



ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC 40.1.04, 1995)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1.1 ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา
- 1.1.2 ตู้อบลมร้อน
- 1.1.3 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 1.1.4 โถดูดความชื้น

1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ผ่านการอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่ แล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.2.2 ตักตัวอย่างใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมประมาณ 2 กรัม เกลี่ยให้ตัวอย่างแผ่ ด้วยความสม่ำเสมอ แล้วปิดฝา บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.2.3 วางตัวอย่างในตู้อบลมร้อนโดยเปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมบางส่วนอบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงหรือจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

1.2.4 เมื่อครบเวลา ปิดฝาด้วย แล้วนำตัวอย่างใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

1.2.5 คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธีซอล์เกลต (AOAC 40.1.05, 1995)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1.1 ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (BÜCHI, B-810)
- 2.1.2 ขวดกั่นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.1.3 ตู้อบลมร้อน

2.1.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.1.5 โถดูดความชื้น

2.2 สารเคมี

2.2.1 ปีโตรเลียมอีเทอร์

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 อบขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร โดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_1)

2.3.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (W) ใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำไปใส่ในทิมเบอร์กระดาษ (cellulose thimber) ปิดด้วยล้าลี แล้วใส่ลงในชุดสกัดซอล์กเลต

2.3.3 สกัดโดยใช้ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) ตามเวลาที่กำหนด (ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันในตัวอย่าง) เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ระบายปีโตรเลียมอีเทอร์ออกจากตัวอย่าง

2.3.4 นำขวดก้นกลมที่มีไขมันเหลืออยู่ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

2.3.5 คำนวณปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ร้อยละของไขมัน} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักขวดก้นกลมก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักขวดก้นกลมและไขมันหลังอบ (กรัม)

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเคลดาล์ (AOAC 40.1.06, 1995)

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 ชุดย่อยโปรตีน (Digestion unit model: BÜCHI, B-435)

3.1.2 ชุดดักจับไอน์กรด (Scrubber model: BÜCHI, B-414)

3.1.3 ชุดกลั่นอัดโนมิติ (Distillation Unit model: BÜCHI, B-323)

3.1.4 หลอด Kjeldahl

3.1.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.6 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมี

3.2.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 98

3.2.2 สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

3.2.3 ซิลิเนียม

3.2.4 สารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2

3.2.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 32

3.2.6 อินดิเคเตอร์สมระหว่าง methyl red และ methylene blue

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ลงในหลอด Kjeldahl เติมซิลิเนียมลงไป 3 กรัม จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 98 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3.3.2 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดย่อยโปรตีน ย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายสีทึบไว้ให้เย็นและไม่มีไอระเหยของกรด

3.3.3 กลั่นตัวอย่างที่ย่อยด้วยเครื่อง distillation unit โดยเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 มิลลิลิตร เก็บส่วนที่กลั่นได้ในสารละลายบอริกเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์สมอยู่ ก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นถูกควบแน่นจนหมดได้ปริมาณสารละลายในบอริกประมาณ 200 มิลลิลิตร

3.3.4 ทำการไทเทรตส่วนที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้จุดยุติสีส้ม บันทึกปริมาตรที่ไทเทรตได้

3.3.5 ทำ blank โดยใช้สารละลายต่างๆ ในปริมาณเท่าๆ กัน เช่นเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง

3.3.6 คำนวณปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ร้อยละไนโตรเจน} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times f \times 1400}{E}$$

$$\text{ร้อยละโปรตีน} = \text{ร้อยละไนโตรเจน} \times F$$

เมื่อ V_1 = ปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

V_2 = ปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต blank

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต (0.1 นอร์มอล)

f = factor of acid = 1

E = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

F = conversion factor = 6.25

4. การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC 40.1.07, 1995)

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 ชุดวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (LABCONCO, 266853)

4.1.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.1.3 ตู้อบลมร้อน

4.1.4 เตาเผา (FISHER, 10-650-126)

4.1.5 โถดูดความชื้น

4.1.6 ครุชีเบล

4.2 สารเคมี

4.2.1 สารละลายกรดซัลฟูริก 0.128 โมล

4.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.223 โมล

4.2.3 น้ำ DI

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (W) ลงในครุชีเบล จากนั้นวางในตำแหน่งที่บรรจุ fritted crucible ของเครื่อง Fibertec hot extraction unit

