สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในอาหารชนิดต่างๆ ด้วยวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

(Quantitative measurement of malonaldehyde in various foods by distillation method and aqueous acid extraction)

โดย

ดร ยุพร พีชักมุทร

RCH
TX
541
ย3475ก

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....83627
วัน,เดือน,ปี.....10 ก.ย. 2551

รายงานผลการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนเงินรายได้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2549

b.11981490
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในอาหารชนิดต่างๆ ด้วยวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด
(Quantitative measurement of malonaldehyde in various foods by distillation method and aqueous acid extraction)
ผู้วิจัย นางยุพร พืชกมุทร
ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2549
หน่วยงานที่สังกัด คณะอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรด ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คืออุณหภูมิ 33 (อุณหภูมิห้อง) 60 และ 90 องศาเซลเซียสในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....ก

สารบัญ .....ข

สารบัญตาราง .....ค

สารบัญรูปภาพ.....ง

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.....8

2.5 บทบาทของไนเตรตและไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อ.....13

2.6 สเปกโทรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry).....14

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 15

3.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 15

3.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์ 15

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ 15

3.4 สารเคมี 16

3.5 วิธีการดำเนินงาน.....16

3.6 สถานที่ดำเนินการ.....18

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....19

4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ 19
โดยวิธีการสกัดในกรด

4.2 ผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์.....22
ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น

4.3 ผลของวิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหาร.....24
ชนิดต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....25

5.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ 25
โดยวิธีการสกัดในกรด

5.2 ผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ 25
ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น

5.3 วิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆ 25
โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

ข้อเสนอแนะ.....26

บรรณานุกรม 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....19
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ปฏิกิริยาดำเนินที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็น
ระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....20
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ปฏิกิริยาดำเนินที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น
ระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ.....21
และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ปฏิกิริยาดำเนินที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็น
ระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่น โดย.....22
เปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ตารางที่ 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียง โดย.....23
เปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

ตารางที่ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยเปรียบระหว่างวิธีการกลั่น.....24
และการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง thiobarbituric acid และ malonaldehyde.....11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 (fry life) 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 การหืน (Rancidity)

การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบดังนี้ (นิธิยา , 2545)

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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และน้ำมัน ถ้าค่า A.V. สูง แสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมากแสดงว่าเกิดการหืนมาก

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

ปฏิกิริยาการเกิด peroxide linkage ดังสมการ

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

การเกิดการหืนโดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วยและยังทำลายพวกวิตามินต่างๆที่ละลายในไขมันและน้ำมันได้อีกด้วย

การหืนที่เกิดโดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นนี้ยังอาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีเอนไซม์ลิพอกซิเดส (lipoxidase) ช่วยเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเป็น enzymatic oxidation

ไขมันและน้ำมันที่เกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชัน จะมีค่า I.N. ลดต่ำลง การตรวจวิเคราะห์ว่าไขมันและน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชั่นมากน้อยเท่าใด 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 แสดงว่าน้ำมันหรือไขมันเกิดการหืนเนื่องากออกซิเดชั่นมาก และค่า I.N. ที่วิเคราะห์ที่ได้จะต่ำกว่าค่าที่เป็นจริง

การเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชัน ยังทดสอบได้โดยใช้ Kreis test คือปฏิกิริยาของ Kreis reagent ซึ่งเป็นสารละลาย phloroglucinol กับไขมันหรือน้ำมันที่ถูกออกซิไดส์ในภาวะที่เป็นกรดจะทำให้เกิดสีแดง

ค. Ketonic rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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

$$R-\overset{H}{\overset{|}{C}}=\overset{H}{\overset{|}{C}}-R' + O_2 \longrightarrow R-\overset{H}{\overset{|}{C}}-\overset{H}{\overset{|}{C}}.-R'$$
$$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad O-O.$$

หลังจากนั้นก็จะเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กรดไขมันที่อยู่ในรูปซิสไอโซเมอร์ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเก็บนานขึ้นทำให้ค่า TBA และปริมาณเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากๆ ทำให้การละลายของออกซิเจนลดลงจึงเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงได้

