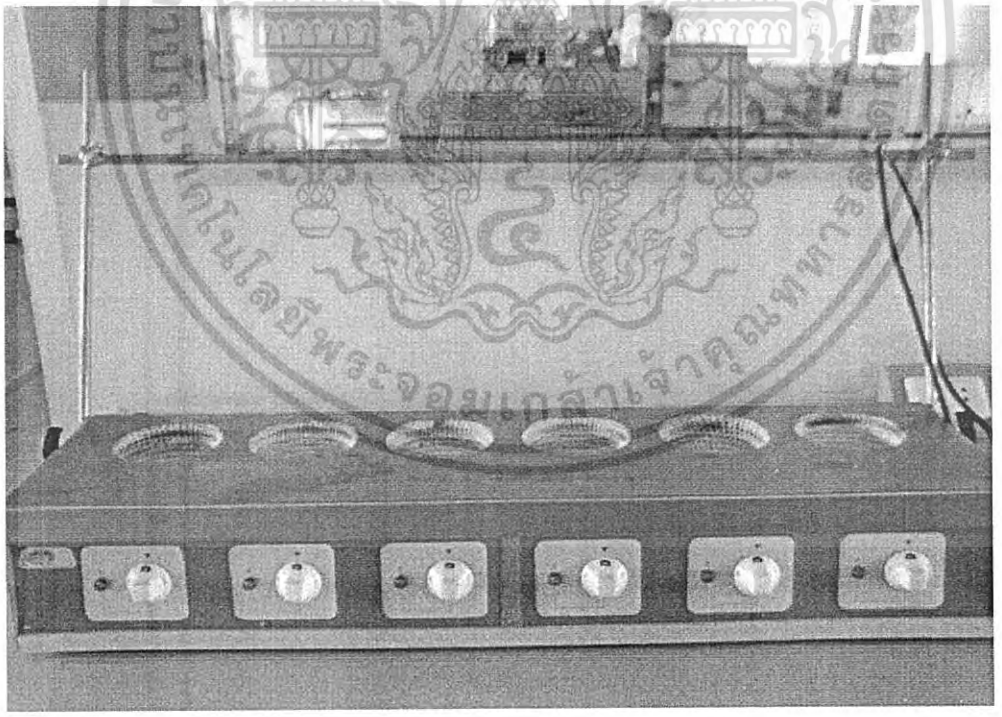
ภาพที่ ข.1 : เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Thermo)

ภาพที่ ข.2 : ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

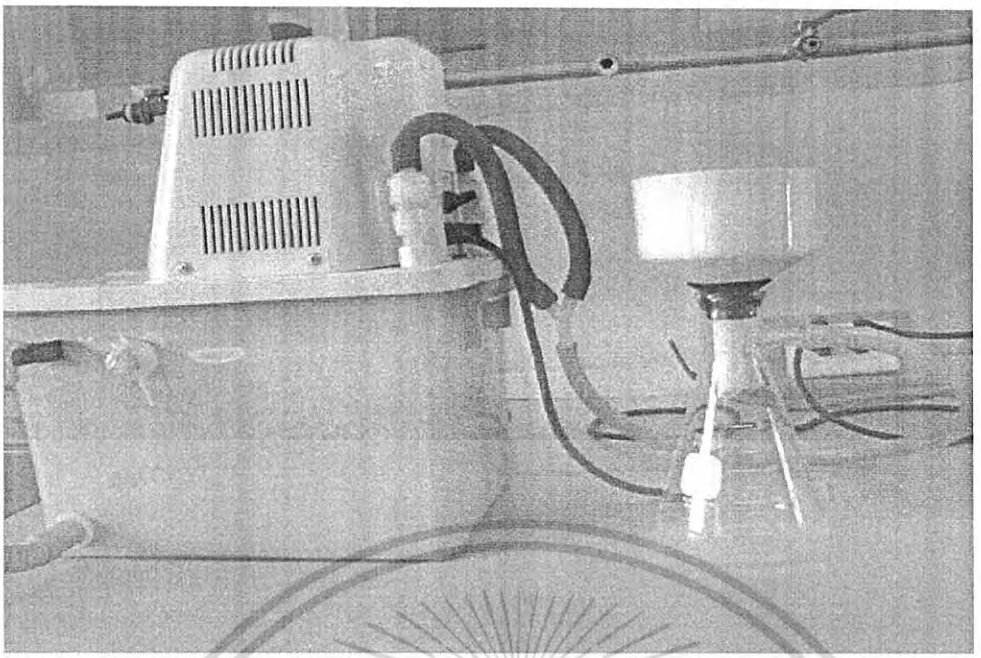


ภาพที่ ข.3 : อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)