4.3.2 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 0.223 โมล ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดปล่อยสารละลายกรดซัลฟูริกออกจากคอลัมน์ ล้างกรดออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเดือด

4.3.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.128 โมล ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปล่อยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากคอลัมน์ ล้างด่างออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเดือด

4.3.4 นำ fritted crucible พร้อมตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยกรดและด่างไปอบที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จะได้น้ำหนัก fritted crucible รวมกับกาก (W_1)

4.3.5 นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนได้เถ้า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จะได้น้ำหนัก fritted crucible รวมกับเถ้า (W_2)

4.3.6 คำนวณปริมาณเยื่อใยจากสูตร

$$\text{ร้อยละของเยื่อใย} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_1 = น้ำหนัก fritted crucible รวมกับกาก (กรัม)

W_2 = น้ำหนัก fritted crucible รวมกับเถ้า (กรัม)

5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC 40.1.08, 1995)

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

5.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ

5.1.2 เตาเผา (FISHER, 10-650-126)

5.1.3 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

5.1.4 โถดูดความชื้น

5.1.5 Hot plate

5.2 วิธีการทดลอง

5.2.1 เมาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความร้อน ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W)

5.2.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม (W_1) ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ นำไปเผาบน hot plate จนหมดควัน แล้วนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

5.2.3 คำนวณปริมาณเถ้าในตัวอย่างได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

6. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (AOAC 965.33, 1990)

หลักการ

ในระหว่างการเก็บรักษาไขมันและน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น รส ที่ไม่ต้องการ เรียกว่า เหม็นหืน (rancidity) การเหม็นหืนที่เกิดขึ้นกับไขมันหรือน้ำมันส่วนใหญ่เกิดจาก oxidative rancidity ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ โดยมีความร้อน แสง ความชื้น และโลหะพวกเหล็กและทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์

เปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไม่อยู่ตัวจึงสลายต่อไปเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ และกรด ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนที่ไม่ต้องการ แม้ว่าเปอร์ออกไซด์ไม่ใช่ตัวที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนโดยตรง เนื่องจากเปอร์ออกไซด์ไม่มีกลิ่น รส แต่ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นก็เป็นประโยชน์ในการประเมินหาการเสื่อมเสียของไขมันและน้ำมัน

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างไขมันหรือน้ำมัน เปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นช้าๆ ในระยะแรกของการเก็บรักษา ซึ่งอาจใช้เวลา 2-3 สัปดาห์ หรือ 2-3 เดือน ขึ้นอยู่กับชนิดของไขมันและน้ำมัน และสภาพการเก็บรักษา

ค่าเปอร์ออกไซด์สามารถวิเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide, KI) กับพันธะออกซิเจน (bound oxygen) ทำให้เกิดไอโอดีนขึ้น ซึ่งสามารถไตเตรตหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

6.1 อุปกรณ์

6.1.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

6.1.2 กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร

6.1.3 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

6.1.4 ปีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

6.1.5 ปีเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร

6.1.6 ลูกยาง

6.2 สารเคมี

6.2.1 สารละลายกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3 : 2

6.2.2 สารละลายอิมัลชันโพแตสเซียมไอโอไดด์

6.2.3 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล

6.2.4 น้ำแป้ง ความเข้มข้นร้อยละ 1

6.3 วิธีการทดลอง

6.3.1 ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

6.3.2 เติมสารละลายกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3 : 2 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

6.3.3 เติมสารละลายอิมัลชันโพแตสเซียมไอโอไดด์ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 1 นาที โดยมีการเขย่าเป็นบางครั้ง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร

6.3.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายสีเหลืองจางหายไป แล้วเติมน้ำแป้งสุกความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ไตเตรตต่อจนสารละลายสีน้ำเงินหมดไป

6.3.5 เตรียมและไตเตรตแบลงค์เช่นเดียวกับข้อ 2-4

6.3.6 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์จากสูตร

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์ (Meg/Kg)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{W}$$

เมื่อ S = ปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต

ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต

แบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (0.01 นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

7. การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid content) (AOAC 940.28, 1990)

หลักการ

ค่ากรด (acid value) ของไขมันคือ จำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับกรดอิสระที่มีอยู่ในไขมัน 1 กรัม จนกระทั่งเป็นกลาง หรือความเป็นกรดของไขมันปริมาตร คือ จำนวนมิลลิลิตร นอร์มอลของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน 100 กรัม ให้เป็นกลาง