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

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 เนื่องจากอิออนเหล็กที่เติมส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยากับโปรตีนจึงเป็นการป้องกันไม่ให้อิออนเหล็กเกิดปฏิกิริยากับลิปิดและป้องกันปฏิกิริยาที่อิออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเป็นตัวเร่งให้เกิดออกซิเดชัน ส่วนโซเดียมคลอไรด์จะมีผลกับปฏิกิริยาระหว่างอิออนเหล็กกับโปรตีนทำให้เกิดอิออนเหล็กอิสระขึ้นจำนวนมาก จึงเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

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 (Govindarajan และ Hultin, 1977)

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

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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวัดและการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กฤษณี, 2543)

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

วิธีการตรวจสอบการเกิดลิพิดออกซิเดชัน

การเกิดลิพิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อน และมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีของลิพิด การตรวจสอบเพื่อวัดการเกิดออกซิเดชันของลิพิดทำได้หลายวิธี ตัวอย่าง ได้แก่ (Allen และคณะ, 1994)

ก. การหาค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

เพอร์ออกไซด์เป็นโปรดักต์แรกของการเกิดออโตออกซิเดชัน ซึ่งวัดปริมาณที่เกิดขึ้นได้โดยใช้ความสามารถของเพอร์ออกไซด์ ที่จะทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ได้เป็นไอโอดีน แล้วหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นโดยการไตเตรชันหรือไอโอดิเมตรี (iodimetry)

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

หรือออกซิไดส์เฟอร์รัสไอออนให้เป็นเฟอร์ริกไอออน โดยวิธีไทโอไซยาเนต

ค่าเพอร์ออกไซด์ หมายถึง มิลลิสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมของไขมันหรือน้ำมัน ระหว่างการเกิดออกซิเดชันค่าเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดต่ำลง

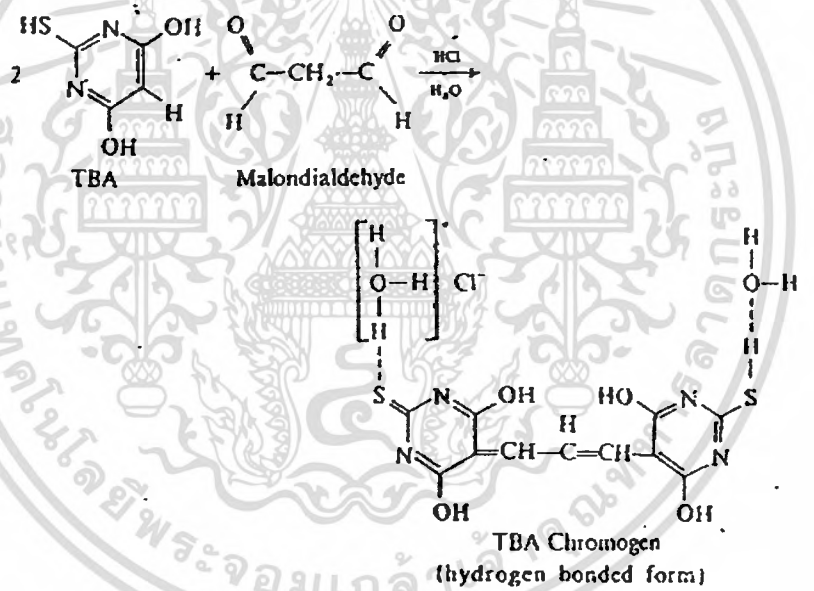
ข. การทดสอบกรดไทโอบาบิทูริก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

thiobarbituric acid (TBA) กับ malonaldehyde ด้วย spectrophotometer 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 ต้องเลือกความยาวคลื่นที่เห็นความแตกต่างของสารสีแดงจากปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน 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



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

วิธีพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบมาลอนอัลดีไฮด์มี 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 จากนั้นนำตัวอย่างไปกลั่นจนได้ส่วนใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน 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