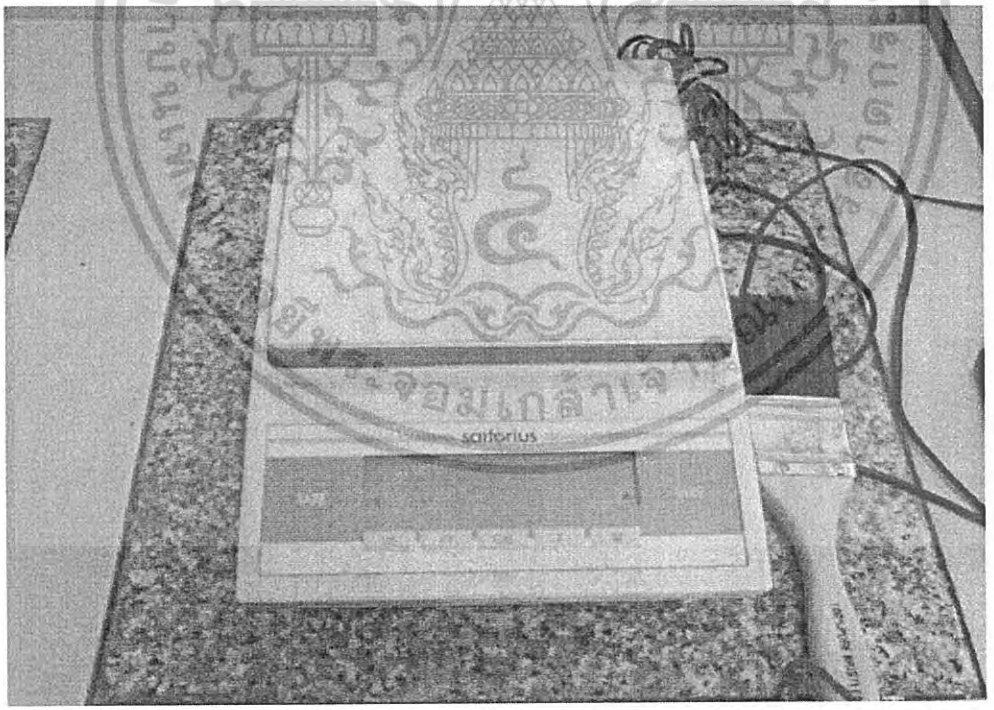


ภาพที่ ข.4 : เตาหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.5 : ชุดเครื่องกรองแบบสุญญากาศ



ภาพที่ ข.6 : เครื่องชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาว ภัทรภร พรมทอง เกิดวันที่ 9 เมษายน 2528 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายสายวิทย์-คณิต จากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549

นางสาว ฐิติมา พิพัฒน์ผลสกุล เกิดวันที่ 4 มีนาคม 2527 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายสายวิทย์-คณิต จากโรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์ ฉะเชิงเทรา และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549

นางสาว ธนาภรณ์ บริสุทธิ์ เกิดวันที่ 11 มีนาคม 2527 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายสายวิทย์-คณิต จากโรงเรียนสงวนหญิง และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป คืออุณหภูมิที่ 33 °C หรือที่อุณหภูมิห้อง

5.2 ซัลฟานิลาร์ไมด์มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น โดยค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่การดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์แบบที่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์มีค่าสูงกว่าการไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

5.3 วิธีการสกัดในกรดเป็นวิธีที่เหมาะสมในการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป และสำหรับผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงนั้น วิธีที่เหมาะสมในการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์คือ วิธีการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทโปรตีนที่มีไนไตรท์เป็นองค์ประกอบ เช่น กุนเชียง หมูแผ่น ไส้กรอก เป็นต้น ควรใช้วิธีการกลั่นโดยการเติมซัลฟานิลาร์ไมด์ในการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์

2. ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทโปรตีนที่ไม่มีไนไตรท์เป็นองค์ประกอบ เช่น ถั่วต่างๆ อาจใช้วิธีการกลั่นโดยการไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์ในการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์

3.การวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งเป็นตัวแทนของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต พบว่าค่าการดูดกลืนแสงด้วยวิธีการสกัดในกรดมีค่ามากกว่าการกลั่นเพียงเล็กน้อย เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ จึงควรศึกษาต่อโดยการการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์กับอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตหลายๆชนิด เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้