กรดไขมันอิสระ คือ ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระในรูปของกรดไขมัน จำเพาะที่มีอยู่ในน้ำมัน การเทียบเป็นกรดไขมันจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตาม กรดไขมันหลักในน้ำมันนั้นๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันส่วนใหญ่จะคำนวณในรูป ของกรดลอริก (น้ำหนักโมเลกุล 200) กรดปาล์มิติก (น้ำหนักโมเลกุล 256) และกรดโอเลอิก (น้ำหนักโมเลกุล 282) ตามลำดับ

ค่ากรดและกรดไขมันอิสระเป็นการศึกษากรดไขมันอิสระที่แยกตัวออกจากไตรเอซิล กลีเซอรอล ทั้งสองค่าสามารถใช้ประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพน้ำมันทั้งก่อน-ระหว่าง-หลังตรวจ ติดตามค่ากรดและกรดไขมันอิสระยิ่งสูง ยิ่งแสดงความไม่บริสุทธิ์ของน้ำมันมากขึ้น และหากกรด ที่ได้เป็น การระเหย สามารถบ่งบอกว่าอาจเกิดการหืนแบบไฮโดรไลติก (hydrolytic rancidity) ค่ากรดที่ได้ยังอาจได้มาจากกรดอะมิโนอิสระ กรดฟอสเฟต ในกรณีที่น้ำมันไม่มีกรดอื่นๆ เจือปน นอกจากกรดไขมันอิสระ สามารถคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระได้โดยใช้ conversion factor

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

7.1.2 กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร

7.1.3 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

7.1.4 ปีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

7.1.5 ปีเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร

7.1.6 ลูกยาง

7.2 สารเคมี

7.2.1 เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95

7.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล

7.2.3 สารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ ร้อยละ 2

7.3 วิธีการทดลอง

7.3.1 ชั่งตัวอย่าง 7.05 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

7.3.2 เติมห้าหลอดละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไปในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ ร้อยละ 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน

7.3.3 จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพู

7.3.4 คำนวณค่ากรดหรือปริมาณกรดไขมันอิสระได้จากสูตร

$$\text{ค่ากรด (มิลลิกรัม)} = \frac{V \times N \times 56.1}{W}$$

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ} = \frac{V \times N \times 282}{1000}$$

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระคิดเป็นร้อยละ} = \frac{V \times N \times 28.2}{W}$$

เมื่อ V = ปริมาตรต่างที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นต่าง (0.25 นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

หมายเหตุ น้ำหนักโมเลกุลของกรดลอริก = 200

น้ำหนักโมเลกุลของกรดปาล์มิติก = 256

น้ำหนักโมเลกุลของกรดโอเลอิก = 282

ในการคำนวณนี้ใช้ค่าน้ำหนักโมเลกุลของกรดโอเลอิกเป็นตัวแทนของกรดไขมันอื่นๆ

8. การวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทริก (thiobarbituric acid; TBARS) (AOAC, 2000)

หลักการ

มาโลนัลดีไฮด์เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 2 ที่เกิดจากออกซิเดชันในอาหารประเภทไขมันชนิด polyunsaturated fatty acid ที่มีพันธะคู่ตั้งแต่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับ 2-Thiobarbituric acid (TBA) เกิดสารที่มีสีแดง ส่วนเข้มข้นของสีแดงที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ oxidative rancidity ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้ spectrophotometer วัดที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร ซึ่งเป็น absorption ที่สูงที่สุด

วิธีนี้สามารถวัดค่า TBA จากไขมันและน้ำมันโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการสกัด oxidative product ที่เกิดขึ้น เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับหาค่า TBA ในไขมันจากพืชและสัตว์

8.1 อุปกรณ์

8.1.1 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

8.1.2 ปิเปต ขนาด 5 มิลลิลิตร

8.1.3 หลอดทดลองเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10-15 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิด

8.1.4 ชุดเครื่องกลั่น

8.1.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

8.1.6 เครื่องบดตัวอย่าง

8.1.7 Water bath

8.1.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

8.2 สารเคมี

8.2.1 TBA reagent ได้จากการละลาย 2-Thiobarbituric acid 0.2883 กรัม ในกรดอะซีติกความเข้มข้นร้อยละ 90 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทั้งสารละลายนี้ไว้ค้างคืน กรองหรือเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง เพื่อกำจัดเอาสิ่งตกค้างที่ไม่ละลายออก แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยกรดอะซีติกความเข้มข้นร้อยละ 90