ค. direct gas chromatography

การวัดปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิของปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถใช้วิธี gas chromatography ได้โดยกลุ่มไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอลกฮอล์ด้วยโซเดียมโบโลไฮไดรด์ (sodium borohydride) และอะซีติกคลอไรด์ (acetyl chloride) เกิดปฏิกิริยา methylation ได้ methyl ester ความไวของการวิเคราะห์เพิ่มขึ้นโดยการใช้ pentafluorobenzyl ester แทน methyl ester และใช้ electrolytic conductivity เป็นตัววัดค่า

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (กฤษณี, 2543)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กฤษณี, 2543)

1 การใช้สารกันหืน (antioxidant)

สารกันหืนตามความหมายของ FDA คือสารที่ใช้รักษาอาหาร โดยชะลอการเสื่อมเสีย การหืน หรือสูญเสียสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

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 โดยสารกลุ่มนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไขมันหรือยับยั้งในขั้นโพรพาเกชัน โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลเปอร์ออกซีหรืออนุมูลอัลโคซีดังสมการที่ (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 นอกจากนี้กรดแอดคอร์บิกและแอสคอุร์บิวพามิเตท ยังส่งเสริมการทำงานของสารกันหืนปฐมภูมิโดยเฉพาะโทโคเฟอร์รอล (tocohherols)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารจับกับโลหะเช่น ethylenediaminetetraacetic acid, กรดซิตริกและฟอสเฟต ตัวมันเองไม่ใช่สารกันหืน แต่ช่วยส่งเสริมการทำงานของสารกันหืนปฐมภูมิและสารจับกับออกซิเจนให้ดียิ่งขึ้น

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลีกเลี่ยงสารที่กระตุ้นให้เกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

การควบคุมการเกิดออกซิเดชันในข้อนี้จะคล้ายกับการกำจัดออกซิเจน คือต้องมีการกำจัดหรือลดการปนเปื้อนของสารที่กระตุ้นให้เกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นคือ

- 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

หน้าที่อีกประการหนึ่งของไนเตรตและไนไตรท์ คือการทำให้เกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อ การเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เนื้อเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่าง ๆ หลายขั้นตอน กล่าวคือ ไนเตรตและไนไตรท์จะให้ไนตริกออกไซด์ ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบินได้ไนโตรโซไมโอโกลบินสีแดง เมื่อถูกความร้อนในช่วงของการรมควันและการต้มจะเปลี่ยนเป็นไนโตรโซฮีโมโครมที่มีสีแดงซึ่งค่อนข้างคงตัว

ในผลิตภัณฑ์เนื้อไนไตรท์สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันหรือการเกิด warmed-over flavor (WOF) ได้ ไขมันเป็นตัวสนับสนุนสำคัญในการเกิดกลิ่นรสโดยรวมของอาหาร และกลิ่นที่ไม่น่าพอใจจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น โอเลอิก ลิโนเลอิก และ ลิโนเลนิก (Gray, 1978) สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์เริ่มแรกหลักของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน และจะสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ off-flavor ได้แก่สารประกอบ hexanal และ pentanal เป็นต้น สารเหล่านี้พบเป็นปริมาณมากในผลิตภัณฑ์เนื้อปรุงสุกที่ผ่านการหมักโดยใช้ไนไตรท์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อนั้นจะถูกเร่งโดยการบด การปรุงสุก ซึ่งทำให้เมมเบรนของเนื้อเยื่อถูกทำลาย

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

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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 เพื่อเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ดำเนินไปได้เร็วขึ้น 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 แล้วเก็บในที่มืด. ที่อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนด
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

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 ศึกษาผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น

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

83627

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรด

จากตารางที่ 4.1.1 แสดงให้เห็นถึงผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ 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 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับค่าการดูดกลืนแสงที่ชั่วโมงที่ 1 และ 5 จะเห็นว่าการเพิ่มเวลา จาก 1 ชม ไม่ได้ทำให้ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ที่วิเคราะห์ได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ปฏิกิริยาดำเนินที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) เป็นระยะเวลาต่างๆ