8.2.2 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มอล

8.2.3 antifoaming agent เจือจางโดยใช้ antifoaming agent ต่อ น้ำ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5

8.3 วิธีการทดลอง

8.3.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 10 กรัม บั่นให้ละเอียดกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นาน 2 นาที ถ่ายใส่ในหลอดกลั่นของชุดเครื่องกลั่น กลั้วโถปั่นด้วยน้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตร

เทรวมลงในหลอดกลั่นแล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก 4 นอร์มอล ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติม antifoaming agent 1-2 หยด

8.3.2 ต่อ distillation flask เข้ากับชุดกลั่น แล้วกลั่นจนได้ของเหลวประมาณ 50 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดสารละลายที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร แล้วเติม TBA reagent 5 มิลลิลิตร

8.3.3 ต้มในน้ำเดือด 35 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 10 นาที

8.3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร

8.3.5 คำนวณค่า TBARS จากสูตร

$$\text{TBARS (mg malondialdehyde/kg sample)} = 7.8 \times \text{O.D.}$$

หมายเหตุ : หลอด blank เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร และ TBA solution 5 มิลลิลิตร

9. ตรวจวัดปริมาณสารแกมมาโอริซานอลทั้งหมด

ทำการสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแกมมาโอริซานอลโดยประยุกต์วิธีการของ Chen and Bergman (2005) โดยนำตัวอย่างปริมาณ 0.05 กรัม สกัดด้วยเมทานอล HPLC grade 3 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 3 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 825g เป็นเวลา 10 นาที กรองแล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

ประยุกต์ใช้สภาวะการตรวจวัดตามวิธีการของ Iqbal, Bhangar and Anwar (2005) อ้างอิงโดย McBride and Evans (1973) โดยสภาวะเครื่อง HPLC มีดังนี้ คอลัมน์ C_{18} , 150x2.1 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร อัตราการไหล 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวทำละลาย (mobile phase) ที่ใช้คือ เมทานอล อะซิโตน ไตรคลอโรมีเทน และกรดอะซิติก ที่อัตราส่วน 50 : 44 : 3 : 3 ตามลำดับ ปริมาณที่ฉีดสารเข้าเครื่อง HPLC คือ 20 ไมโครลิตร ใช้ตัวตรวจวัดแบบยูวีที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร ใช้เวลา (run time) ทั้งหมด 30 นาที

9.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารแกมมาโอริซานอลรำข้าว

9.1.1 หาปริมาณสารแกมมาโอริซานอลโดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของ ตัวอย่างกับพื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน

9.1.2 การคำนวณ

เมื่อฉีดสารสกัดของตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร (0.02 มิลลิลิตร) ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของกราฟมาตรฐาน คำนวณได้เท่ากับ 853.47ppm หรือ 853.47 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

สาร 1 มิลลิลิตร	มีสารแกมมาไฮริซานอล 853.47 ไมโครกรัม
ฉีดสารสกัดตัวอย่าง 0.02 มิลลิลิตร	มีสารแกมมาไฮริซานอล 17.0694 ไมโครกรัม

ฉีดสารสกัดของอย่าง 0.02 มิลลิลิตร	มีสารแกมมาไฮริซานอล 17.0694 ไมโครกรัม
สารสกัด 3 มิลลิลิตร	มีสารแกมมาไฮริซานอล 2560.41 ไมโครกรัม

เห็นได้ว่าสารสกัด 3 มิลลิลิตร ที่ใช้ตัวอย่างรำข้าว 0.05 กรัม มีสารแกมมาไฮริซานอล 2560.41 ไมโครกรัม

ถ้าตัวอย่างรำข้าว 1 กรัม	มีสารแกมมาไฮริซานอล 51,208 ไมโครกรัม
หรือ ตัวอย่างรำข้าว 1 กรัม	มีสารแกมมาไฮริซานอล 51.208 มิลลิกรัม
ตัวอย่างรำข้าว 100 กรัม	มีสารแกมมาไฮริซานอล 51,20.8 มิลลิกรัม
	หรือ 5,121 มิลลิกรัม

คำนวณเฉพาะส่วนของน้ำมันในรำข้าว

ในรำข้าวมีปริมาณไขมันร้อยละ 22.04 หรือ 22.4 กรัมต่อ 100 กรัม

รำข้าว 100 กรัม มีสารแกมมาไฮริซานอล 5,121 มิลลิกรัม

ในรำข้าวมีปริมาณไขมัน 22.40 กรัมต่อ 100 กรัม

มีสารแกมมาไฮริซานอล 232.35 มิลลิกรัมต่อกรัม

ถ้าคิดเป็น 100 กรัม มีสารแกมมาไฮริซานอล 23,235 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ถ้าคิดร้อยละ 6 (กรัม) มีสารแกมมาไฮริซานอล 1,394 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

เพราะฉะนั้น ในรำข้าวมีปริมาณสารแกมมาไฮริซานอล 1,394 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำมัน หรือ 1,394 ppm น้ำมัน

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์

ตาราง 15 ค่า L* ของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ตัวอย่าง	L*
รำข้าว	64.14 ± 0.26 ^a
กากรำหลังบีบ	62.13 ± 0.69 ^b
กากรำบนกระซอน	30.96 ± 0.00 ^c
น้ำมันผ่านกระซอนเกรด A	4.19 ± 0.91 ^d
น้ำมันผ่านกระซอนเกรด B	7.11 ± 0.10 ^d
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	32.58 ± 1.85 ^c
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	29.41 ± 0.29 ^c
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	3.08 ± 0.56 ^d
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	2.77 ± 0.37 ^d
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด 0.70 µm	3.17 ± 0.50 ^d
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด 0.25 µm	3.09 ± 0.36 ^d
น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก	3.45 ± 0.29 ^d
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	3.12 ± 0.06 ^d

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 16 ค่า a^* ของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ตัวอย่าง	a^*
รำข้าว	1.69 ± 0.69^d
กากรำหลังบีบ	1.69 ± 0.69^d
กากรำบนกระชอน	2.85 ± 0.00^{bc}
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด A	3.50 ± 0.12^{ab}
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด B	3.00 ± 0.05^{abc}
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	2.52 ± 0.13^{cd}
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	3.03 ± 0.70^{abc}
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	3.80 ± 0.89^a
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	2.94 ± 0.17^{abc}
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.70 \mu m$	3.08 ± 0.87^{abc}
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.25 \mu m$	2.46 ± 0.51^{cd}
น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก	2.53 ± 0.67^{cd}
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	2.46 ± 0.12^{cd}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 17 ค่า b* ของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ตัวอย่าง	ค่า pH
รำข้าว	18.86 ± 0.91^b
กากรำหลังบีบ	16.77 ± 0.84^b
กากรำบนกระชอน	27.04 ± 0.00^a
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด A	1.82 ± 1.06^d
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด B	6.43 ± 0.19^c
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	26.48 ± 0.73^a
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	25.25 ± 0.39^a
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	0.92 ± 1.10^d
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	1.53 ± 1.68^d
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด 0.70 μm	1.51 ± 1.63^d
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด 0.25 μm	1.18 ± 0.68^d
น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก	1.57 ± 1.50^d
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต	1.50 ± 0.05^d

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 18 ความหนืดของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ตัวอย่าง	ค่าความหนืด (cp)
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด A	101.55 ± 1.28 ^b
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด B	124.46 ± 0.84 ^a
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	97.55 ± 1.16 ^b
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	95.11 ± 1.21 ^b
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด 0.70 µm	90.21 ± 0.71 ^b
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด 0.25 µm	88.23 ± 0.93 ^b
น้ำมันผ่านสแนมแม่เหล็ก	83.62 ± 1.23 ^b
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต	83.01 ± 1.45 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan
กำหนดให้ช่วงความหนืดอยู่ระหว่างความเร็วรอบ 50-60 RPM

ตาราง 19 ค่า pH ของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ตัวอย่าง	ค่า pH
รำข้าว	6.93 ± 0.02^a
กากรำหลังบีบ	6.87 ± 0.04^b
กากรำบนกระชอน	6.80 ± 0.01^{cde}
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด A	6.72 ± 0.11^f
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด B	6.60 ± 0.02^g
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	6.78 ± 0.03^d
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	6.81 ± 0.03^{bcde}
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	6.84 ± 0.02^{bc}
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	6.83 ± 0.03^{bcd}
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.70 \mu m$	6.82 ± 0.03^{bcde}
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.25 \mu m$	6.77 ± 0.07^{ef}
น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก	6.64 ± 0.03^g
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต	6.62 ± 0.06^g