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%($p\leq0.05$)

^ ค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1.2 แสดงให้เห็นถึงผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ ในเวลาต่างๆกัน พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบ 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 ที่ปฏิกิริยาดำเนินที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาต่างๆ

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%($p\leq0.05$)

^ ค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์

จากตารางที่ 4.1.3 แสดงให้เห็นถึงผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ ในเวลาต่างๆกัน พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ณ เวลาต่างๆคือ 5, 30, 40, 50 และ60 นาทีพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และในนาทีที่ 60 ของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงต่ำที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยวิธีการสกัดในกรดจะเลือกการใช้อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสองศาเซลเซียสองศาเซลเซียสและเวลา 1 ชม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่ปฏิกิริยาดำเนินที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง [A]	
	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%($p \leq 0.05$)

[A] ค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์

จากผลอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าการดูดกลืนสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ สามารถควบคุมได้ง่ายและสะดวกต่อการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของซัลฟานิลาร์ไมด์ที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงโดยวิธีการกลั่น

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

จากการทดลองพบว่าการเติมซัลฟานิลาร์ไมด์จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าไม่เติม เนื่องจากมาลอนอัลดีไฮด์จะเกิดปฏิกิริยากับไนไตรท์ในสภาวะเป็นกลาง ที่อุณหภูมิห้อง สารประกอบเชิงซ้อนของ TBA มีความคงตัวในไนไตรท์ การเติมซัลฟานิลาร์ไมด์จึงเพื่อป้องกันการแทรกแซงการทำงานของไนไตรท์ ซัลฟานิลาร์ไมด์จะทำให้ค่า TBA เพิ่มขึ้นในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อสัตว์ที่มีไนไตรท์ Kołodziejska (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%($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของวิธีการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในอาหารชนิดต่างๆโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรด

ค่าการดูดกลืนแสงของหมูแผ่น, กุนเชียง, มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ตรวจด้วยวิธีการกลั่นและการสกัดด้วยกรดนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.3.1) โดยที่ค่าการดูดกลืนแสงของหมูแผ่นและกุนเชียงโดยใช้วิธีการกลั่นจะมีค่าสูงกว่าการสกัดในกรด และค่าการดูดกลืนแสงของมันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ในวิธีการสกัดด้วยกรดจะมีค่าสูงกว่าวิธีการกลั่น

ตารางที่ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์โดยเปรียบระหว่างวิธีการกลั่นและการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

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%($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ โดยวิธีการสกัดในกรดในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป คืออุณหภูมิที่ 33 °C หรือที่อุณหภูมิห้อง

5.2 ในวิธีการกลั่น ซัลฟานิลาร์ไมด์มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์กุนเชียงและหมูแผ่น โดยค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เติมและไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่การดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์แบบที่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์มีค่าสูงกว่าการไม่เติมซัลฟานิลาร์ไมด์

5.3 วิธีการสกัดในกรดเป็นวิธีที่เหมาะสมในการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป และสำหรับผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงนั้น วิธีที่เหมาะสมในการตรวจสอบมาลอนอัลดีไฮด์คือ วิธีการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งเป็นตัวแทนของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต พบว่าค่าการดูดกลืนแสงด้วยวิธีการสกัดในกรดมีค่ามากกว่าการกลั่นเพียงเล็กน้อย เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์ จึงควรศึกษาต่อโดยการการวิเคราะห์หาปริมาณมาลอนอัลดีไฮด์กับอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตหลายๆชนิด เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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. 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.

S. Raharjo and J. N. Sofos (1992). Methodology for Measuring Malonaldehyde as a Product of Lipid Peroxidation in Muscle Tissues. Departments of Animal Sciences and Food Science and Human Nutrition, Colorado State University, USA.

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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้