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 20 ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวบิบเย็น

ตัวอย่าง	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/Kg)
รำข้าว	0.00 ± 0.00^c
กากรำหลังบิบ	0.00 ± 0.00^c
กากรำบนกระซอน	3.87 ± 0.09^{ab}
น้ำมันผ่านกระซอนเกรด A	4.21 ± 0.52^{ab}
น้ำมันผ่านกระซอนเกรด B	6.03 ± 0.16^a
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	5.13 ± 0.53^{ab}
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	6.02 ± 0.06^a
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	3.57 ± 0.23^{ab}
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	3.72 ± 0.62^{ab}
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.70 \mu\text{m}$	3.31 ± 0.38^{ab}
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.25 \mu\text{m}$	3.74 ± 0.39^{ab}
น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก	4.23 ± 0.01^{ab}
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต	4.56 ± 0.51^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 21 ปริมาณกรดไขมันอิสระของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิต
น้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ตัวอย่าง	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)
รำข้าว	0.07 ± 0.01^f
กากรำหลังบีบ	0.04 ± 0.00^g
กากรำบนกระชอน	0.09 ± 0.01^f
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด A	0.20 ± 0.03^{ab}
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด B	0.17 ± 0.01^{cd}
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	0.16 ± 0.06^{cd}
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	0.15 ± 0.03^{de}
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	0.18 ± 0.00^{bc}
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	0.13 ± 0.01^e
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.70 \mu m$	0.22 ± 0.01^a
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.25 \mu m$	0.22 ± 0.01^a
น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก	0.22 ± 0.02^a
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	0.22 ± 0.02^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 22 ปริมาณสารแกมมาโอริซานอลของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิต
น้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ตัวอย่าง	ปริมาณสารแกมมาโอริซานอล (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)
รำข้าว	$1,376 \pm 0.76^g$
กากรำหลังบีบ	$1,065 \pm 0.55^h$
กากรำบนกระชอน	625 ± 0.00^i
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด A	$2,410 \pm 0.29^a$
น้ำมันผ่านกระชอนเกรด B	$1,830 \pm 1.67^d$
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	628 ± 1.22^i
กากรำบนกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	575 ± 0.85^i
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด A	$1,961 \pm 0.52^c$
น้ำมันผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 91 เกรด B	$1,728 \pm 1.40^{ef}$
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.70 \mu\text{m}$	$2,088 \pm 0.76^b$
น้ำมันผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด $0.25 \mu\text{m}$	$2,003 \pm 1.03^c$
น้ำมันผ่านสណแม่เหล็ก	$1,795 \pm 0.36^{de}$
น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต	$1,695 \pm 0.30^f$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f, g, h และ i ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 23 ค่า L* ของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ รักษา (เดือน)	L*			
	Plastic bag	ขวด PET	Solf gel	Hard capsules
0	3.12 ± 0.06^a	3.12 ± 0.06^a	3.12 ± 0.06^a	3.12 ± 0.06^a
1	2.98 ± 0.10^{bc}	3.00 ± 0.03^{bB}	3.04 ± 0.06^{bA}	3.03 ± 0.07^{bA}
2	2.84 ± 0.02^{cc}	2.87 ± 0.01^{cB}	2.91 ± 0.01^{cA}	2.87 ± 0.01^{cB}
3	2.71 ± 0.05^{dC}	2.72 ± 0.10^{dC}	2.79 ± 0.02^{dA}	2.75 ± 0.06^{dB}
4	2.60 ± 0.01^{eD}	2.65 ± 0.02^{eC}	2.72 ± 0.01^{eA}	2.69 ± 0.03^{eB}
5	2.42 ± 0.04^{fC}	2.46 ± 0.03^{fB}	2.52 ± 0.03^{fA}	2.47 ± 0.02^{fB}
6	2.31 ± 0.01^{gD}	2.34 ± 0.02^{gC}	2.42 ± 0.01^{gA}	2.36 ± 0.02^{gB}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง และตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 24 ค่า a^* ของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ รักษา (เดือน)	a^*			
	Plastic bag	ขวด PET	Solf gel	Hard capsules
0	2.46 ± 0.12^a	2.46 ± 0.12^a	2.46 ± 0.12^a	2.46 ± 0.12^a
1	2.31 ± 0.04^{bc}	2.35 ± 0.03^{bB}	2.40 ± 0.01^{bA}	2.34 ± 0.04^{bB}
2	2.22 ± 0.06^{cc}	2.27 ± 0.02^{cB}	2.33 ± 0.01^{cA}	2.23 ± 0.02^{cC}
3	2.01 ± 0.03^{dD}	2.04 ± 0.05^{dC}	2.11 ± 0.08^{dA}	2.07 ± 0.05^{dB}
4	1.99 ± 0.01^{eD}	1.96 ± 0.03^{eC}	2.03 ± 0.06^{eA}	1.98 ± 0.01^{eB}
5	1.61 ± 0.08^{fD}	1.69 ± 0.06^{fB}	1.73 ± 0.06^{fA}	1.65 ± 0.03^{fC}
6	1.32 ± 0.03^{gC}	1.38 ± 0.01^{gB}	1.42 ± 0.04^{gA}	1.33 ± 0.06^{gC}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง และตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 25 ค่า b^* ของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ รักษา (เดือน)	b^*			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	1.50 ± 0.05^a	1.50 ± 0.05^a	1.50 ± 0.05^a	1.50 ± 0.05^a
1	1.36 ± 0.07^{bc}	1.37 ± 0.04^{bc}	1.43 ± 0.05^{bA}	1.40 ± 0.03^{bB}
2	1.20 ± 0.02^{cd}	1.23 ± 0.01^{cc}	1.31 ± 0.01^{cA}	1.27 ± 0.02^{cB}
3	1.04 ± 0.05^{dc}	1.04 ± 0.05^{dc}	1.11 ± 0.03^{dA}	1.08 ± 0.09^{dB}
4	0.95 ± 0.01^{ec}	0.99 ± 0.01^{eB}	1.05 ± 0.04^{eA}	0.96 ± 0.01^{eC}
5	0.73 ± 0.02^{fd}	0.78 ± 0.03^{fB}	0.84 ± 0.02^{fA}	0.75 ± 0.01^{fC}
6	0.54 ± 0.10^{gC}	0.53 ± 0.05^{gC}	0.62 ± 0.04^{gA}	0.59 ± 0.02^{gB}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง และตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 26 ความหนืดของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ รักษา (เดือน)	ความหนืด (cp)			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	83.45 ± 0.31 ^a	83.45 ± 0.31 ^a	83.45 ± 0.31 ^a	83.45 ± 0.31 ^a
1	79.28 ± 0.78 ^{bB}	80.06 ± 0.22 ^{bA}	79.32 ± 0.32 ^{bB}	80.40 ± 0.42 ^{bA}
2	65.90 ± 0.81 ^{cB}	67.26 ± 0.53 ^{cA}	64.99 ± 0.37 ^{cC}	67.09 ± 0.16 ^{cA}
3	61.49 ± 0.39 ^{eC}	63.45 ± 0.38 ^{eA}	61.01 ± 0.21 ^{eC}	62.53 ± 0.20 ^{eB}
4	63.51 ± 0.40 ^{dC}	65.48 ± 0.16 ^{dA}	63.23 ± 0.28 ^{dC}	64.46 ± 0.27 ^{dB}
5	65.40 ± 0.39 ^{cB}	66.98 ± 0.26 ^{cA}	65.60 ± 0.23 ^{cB}	66.85 ± 0.17 ^{cA}
6	66.16 ± 0.33 ^{cB}	66.96 ± 0.24 ^{cAB}	66.03 ± 0.22 ^{cB}	67.25 ± 0.64 ^{cA}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d และ e ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง และตัวอักษร A, B และ C
 ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$
 โดยวิธีของ Duncan
 กำหนดให้ช่วงความหนืดอยู่ระหว่างความเร็วรอบ 50-60 RP

ตาราง 27 ค่า pH ของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ รักษา (เดือน)	ค่า pH			
	Plastic bag	ขวด PET	Solf gel	Hard capsules
0	6.62 ± 0.06^a	6.62 ± 0.06^a	6.62 ± 0.06^a	6.62 ± 0.06^a
1	6.57 ± 0.01^{bB}	6.56 ± 0.03^{bB}	6.59 ± 0.01^{bA}	6.56 ± 0.01^{bB}
2	6.51 ± 0.03^{cB}	6.52 ± 0.01^{cAB}	6.53 ± 0.01^{cA}	6.51 ± 0.01^{cB}
3	6.42 ± 0.01^{dC}	6.45 ± 0.02^{dB}	6.48 ± 0.01^{dA}	6.45 ± 0.01^{dB}
4	6.36 ± 0.01^{eC}	6.39 ± 0.01^{eB}	6.43 ± 0.01^{eA}	6.37 ± 0.01^{eC}
5	6.33 ± 0.02^{fC}	6.35 ± 0.01^{fB}	6.37 ± 0.03^{fA}	6.32 ± 0.02^{fC}
6	6.29 ± 0.01^{gC}	6.31 ± 0.02^{gB}	6.31 ± 0.01^{gA}	6.29 ± 0.01^{gC}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง และตัวอักษร A, B และ C ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 28 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ รักษา (เดือน)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/Kg)			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	4.56 ± 3.51^g	4.56 ± 3.51^g	4.56 ± 3.51^g	4.56 ± 3.51^g
1	25.13 ± 1.30^{fc}	25.52 ± 2.92^{fb}	22.48 ± 1.32^{fd}	27.22 ± 1.96^{fa}
2	112.78 ± 1.13^{ea}	109.57 ± 0.94^{ec}	102.18 ± 0.81^{ed}	109.82 ± 1.01^{eb}
3	178.22 ± 3.21^{da}	176.91 ± 1.93^{dc}	170.14 ± 1.01^{dd}	177.23 ± 1.64^{db}
4	214.10 ± 2.40^{cb}	213.61 ± 1.32^{cc}	209.03 ± 1.01^{cd}	215.11 ± 1.80^{ca}
5	254.08 ± 2.58^{ba}	251.36 ± 1.64^{bc}	249.75 ± 1.45^{bd}	253.42 ± 1.07^{bb}
6	296.10 ± 2.59^{ab}	295.37 ± 2.01^{ac}	288.18 ± 2.43^{ad}	300.04 ± 2.51^{aa}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวนอน และตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 29 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	0.22 ± 0.02^g	0.22 ± 0.02^g	0.22 ± 0.02^g	0.22 ± 0.02^g
1	11.28 ± 0.32^{fB}	12.32 ± 0.12^{fA}	9.86 ± 0.21^{fD}	10.04 ± 0.31^{fC}
2	22.17 ± 0.76^{eB}	22.77 ± 0.04^{eA}	19.99 ± 0.12^{eD}	21.52 ± 0.02^{eC}
3	28.88 ± 0.48^{dA}	27.59 ± 0.48^{dC}	25.09 ± 0.17^{dD}	28.02 ± 0.24^{dB}
4	33.18 ± 0.38^{cA}	31.79 ± 0.19^{cC}	29.73 ± 0.24^{cD}	32.61 ± 0.21^{cB}
5	39.88 ± 0.13^{bA}	39.08 ± 0.09^{bB}	34.42 ± 0.07^{bD}	37.16 ± 0.03^{bC}
6	45.27 ± 0.36^{aA}	44.25 ± 0.21^{aC}	42.16 ± 0.17^{aD}	44.87 ± 0.28^{aB}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง และตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 30 ปริมาณกรดโทไอบาร์บิทริกของน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในภาชนะต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ค่ากรดโทไอบาร์บิทริก (mg MA/Kg)			
	Plastic bag	PET	Soft gel	Hard capsules
0	0.09 ± 0.01^g	0.09 ± 0.01^g	0.09 ± 0.01^g	0.09 ± 0.01^g
1	0.16 ± 0.01^{fB}	0.16 ± 0.01^{fB}	0.12 ± 0.02^{fC}	0.19 ± 0.01^{fA}
2	0.26 ± 0.02^{eA}	0.24 ± 0.01^{eAB}	0.21 ± 0.01^{eC}	0.23 ± 0.00^{eB}
3	0.30 ± 0.00^{dB}	0.30 ± 0.02^{dB}	0.27 ± 0.01^{dC}	0.33 ± 0.00^{dA}
4	0.36 ± 0.01^{cA}	0.33 ± 0.00^{cB}	0.30 ± 0.01^{cC}	0.36 ± 0.02^{cA}
5	0.41 ± 0.00^{bA}	0.36 ± 0.01^{bC}	0.37 ± 0.01^{bBC}	0.39 ± 0.02^{bAB}
6	0.50 ± 0.01^{aA}	0.47 ± 0.00^{aB}	0.42 ± 0.00^{aC}	0.50 ± 0.01^{aA}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวนอน และตัวอักษร A, B และ C ที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan