



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน

โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

Extraction developing and quantitative determination of oil
using adsorption coefficient (K)

โดย

อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และ มาโนชย์ ถนอมวัฒน์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2555



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ
Extraction developing and quantitative determination of oil using adsorption
coefficient (K)

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554
จำนวน 220,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นางสาวอนรรฆอร ศรีไสยเพชร

ผู้ร่วมโครงการ นายมานิชย์ ถนอมวัฒน์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30/ก.ย./2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๙
อธิบายคำย่อหรือสัญลักษณ์	๑๑
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	24
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการวิจัย	33
สรุปผลการวิจัย	71
เอกสารอ้างอิง	74

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	28
ตารางที่ 2	33
ตารางที่ 3	34
ตารางที่ 4	41
ตารางที่ 5	43
ตารางที่ 6	44
ตารางที่ 7	48
ตารางที่ 8	49
ตารางที่ 9	51
ตารางที่ 10	52
ตารางที่ 11	54
ตารางที่ 12	55
ตารางที่ 13	56
ตารางที่ 14	57
ตารางที่ 15	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 16	ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก
ตารางที่ 17	ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด
ตารางที่ 18	ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบด
ตารางที่ 19	ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง
ตารางที่ 20	ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น
ตารางที่ 21	ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะรุ่น
ตารางที่ 22	ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก
ตารางที่ 23	ค่าสปอนนิฟิเคชันและน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันตัวอย่างที่สกัดด้วยเทคนิคการไคเตรต
ตารางที่ 24	ค่าสปอนนิฟิเคชันและน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันตัวอย่างที่สกัดด้วยเทคนิคการไคเตรต
ตารางที่ 25	ค่ากรดของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหาร สุกกระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก
ตารางที่ 26	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก

สารบัญภาพ

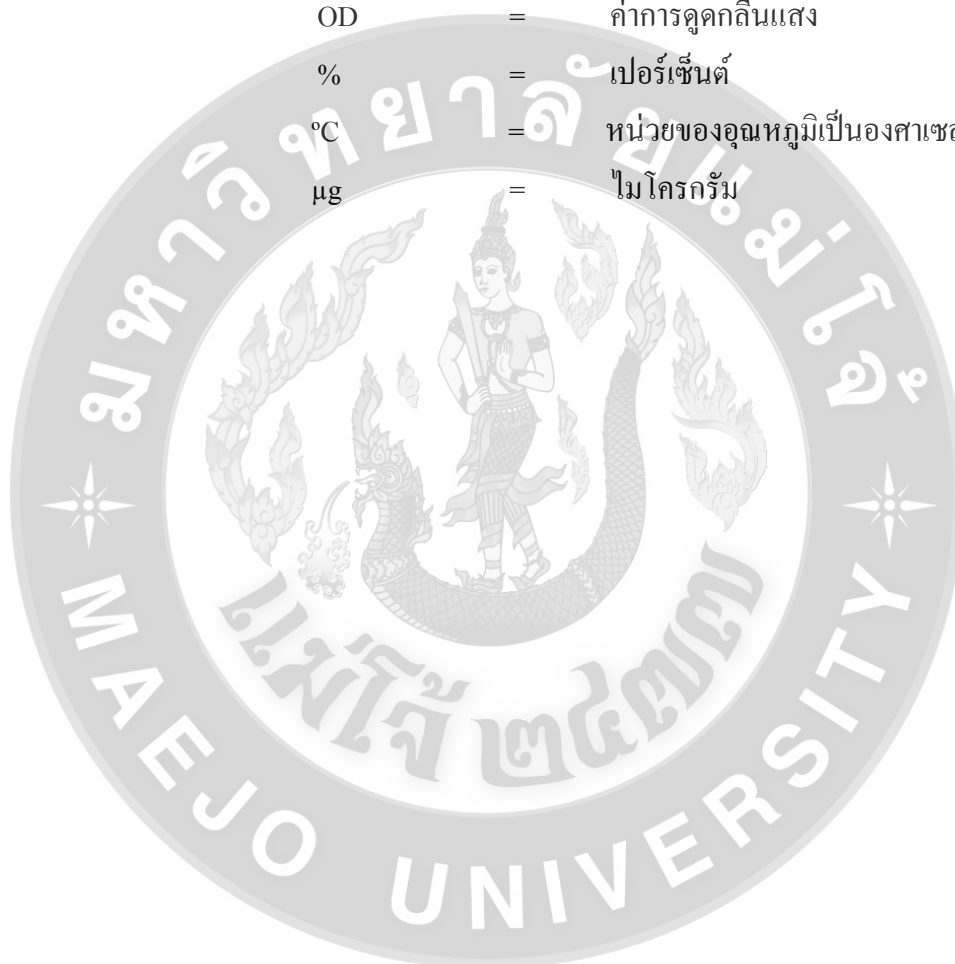
		หน้า
ภาพที่ 1	ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างจากการทดลองและข้อมูลอ้างอิง	35
ภาพที่ 2	ซินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากร้าละเอียด	36
ภาพที่ 3	ซินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากข้าวโพดบด	37
ภาพที่ 4	ซินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากกากถั่วเหลือง	37
ภาพที่ 5	ซินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากปลาป่น	38
ภาพที่ 6	ซินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากอาหารสุกรระยะรุ่น	38
ภาพที่ 7	ซินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากอาหารสุกรระยะเลี้ยงลูก	39
ภาพที่ 8	กราฟมาตรฐานน้ำมันที่วิเคราะห์โดยละลายน้ำมันในตัวทำละลายอินทรีย์ (ก) ปีโตรเลียมอีเทอร์ และ (ข) เฮกเซน	40
ภาพที่ 9	ปริมาณน้ำมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่สกัดได้โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในตัวทำละลายปีโตรเลียมอีเทอร์กับเฮกเซน	45
ภาพที่ 10	ปริมาณน้ำมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในตัวทำละลายปีโตรเลียมอีเทอร์ที่สกัดด้วย Soxhlet กับการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ	46
ภาพที่ 11	ปริมาณน้ำมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในตัวทำละลายเฮกเซนที่สกัดด้วย Soxhlet กับการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ	47
ภาพที่ 12	โครมาโตแกรมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของสารมาตรฐานที่มีจำนวนคาร์บอน 17 อะตอม ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	48
ภาพที่ 13	โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	49
ภาพที่ 14	โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าว ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	50
ภาพที่ 15	โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าว ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 16 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จาก รำละเอียด ที่วิเคราะห์ด้วย คอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	53
ภาพที่ 17 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จาก ข้าวโพดบด ที่วิเคราะห์ด้วย คอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	55
ภาพที่ 18 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จาก กากถั่วเหลือง ที่วิเคราะห์ ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	56
ภาพที่ 19 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จาก ปลาป่น ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C	57
ภาพที่ 20 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จาก อาหารสุกกระยะร้อนที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วง อุณหภูมิ 40-230 °C	58
ภาพที่ 21 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จาก อาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วง อุณหภูมิ 40-230 °C	60

อธิบายคำย่อหรือสัญลักษณ์

g	=	กรัม
K	=	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ
mg	=	มิลลิกรัม
ml	=	มิลลิลิตร
OD	=	ค่าการดูดกลืนแสง
%	=	เปอร์เซ็นต์
°C	=	หน่วยของอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส
μg	=	ไมโครกรัม



การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

Extraction developing and quantitative determination of oil
using adsorption coefficient (K)

อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และ มาโนชญ์ ถนอมวัฒน์

Anakhaorn Srisaipet and Manoch Thanonwat

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดสารจากของแข็งโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (ตัวย่อว่า K) ของ สารระหว่างเฟสของแข็งและเฟสตัวทำละลายในสภาวะสมดุล

จากการศึกษาพบว่าการสกัดน้ำมันจากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ซึ่งสูงกว่าเฮกเซน โดยปริมาณน้ำมันรวม (% โดยน้ำหนักแห้ง) ที่สกัดและคำนวณได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ เมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก มีค่า 16.984% (K=3.32), 11.091% (K=2.12), 7.718% (K=1.11), 5.813% (K=2.80), 7.290% (K=1.28) และ 14.816% (K=1.79) ตามลำดับ กรดไขมันอิสระของน้ำมันที่สกัดได้ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี พบกรดไขมันอิ่มตัว คือ (C12:0, C14:0, C16:0, C18:0, C20:0 และ C22:0) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบ คือ (C18:1 และ C18:2) จากนั้นศึกษาคุณภาพของน้ำมันโดยอาศัยข้อมูลค่ากรด ค่าไอโอดีน ค่าสaponifiเคชัน และค่าเปอร์ออกไซด์ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าค่ากรด ค่าไอโอดีน ค่าสaponifiเคชัน และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด คือ 45.22, 74.05, 175.42 และ 9.80 ตามลำดับ น้ำมันจากข้าวโพดบด ค่าที่ได้ คือ 29.31, 85.72, 172.53 และ 9.30 น้ำมันจากกากถั่วเหลือง ค่าที่ได้ คือ 6.73, 70.57, 192.56 และ 7.79 น้ำมันจากปลาป่น ค่าที่ได้ คือ 5.23, 73.98, 161.46 และ 8.72 น้ำมันจากอาหารสุกกระษะรุ่น ค่าที่ได้ คือ 35.67, 75.81, 172.52 และ 8.52 และน้ำมันจากอาหารสุกกระษะระยะเลี้ยงลูก ค่าที่ได้ คือ 38.33, 80.63, 167.69 และ 7.45 จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเป็นเทคนิคใหม่อีกเทคนิคหนึ่งในการสกัดน้ำมันที่มีประสิทธิภาพสูง

คำสำคัญ: การสกัดสารจากของแข็ง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ ปริมาณน้ำมัน

Abstract

The adsorption coefficient (K) of a solute between a solid phase and a solvent phase were studied in the solid-liquid extraction which is defined by the solid-liquid equilibrium condition.

The most efficiency of the oil extraction using organic solvent from rice bran milled, corn meal, soybean meal, fish meal, young and mom feed pig was found in petroleum ether more than hexane. The total oil content (% dry weight) which extracted and calculated via the adsorption coefficient (petroleum ether as solvent) of rice bran, corn meal, soybean meal, fish meal, young and mom feed pig were 16.984% (K=3.32), 11.091% (K=2.12), 7.718% (K=1.11), 5.813% (K=2.80), 7.290% (K=1.28) and 14.816% (K=1.79), respectively. Fatty acid profiles of the oil extracted was done by gas chromatography shown saturated fatty acid (C12:0, C14:0, C16:0, C18:0, C20:0 and C22:0) and unsaturated fatty acid (C18:1 and C18:2). The oil quality studied in term acid value (AV), iodine value (IV), saponification number (SN) and peroxide value (PV). The AV, IV, SN and PV data of oil extracted from rice bran milled shown 45.22, 74.05, 175.42 and 9.80, respectively 29.31, 85.72, 172.53 and 9.30 for corn meal, 6.73, 70.57, 192.56 and 7.79 for soybean meal, 5.23, 73.98, 161.46 and 8.72 for fish meal, 35.67, 75.81, 172.52 and 8.52 for young feed pig and 38.33, 80.63, 167.69 and 7.45 for mom feed pig. From the result, the adsorption coefficient (K) is a new technique for oil extraction in high efficiency.

Key words: solid-liquid extraction, Adsorption coefficient, oil content

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (Extraction developing and quantitative determination of oil using adsorption coefficient (K)) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2554 ผู้วิจัยขอขอบคุณ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่ และอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ผู้วิจัย



คำนำ

ปัจจุบันการผลิตปศุสัตว์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากอัตราการเพิ่มของประชากรมีมากขึ้น ทำให้ความต้องการในการผลิตสัตว์เพื่อตอบสนองการอุปโภคเพิ่มมากขึ้นไปด้วย ซึ่งปัจจัยในด้านลงทุนการผลิตสัตว์ที่สำคัญคือ อาหารสัตว์ เพราะเป็นสิ่งจำเป็นที่ทำให้สัตว์เจริญเติบโตและให้ผลิตผลที่สูง เป็นแหล่งสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ปริมาณสารอาหารที่มีในวัตถุดิบแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป เพื่อให้ได้สารอาหารทุกชนิดเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ ซึ่งแบ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ออกได้เป็นประเภทต่างๆ ตามชนิดของสารอาหารที่มี ดังนี้

1. วัตถุดิบอาหารประเภทพลังงาน เป็นกลุ่มที่ให้โปรตีนต่ำ แต่จะให้แป้งหรือน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่และมีปริมาณของไขมันหรือน้ำมันประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ปลาข้าว รำละเอียด ข้าวโพด ข้าวเปลือกบด ข้าวฟ่าง มันเส้น ต้นสาเก เป็นต้น
2. วัตถุดิบอาหารประเภทโปรตีน โดยทั่วไปแล้วจะเป็นประเภทที่ให้โปรตีนสูงกว่าตามความต้องการของสัตว์ และมักจะมีพลังงานค่อนข้างต่ำ มีไขมันหรือน้ำมันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ปลาป่น เนื้อป่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากเมล็ดทานตะวัน กากมะพร้าว กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม กากเมล็ดยางพารา ใบกระถินป่น ใบมันสำปะหลัง เป็นต้น
3. วัตถุดิบอาหารประเภทวิตามินและแร่ธาตุ ใช้เป็นแหล่งให้วิตามินและแร่ธาตุเพิ่มเติม เพื่อหลีกเลี่ยงอัตราเสี่ยงต่อการขาดวิตามินและแร่ธาตุ โดยทั่วไปแล้วสัตว์จะต้องการวิตามินและแร่ธาตุแต่ละชนิดในปริมาณที่น้อยมากแต่ขาดไม่ได้ เพื่อให้ปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกายดำเนินไปตามปกติ

อาหารสัตว์แต่ละประเภทมีปริมาณของไขมันหรือน้ำมันแตกต่างกันออกไป ซึ่งไขมันหรือน้ำมันเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารสัตว์ ส่งผลทำให้คุณภาพของอาหารสัตว์ลดลง นอกจากนั้นยังทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ดี ทำให้สัตว์กินอาหารน้อยลงหรืออาจไม่กินเลย ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบคุณภาพของอาหารสัตว์แต่ละชนิด เช่น การตรวจสอบการเกิดกลิ่นหืนที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำมันที่มีอยู่ในอาหารสัตว์เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (อาหารและการให้อาหารสัตว์, 2554)

การสกัดน้ำมันที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ การบีบหรือใช้แรงอัด (mechanical expression) และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย นิยมใช้ตัวทำละลายประเภทเฮกเซน อะซีโตน ไชโคลเฮกเซน โดยการนำเอาวัตถุดิบที่เป็นส่วนที่ให้น้ำมันมาย่อยขนาด

อาจนำไปตากแดดหรืออบเพื่อไล่ความชื้นก่อน แล้วจึงแช่ลงในตัวทำละลาย จากนั้นจึงนำไปแยกเอาตัวทำละลายออกจากน้ำมันด้วยการระเหยโดยใช้ความร้อน (น้ำมันพืชสำหรับบริโภค, 2554)

วิธีการสกัดแยกไขมันและน้ำมันออกจากวัตถุดิบจะมีวิธีเฉพาะสำหรับวัตถุดิบแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะ และคุณสมบัติของวัตถุดิบนั้นๆ

สำหรับการสกัดน้ำมันในประเทศไทยนิยมใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดไขมันและน้ำมัน ได้แก่ (มฤตติ 2540, ค้าง, 2534 และ นิธิยา, 2529)

- ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ปริมาณตัวทำละลายในการสกัดมากจะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้มาก มีการสูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปสูงขึ้นด้วย ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสม โดยปกติการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดงุ่น และเมล็ดฝ้ายจะใช้ตัวทำละลายต่อน้ำหนักเมล็ดพืชที่สกัดในอัตราส่วน 1:1
- ชนิดของตัวทำละลาย มีตัวทำละลายหลายชนิดที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน ตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช และไม่เป็นพิษแก่ร่างกาย ตัวทำละลายที่นิยมมากที่สุด คือ เฮกเซน
- อุณหภูมิ การกักน้ำมันตัวทำละลายต้องมีอุณหภูมิสูงประมาณ 60°C เพื่อช่วยให้ไขมันละลายออกมาจากเมล็ดพืชได้ง่าย
- ความหนาแน่นของเมล็ดพืชที่จะสกัดน้ำมัน เมล็ดพืชที่อัดแน่นจนเกินไปจะสกัดน้ำมันออกมายาก
- ความชื้น เมล็ดพืชที่นำมาสกัดน้ำมันไม่ควรมีความชื้นสูงเกินร้อยละ 10 และตัวทำละลายจะต้องไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ เพราะจะทำให้สกัดน้ำมันออกได้ยาก
- เวลาในการสกัด การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายต้องใช้เวลานานพอสมควร เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสกัดเอาน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

เนื่องจากเทคนิคการสกัดสารออกจากของแข็งโดยใช้ตัวสกัดเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายสารที่สนใจให้แยกออกจากของแข็ง ซึ่งพบว่าในตัวทำละลายหนึ่งๆ สารตัวหนึ่งจะละลายในตัวทำละลายหนึ่งเป็นอัตราส่วนคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการนำความรู้เกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับมาใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมันจากของแข็ง เช่น ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทต่างๆ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (absorption coefficient : K) เป็นทางเลือกใหม่ในการสกัดน้ำมัน โดยมุ่งเน้นศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัด เช่น ชนิดของตัวทำละลาย อุณหภูมิ และเวลา ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด

โดยการประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ ซึ่งสามารถทำให้ทราบได้ว่าของแข็งนั้นๆ มีสารสกัดที่ต้องการอยู่ในปริมาณเท่าใด ซึ่งสามารถทำได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ใช้สารในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน ซึ่งทั่วไปการหาปริมาณน้ำมันทั้งหมดทำได้โดยใช้ soxhlet apparatus ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม ที่ต้องใช้สารตัวอย่างและตัวทำละลายอินทรีย์ในปริมาณมาก รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ก็เป็นเครื่องมือที่เฉพาะเจาะจงรวมถึงมีราคาสูง นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันที่ส่งผลถึงคุณภาพของวัตถุดิบเนื่องจาก น้ำมัน และความชื้นที่อยู่นี้เป็นปัจจัยสำคัญก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ ดังนั้น หากเราทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดกลิ่นดังกล่าว ทำให้เราหาทางป้องกัน ควบคุมสถานะการเก็บรักษาเพื่อให้วัตถุดิบมีคุณภาพดีตราบนานนำไปใช้งานได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาวิธีการในการสกัดน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (Adsorption coefficient: K) ในตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของน้ำมันระหว่างชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดกับชั้นของของแข็ง (วัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงานและโปรตีน) และศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นน้ำมันที่สกัดได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการศึกษาเทคนิคใหม่ในการสกัดสารที่อยู่ในของแข็ง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย ในเวลารวดเร็ว ตลอดจนใช้สารในปริมาณน้อย และเป็นการสร้างองค์ความรู้ในการสกัดเพื่อวิจัยสารในกลุ่มอื่นๆ ต่อไป
2. ทราบปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตอาหารสัตว์ และในอาหารสัตว์ เพื่อควบคุมสถานะการเก็บรักษาให้มีคุณภาพสูงสุด เพื่อสามารถนำไปขยายสู่ภาคการผลิตโดยสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา
3. นำหลักการของเทคนิคที่ศึกษาได้ไปใช้กับการสกัดสารที่มีคุณค่าทางด้านอื่นๆ เช่น สกัดสารต้านอนุมูลอิสระ สารต่อต้านมะเร็ง ซึ่งมักพบในปริมาณน้อย

การตรวจเอกสาร

กระบวนการสกัดน้ำมัน

การสกัดน้ำมันเป็นการสกัดจากส่วนต่างๆ เช่น ผลและเมล็ดของพืชน้ำมัน เช่น มะพร้าว ปาล์ม ถั่วเหลือง ข้าวโพด ถั่วลิสง รำข้าว เป็นต้น ปริมาณน้ำมันที่มีในพืชน้ำมันแต่ละชนิดมากน้อยแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 10-70% เช่น เนื้อมะพร้าวจะมีน้ำมันสูงถึงเกือบ 70% ของน้ำหนัก ปาล์มมีประมาณ 50% ในขณะที่ถั่วเหลืองมีน้ำมัน 20% รำข้าว 15% กรรมวิธีในการสกัดน้ำมันมี 2 วิธีหลักๆ ดังนี้

1. การบีบหรือใช้แรงอัด (mechanical expression) เช่น ถั่วลิสง และเนื้อมะพร้าวแห้ง การสกัดโดยวิธีธรรมชาติจะได้น้ำมันออกมาน้อย ยังคงมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากอยู่มากในทางอุตสาหกรรมจึงการนำเอาตัวทำละลายมาช่วยในการสกัด เพื่อให้ได้น้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด ส่วนใหญ่การใช้ตัวทำละลายจะสกัดได้มากกว่า 90% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบ

2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก และใช้สกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณต่ำหรือสกัดน้ำมันออกจากกากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัด ตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ เฮกเซน คาร์บอนไดซัลไฟด์ และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เฮกเซน

วิธีการสกัดทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดที่บดละเอียด น้ำมันที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมากับตัวทำละลาย เมื่อน้ำมันละลายออกมาหมดแล้ว นำไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก สารละลายของน้ำมันในตัวละลายบางที่เรียกว่า miscella ซึ่งประกอบด้วย ตัวทำละลาย น้ำหรือความชื้น น้ำมันหรือกาก ซึ่งกากจะแยกออกจากน้ำมันโดยการกรอง ส่วนเฮกเซนและน้ำแยกออกโดยการระเหย (evaporation) ที่ความดันต่ำ และได้น้ำมันออกมาประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่า 0.15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ขั้นตอนการระเหยเอาตัวทำละลายออกต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำที่สุด เพราะหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไป จะเร่งให้เกิดออกซิเดชัน ทำลายสารต้านออกซิเดชันและทำให้น้ำมันที่ได้มีสีเข้มขึ้น

การใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายจะได้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าวิธีอื่น เมล็ดพืชบางชนิดใช้วิธีการบีบร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยตัวทำละลายจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีอื่นๆ เพราะตัวทำละลายมีราคาแพง ถึงแม้จะกลั่นแยกเอาตัวทำละลายกลับมาใช้ได้อีกก็ตามแต่ก็มีบางส่วนที่ระเหยหายไปด้วย น้ำมันที่ได้ออกมาเป็นน้ำมันที่ไม่บริสุทธิ์ เรียกว่า

crude oil มักมีสารประกอบต่างๆปนอยู่มากมาย ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป (นิธิยา, 2529)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) (คณิตา, 2542)

การสกัดสารในสองเฟส โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีการแยกสารพื้นฐานสำหรับการแยกและการทำให้สารบริสุทธิ์โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม เป็นเทคนิคในการสกัดแยกสารเคมีวิธีหนึ่งโดยอาศัยหลักการของการแจกแจง (distribution) ของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย 2 ชนิดที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อตัวถูกละลายแพร่กระจายในตัวทำละลายทั้งสองจนถึงสมดุล อัตราส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายทั้งสองจะมีค่าคงที่ โดยทั่วไปพบว่าในตัวทำละลายคู่หนึ่งๆสารตัวหนึ่งจะละลายในตัวทำละลายทั้งสองชั้นนั้นเป็นอัตราส่วนคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง อัตราส่วนนี้เรียกว่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient) ด้วยย่อว่า K

สารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวที่นำมาใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับการสกัดนั้น ควรจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ควรละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี คือ มีค่า Distribution coefficient สูง
2. ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับสารละลายของผสมที่จะสกัด
3. ไม่ควรละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการสกัด
4. ควรจะแยกจากสารที่สกัดได้ง่าย ภายหลังการสกัดแล้ว
5. ควรเป็นตัวทำละลายที่มีราคาถูก และไม่มีอันตราย

สารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวที่นำมาใช้เป็นตัวทำละลายที่รู้จักกันดี ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (CHCl_3) มีความถ่วงจำเพาะ 1.49 เป็นตัวทำละลายที่หนักกว่าน้ำ ใช้อย่างกว้างขวางสำหรับแยกสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบเชิงซ้อน (metal co-ordination complexes) จากสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายได้ดีกว่าคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) สำหรับเบนซีน (Benzene, C_6H_6) มีความถ่วงจำเพาะ 0.88 และเอทิลอีเทอร์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$) มีความถ่วงจำเพาะ 0.98 มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำ จึงถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง (extensively) โดยเฉพาะสกัดพวก metal association complexes ได้ดีกว่าตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ และบางครั้งอาจนำ $(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PO}_4$ ผสมกับ C_6H_6 หรือ ketone เพื่อทำเป็นตัวทำละลายสำหรับสกัดสารและช่วยเพิ่ม selectivity สำหรับการสกัด เมื่อตัวถูกละลายละลายในตัวทำละลาย เช่น น้ำ นำมาเข้ากับตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน ก็จะเกิดการแข่งขัน (competition) ระหว่างตัวทำละลายทั้งสอง สำหรับตัวถูกละลาย

ละลายที่เราต้องการจะทราบว่าจะตัวถูกละลายจะไปอยู่ในวัฏภาคใดมากกว่า ก็อาศัยหลัก “like dissolve like” นั่นเอง

Solid-liquid extraction

เป็นเทคนิคการสกัดสารออกจากของแข็งโดยใช้ตัวสกัดเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายสารที่สนใจให้แยกออกจากของแข็ง โดยทั่วไปพบว่าในตัวทำละลายหนึ่งๆ สารตัวหนึ่งจะละลายในตัวทำละลายหนึ่งเป็นอัตราส่วนคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง เช่นเดียวกันกับการสกัดสารออกจากของเหลว อัตราส่วนของความเข้มข้นของสารที่กระจายอยู่ในของแข็งและตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดจะเป็นค่าคงที่ที่เรียกว่า distribution coefficient หรือ adsorption coefficient ด้วยย่อว่า K ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และในของแข็งในสภาวะสมดุล

เขียนได้ดังสมการ

$$K = \frac{C_m}{A_s} = \text{Adsorption coefficient} \quad (1)$$

$$K = \left(\frac{M_m}{V_m} \right) \left(\frac{G_s}{M_s} \right) \quad (2)$$

K คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับ (adsorption coefficient)

C_m คือ ความเข้มข้นของสารในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์

A_s คือ ปริมาณของสารที่กระจายอยู่ในชั้นของของแข็ง

M_m คือ ปริมาณของตัวถูกละลายในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์

M_s คือ ปริมาณของตัวถูกละลายในชั้นของของแข็ง

V_m คือ ปริมาตรของตัวทำละลายอินทรีย์

G คือ น้ำหนักของของแข็ง

การทราบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (K) จะนำมาใช้ทำนายปริมาณสารที่สกัดได้ในแต่ละครั้ง ส่วนการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับทำได้โดยการศึกษาหาความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นของสารละลายอินทรีย์และในชั้นของของแข็ง แต่ในกรณีที่ไม่อาจหาปริมาณสารในชั้นของของแข็งได้ อาจนำวิธีแก้สมการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในแบบต่างๆ

ในกรณีที่สกัดสารตัวอย่าง 2 ชุด ด้วยปริมาณเท่ากัน โดยให้ปริมาตรของตัวทำละลายในชุดที่ 2 เป็นสองเท่าของตัวทำละลายในชุดที่ 1 และทำการสกัดอย่างละ 1 ครั้ง

กำหนดให้

Y คือ ปริมาณสารทั้งหมดในของแข็ง

X_1 คือ ปริมาณตัวละลายในวัฏภาคของตัวทำละลายที่สกัดได้ในชุดที่ 1

X_2 คือ ปริมาณตัวละลายในวัฏภาคของตัวทำละลายที่สกัดได้จากการใช้ปริมาตรของ

ตัวทำละลายเป็น 2 เท่าในการสกัดชุดที่ 2

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

จากสมการที่ (2)

$$K = \left(\frac{M_m}{V_m} \right) \left(\frac{g_s}{M_s} \right) \quad (2)$$

การสกัดในชุดที่ 1

$$K_1 = \left(\frac{X_1}{V_1} \right) \left(\frac{1}{Y - X_1} \right) \quad (3)$$

การสกัดในชุดที่ 2

$$K_2 = \left(\frac{X_2}{V_2} \right) \left(\frac{1}{Y - X_2} \right) \quad (4)$$

แต่ $K_1 = K_2$

$$\left(\frac{X_1}{V_1(Y - X_1)} \right) = \left(\frac{X_2}{V_2(Y - X_2)} \right) \quad (5)$$

$$X_1 V_2 (Y - X_2) = X_2 V_1 (Y - X_1)$$

$$X_1 V_2 Y - X_1 X_2 V_2 = X_2 V_1 Y - X_2 X_1 V_1$$

$$X_1 V_2 Y - X_2 V_1 Y = X_2 X_2 V_2 - X_1 X_2 V_1$$

$$Y(X_1 V_2 - X_2 V_1) = X_1 X_2 (V_2 - V_1)$$

$$Y = \frac{X_1 X_2 (V_2 - V_1)}{X_1 V_2 - X_2 V_1} \quad (6)$$

จาก $V_2 = 2V_1$

$$Y = \frac{X_1 X_2 (2V_1 - V_1)}{2X_1 V_1 - X_2 V_1}$$

$$Y = \frac{X_1 X_2 V_1}{V_1 (2X_1 - X_2)}$$

$$Y = \frac{X_1 X_2}{2X_1 - X_2} \quad (7)$$

ดังนั้นเราสามารถหาปริมาณสารทั้งหมดในของแข็ง (Y) จากสมการ (7) ได้ และเมื่อแทนค่า Y ลงในสมการ (3) หรือ (4) จะได้ค่า K

จากความรู้ในเรื่อง solid –liquid extraction ซึ่งนำไปสู่ความรู้เกี่ยวกับ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (adsorption coefficient; K) ทำให้สามารถนำประยุกต์ใช้ในการสกัดสารที่สนใจออกจากสารที่เป็นของแข็งได้โดยใช้สารตัวอย่างและตัวทำละลายในปริมาณน้อย และยังเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนที่อาจเกิดจากตัวทำละลายในกรณีที่ตัวทำละลายเป็นสารค่อนข้างมีพิษ นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดเวลา และที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับนี้สามารถใช้หาปริมาณสารทั้งหมดที่อยู่ในของแข็งที่ต้องการสกัดได้ ซึ่งทำให้สามารถทราบได้ว่ามีสารสกัดที่ต้องการอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใด จึงนับว่ามีประโยชน์มากสำหรับการศึกษาศาสตร์สกัดชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในของแข็ง โดยเฉพาะสารสกัดชนิดใหม่ๆ ที่มีในของแข็ง ทั้งนี้สภาวะในการสกัดต้องเหมาะสมด้วย ดังนั้น การประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในการสกัด จึงเปรียบเสมือนหนึ่งเป็นการจำลองเทคนิคการการสกัดมาอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถนำไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความคงตัวของน้ำมัน

การหืน (Rancidity) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป น้ำมันและความชื้นที่มีอยู่ในวัตถุดิบจำพวกอาหารสัตว์ เป็นปัจจัยหลักก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนทำให้คุณภาพวัตถุดิบลดลง

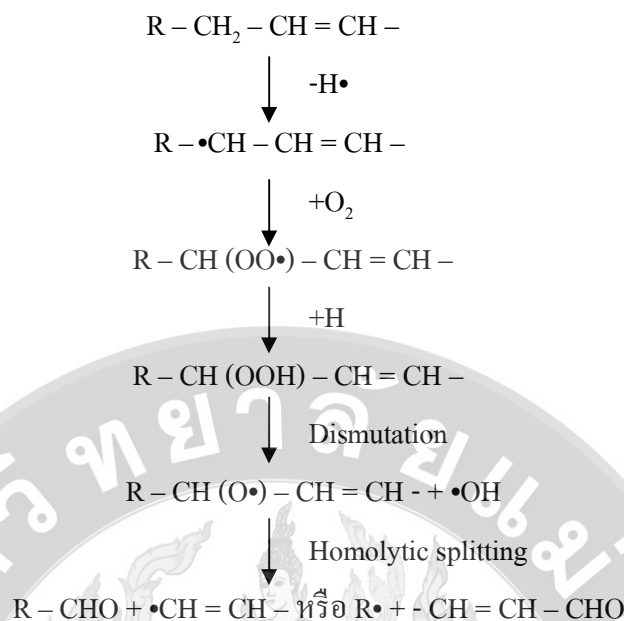
ไขมันและน้ำมันแตกต่างกันที่ชนิดของกรดไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเท่านั้น ชนิดของกรดไขมันเหล่านี้จะเป็นตัวชี้บ่งความคงตัวของไขมันหรือน้ำมัน ดังนั้นการพิจารณาถึงความคงตัวของน้ำมันจึงมุ่งเน้นไปที่ความคงตัวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักแต่ไม่ควรมองข้ามสารประกอบอื่นๆ ที่ปนอยู่เป็นจำนวนเล็กน้อยด้วย เช่น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นกับสารสี จะมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันและความคงตัวของสี (colour stability) ของน้ำมันด้วย และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟอสโฟลิพิดยังทำให้น้ำมันมีรสขม จึงมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นและรส (flavour stability) ของน้ำมันเช่นเดียวกัน

1) ความคงตัวต่อออกซิเดชัน (Oxidative stability)

ความคงตัวต่อออกซิเดชันของน้ำมันจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งจะเกิดเป็นออกซิไดส์ไตรเอซิลกลีเซอรอล และจะสลายตัวให้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนสั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันก่อนที่ถูกออกซิไดส์ ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับความคงตัวต่อออกซิเดชัน เป็นได้ทั้งปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ แต่เอนไซม์ทั้งหมดจะถูกทำลายในกระบวนการรีไฟน์และการกำจัดกลิ่น ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวด้วยเอนไซม์ จึงมักจะเกิดขึ้นก่อนที่น้ำมันจะถูกสกัดออกมา หรือเกิดขึ้นกับวัตถุดิบที่จะนำมาสกัดน้ำมัน

การเกิดออกซิเดชันที่เป็นปฏิกิริยาทางเคมี จะเกิดกับไขมันและน้ำมันทุกชนิด และผลิตภัณฑ์ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมี flavour threshold ต่ำ จึงทำให้น้ำมันมีกลิ่นผิดปกติ (off-flavoured oil) ถึงแม้จะมีสารเหล่านี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ตาม

กลไกการเกิดปฏิกิริยา คือ สารที่เป็นอะตอมอิสระจะไปดึงเอาไฮโดรเจนอะตอมมาจากหมู่เมทิลีนที่อยู่ถัดจากตำแหน่งพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน ได้เป็นอนุมูลแอลคิล (alkyl radical) และจะทำปฏิกิริยาต่อกับออกซิเจนเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical) หลังจากนั้นอนุมูลเพอร์ออกซีจะจับกับไฮโดรเจนอะตอมได้เป็นไฮโดรเพอร์ออกซี (hydroperoxide) ซึ่งจะ dismutate โดย hemolytic splitting ได้เป็นสารต่างๆ ดังสมการต่อไปนี้



อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล่านี้ จะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องต่อไปได้อีก 3 ทาง

1. อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นอาจรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้เป็นสารประกอบที่ไม่มีสมบัติเป็นอนุมูลอิสระอีกต่อไป
2. ทำปฏิกิริยาต่อกับไฮโดรเจนอะตอมจากตัวกลางเกิดเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่ และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าอนุมูลอิสระจะถูกทำลาย หรือทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบที่มีความคงตัว
3. อาจมีการย้ายไฮโดรเจนอะตอมจากอนุมูลอิสระหนึ่งไปยังอีกอนุมูลอิสระหนึ่งได้เป็น saturated และ unsaturated molecules

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเหล่านี้ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน และแอลดีไฮด์ นอกจากนั้นยังอาจมีกรดอินทรีย์ คีโตน แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ สารประกอบอะโรมาติก และสารประกอบอีพอกไซด์ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะทำให้น้ำมันมีกลิ่นผิดปกติ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ดี ทำให้สัตว์กินอาหารน้อยลงหรืออาจไม่ยอมกินอาหารเลยก็ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเหม็นหืนเนื่องจากออกซิเดชัน ได้แก่

1. ชนิดของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในไขมัน ถ้าไขมันมีกรดไขมันซึ่งมีพันธะคู่หลายแห่ง จะเกิดการเหม็นหืนได้ดีกว่าไขมันที่มีกรดไขมันซึ่งมีพันธะคู่เพียงแห่งเดียว เช่น ไขมันที่มีกรดไลโนเลอิก จะเหม็นหืนเร็วกว่าไขมันที่มีกรดโอเลอิก
2. ออกซิเจนในอากาศ ดังนั้นควรเก็บไขมันในภาชนะที่ปิดสนิท อากาศเข้าไม่ได้

3. ความร้อนและแสงสว่าง ช่วยเร่งให้การเหม็นหืนเกิดรวดเร็วขึ้น ดังนั้นควรเก็บไขมันไว้ในที่เย็น

4. โลหะโดยเฉพาะทองแดงและเหล็ก ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี ดังนั้นภาชนะที่บรรจุน้ำมันต้องไม่ใช่เหล็กหรือทองแดง ควรเป็นสแตนเลสหรืออะลูมิเนียม เป็นต้น

5. น้ำมันสัตว์มีกลิ่นเหม็นหืนเร็วกว่าน้ำมันพืช ถึงแม้ว่าน้ำมันพืชจะมีปริมาณของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากกว่า แต่น้ำมันพืชมีวิตามินอี ซึ่งเป็นสารป้องกันการเติมออกซิเจนหรือเป็นวัตถุกันหืน (antioxidant) อยู่แล้วตามธรรมชาติ

วิธีปรับปรุงเพื่อให้ไขมันมีความคงตัวต่อออกซิเดชัน

1. การทำไฮโดรจิเนชัน นำไขมันมาทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเพียงบางส่วน เพื่อลดจำนวนพันธะคู่ให้น้อยลง จะช่วยให้น้ำมันมีโอกาสเกิดออกซิเดชันได้น้อยลง

2. ดูดอากาศออก เนื่องจากในอากาศมีออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการใช้ก๊าซไนโตรเจนเข้าไปทดแทนอากาศบริเวณที่ว่างในภาชนะบรรจุเหนือน้ำมันหรือผลิตภัณฑ์อาหารจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

3. การเติมสารต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันสามารถช่วยหยุดยั้งปฏิกิริยา free radical chain reaction ได้ โดยสารต้านออกซิเดชันจะให้ไฮโดรเจนอะตอมกับ free radical หรือสารต้านออกซิเดชันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ไวกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้น้ำมันหรือกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเกิดออกซิเดชันได้ช้าลง สารต้านออกซิเดชันที่นิยมใช้ ได้แก่ บิวทิลเต็ดไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene, BHT) บิวทิลลาเตไฮดรอกซีแอนิโซล (butylated hydroxyanisole, BHA) โพรพิลกาเลต (propyl gallate, PG) เทอร์ไบโอะรีบิวทิลไฮโดรควิโนน (tertiary butyl hydroquinone, TBHQ)

4. การเติม chelating agents สารประกอบพวกคีตริก กรดฟอสฟอริก และ ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) ซึ่งเป็น chelating agent จะทำปฏิกิริยากับโลหะที่ทำหน้าที่เป็นคะตะลิสต์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เหล็ก หรือทองแดง ดังนั้นการกำจัดโลหะที่เป็นคะตะลิสต์ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้าลง

5. ป้องกันไม่ให้ถูกแสง แสงเป็นคะตะลิสต์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียว กัน จึงช่วยเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระในไขมันและน้ำมันได้ ดังนั้นการบรรจุไขมันในภาชนะที่ทึบแสงโดยเฉพาะช่วงคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตจะชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

6. อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา การเก็บรักษาน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น ดังนั้นควรเก็บรักษาไขมันและน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

2) ความคงตัวของไฮโดรไลซิส (Hydrolytic stability)

ความคงตัวของไขมันและน้ำมันต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่พันธะ เอสเทอร์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้มีทั้งที่เป็นปฏิกิริยาทางเคมีและที่เร่งด้วยเอนไซม์เดียวกันกรดไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หากเป็นกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนน้อย หรือเป็นกรดไขมันสายสั้นๆ เช่น กรดไขมันในไขมันนม น้ำมันมะพร้าว หรือน้ำมันปาล์มเคอร์เนล จะเกิดกลิ่นหืนได้เร็ว เนื่องจากกรดไขมันดังกล่าวระเหยได้ง่าย โดยเฉพาะในไขมันนมจะมีเอนไซม์ไลเปสปนอยู่ในน้ำมันด้วยจึงเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย วิธีป้องกันทำได้โดยเก็บไขมันนมไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ หรือทำลายเอนไซม์ไลเปสที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส จะช่วยยับยั้งไม่ให้เกิดกลิ่นหืนได้

สำหรับน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมัน ที่มีจำนวนคาร์บอนมากหรือเป็นสายยาว ถึงแม้จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่จะไม่เกิดกลิ่นหืนเกิดขึ้น เพราะกรดไขมันเหล่านี้ระเหยไม่ได้ จึงไม่มีผลต่อน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร อย่างไรก็ตามไขมันและน้ำมันบางชนิดเมื่อเกิด hydrolytic rancidity แล้วไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการดมกลิ่น หรือ ชิมรส ต้องตรวจวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี คือ ต้องวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้เรียกว่า Acid value (AV)

3) ออโตออกซิเดชัน (Autoxidation)

พันธะคู่ในโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้อย่างช้าๆ ทำให้เกิดเป็น primary, secondary และ tertiary oxidation products ซึ่งสารเหล่านี้หากมีปริมาณมาก อาจทำให้สมบัติของไขมันและน้ำมันเปลี่ยนไปจนไม่สามารถนำไปบริโภคได้ กระบวนการออโตออกซิเดชันจะทำให้เกิดความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติของไขมัน น้ำมัน และอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนผสม เรียกว่า เกิดการหืน การหืนส่วนใหญ่จะหมายถึง oxidative deterioration แต่ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์นมซึ่งไม่ค่อยมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว หรือพันธะคู่ การหืนจะหมายถึง hydrolytic rancidity ซึ่งเป็นผลจากเอนไซม์ไลเปส ดังนั้นจึงสามารถจำแนกชนิดของการหืนออกเป็นหลายชนิด แต่ที่เกิดไขมัน น้ำมัน และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันมากที่สุด คือ oxidative rancidity ตัวอย่างเช่น น้ำมันหมูเมื่อสัมผัสกับอากาศออกซิเจน ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวทำให้เกิด oxidative rancidity ส่งผลให้มีกลิ่นเหม็นและรสชาติผิดปกติ

การเกิดการหืนโดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายพวกวิตามินที่ละลายในไขมันและน้ำมันอีกด้วย การตรวจวิเคราะห์ไขมันและน้ำมันเกิด oxidative rancidity มากน้อยเท่าใดทำได้โดยการหาค่า peroxide value (PV) ซึ่งคือการหาปริมาณสาร peroxide ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมันนั้น

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของออกซิเดชัน ได้แก่

1. ปริมาณหรือความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศ
2. ระดับความไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation) ของกรดไขมัน
3. ปริมาณของสารต้านออกซิเดชันที่มีอยู่ในน้ำมันตามธรรมชาติ
4. ปริมาณและชนิดของ prooxidant โดยเฉพาะทองแดงและสารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น heme-containing molecule และเอนไซม์ไลพอกซิเดส
5. ธรรมชาติของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ
6. แสงและอุณหภูมิขณะเก็บรักษา

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน

คุณภาพน้ำมันมีความสำคัญต่อการพิจารณาว่าน้ำมันใดบริโภคได้หรือไม่ สิ่งที่บอกว่าคุณภาพน้ำมันที่จะบริโภคได้หรือไม่นั้นมีหลายอย่าง ในที่นี้พิจารณาที่ค่ากรด ค่าไอโอดีน ค่าสaponification และค่าเปอร์ออกไซด์

1) ค่ากรด (Acid value ; AV) (ค่าวัด, 2550)

ค่ากรด คือ จำนวนมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมันหนักหนึ่งกรัม

การหาค่ากรดทำได้โดยการนำน้ำมันที่ต้องการวิเคราะห์มาไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน KOH โดยมีสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ การเข้าทำปฏิกิริยาเป็นกลางของกรดไขมันอิสระในน้ำมันกับสารละลายมาตรฐาน KOH แสดงดังสมการ



หมู่ฟังก์ชันของกรดคือหมู่ COOH จะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารละลายมาตรฐาน KOH ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งถึงจุดสมมูลซึ่งฟีนอล์ฟทาไลน์เปลี่ยนสี

2) ค่าไอโอดีน (iodine value ; IV) (อภิญญา 2551)

ค่าไอโอดีน คือ จำนวนของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันหนัก 100 กรัม เป็นค่าที่บอกถึงความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน

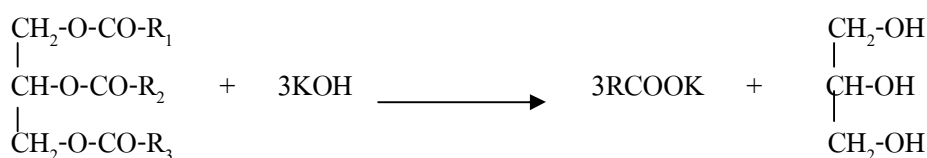
ค่าไอโอดีนเป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนชนิด Oxidative rancidity ได้ง่ายด้วย

การหาค่าของไอโอดีนโดยวิธีของฮานัส (Hanus) ใช้สารละลายไอโอดีนมาตรฐานในกรดอะซิติกที่มีไอโอดีนโบรไมด์ช่วยเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยากับไขมันตัวอย่างที่ทราบปริมาณที่แน่นอนซึ่งละลายในคลอโรฟอร์มหรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ทั้งไว้ในที่มีระยะเวลาหนึ่ง ไตเตรตปริมาณไอโอดีนที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)



3) ค่าสปอนนิฟิเคชัน (saponification number ; SN) (นิธิยา, 2529)

ค่าสปอนนิฟิเคชัน หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของ KOH ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล นิยมหาค่าสปอนนิฟิเคชันของลิปิดโดยต้มลิปิดที่รู้น้ำหนักแน่นอนกับสารมาตรฐาน KOH ปริมาณเกินพอ หลังจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์แล้วหาปริมาณ KOH ที่เหลือโดยนำไปไตเตรตกับกรด ซึ่งจะหาทราบปริมาณ KOH ที่ใช้ไป และนำมาคำนวณหาค่าสปอนนิฟิเคชันของลิปิดนั้นๆ ซึ่งค่าสปอนนิฟิเคชันใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดของโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าสปอนนิฟิเคชันสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทำนองเดียวกัน ถ้าค่าสปอนนิฟิเคชันต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ด่างในการไฮโดรไลซิสน้อย



ไขมันหรือน้ำมัน

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

สบู่

กลีเซอรอล

3) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value ; PV) (นิธิยา, 2529)

ค่าเปอร์ออกไซด์ หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 โมลาร์ ที่ใช้ในการไตเตรตไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม หรือมิลลิโมลของออกซิเจนต่อกิโลกรัมของไขมัน (1 มิลลิโมลเท่ากับ 2 มิลลิกรัมสมมูล)

ค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นการวัด degree of lipid oxidation โดยการหาปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าเกิด oxidative rancidity เป็นการเกิดออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมาก หรือมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิด oxidative rancidity ได้ง่าย จึงนิยมวัดค่าเปอร์ออกไซด์ เพื่อใช้ชี้บ่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน



การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดโดยเทคนิค UV-VIS spectrophotometer

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดทำโดยใช้การเปรียบเทียบกับ กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานน้ำมันที่ทำละลายในตัวทำละลายต่างๆ ทำโดยการเตรียม stock standard ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟมาตรฐานสำหรับหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างต่อไป

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันโดยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (แม้น และคณะ, 2553)

แก๊สโครมาโตกราฟีเป็นเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับแยกสารผสมซึ่งคล้ายกับลิควิดโครมาโตกราฟี (LC) แต่เทคนิคที่ใช้แยกสารที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นแก๊สเฟสได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง (ไม่เกิน 450 °C) และต้องเสถียรที่อุณหภูมินั้น ถ้าสารใดเปลี่ยนให้เป็นแก๊สเฟสยาก ก็อาจจะใช้เทคนิคอื่นๆ บางอย่างเข้าช่วยได้ เช่น อาศัยปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนให้เป็นอนุพันธ์อื่นๆ เช่น ถ้าสารตัวอย่างเป็นกรดที่มีจุดเดือดสูง อาจจะใช้วิธีทำให้เป็นเอสเทอร์จุดเดือดจะต่ำลง หรืออาจใช้หลักการแยกสลายด้วยความร้อนให้กลายเป็นสารที่มีลักษณะเป็นแก๊สได้แล้วให้แก๊สนั้นผ่านเข้าไปในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยสารที่จะทำหน้าที่แยกซึ่งเรียกว่าเฟสคงที่ (stationary phase) โดยอาศัยการพาเข้า

ไปในคอลัมน์ด้วยเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) การเกิดอันตรกิริยา (interaction) ของสารที่จะแยกกับแก๊สพาจะไม่เกิดขึ้นหรือไม่มีความสำคัญ เช่น เฟสคงที่ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ เฟสคงที่นี้จะประกอบด้วยสารที่สามารถดูดซับ (adsorbed) สารที่จะแยกได้ในทางปฏิบัติอาจเป็น gas-solid chromatography (GSC) หรือ gas-liquid chromatography (GLC) เทคนิคโครมาโตกราฟีทุกประเภทจะมีหลักการการทำงานที่คล้ายคลึงกัน นั่นคือ ทำการแยกองค์ประกอบของสารที่กระจายอยู่ระหว่างเฟสที่ไม่ผสมกันสองเฟส คือ เฟสคงที่และเฟสเคลื่อนที่ องค์ประกอบของสารตัวอย่างซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างจากเฟสทั้งสองจะเคลื่อนที่ผ่านด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน เมื่อองค์ประกอบของสารเคลื่อนที่ผ่านออกมาจากระบบจะถูกชะแล้วผ่านไปยังเครื่องตรวจวัด ซึ่งจะทำให้การรายงานผลออกมาในรูปแบบของโครมาโตแกรม เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป สิ่งที่ทำให้เทคนิคโครมาโตกราฟีแต่ละเทคนิคมีความแตกต่างกัน คือ เฟสเคลื่อนที่ สำหรับแก๊สโครมาโตกราฟีจะมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊ส

วัตถุดิบอาหารสัตว์ (วินัย, 2530)

วัตถุดิบอาหารสัตว์ เป็นแหล่งในการให้สารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์ ปริมาณสารอาหารที่มีในวัตถุดิบแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงต้องมีการนำเอาวัตถุดิบหลายชนิด มาผสมรวมกัน เพื่อให้ได้สารอาหารทุกชนิดซึ่งเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ตามชนิดของสารอาหารที่มีดังนี้

1) วัตถุดิบอาหารประเภทพลังงาน

วัตถุดิบที่มีโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 20 และให้พลังงานสูง มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าร้อยละ 18 ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าว (ปลายข้าว) รำข้าว มันสำปะหลัง มันเทศ น้ำมันพืช และไขมันสัตว์ เป็นต้น

ข้าวโพด เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารไก่ และสุกร โดยเฉพาะในอาหารไก่จะนิยมใช้มากเพราะนอกจากจะเป็นแหล่งให้พลังงานแล้วในข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองยังมีแคโรทีน ซึ่งช่วยทำให้สีของเนื้อไก่ และไข่แดงเข้มขึ้นตามความนิยมของผู้บริโภคอีกด้วย (วัตถุดิบอาหารสัตว์, 2554)

คุณสมบัติ ข้าวโพดให้พลังงานสูง มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรและสัตว์ปีกเท่ากับ 3,168 และ 3,370 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มีโปรตีนต่ำประมาณ 8-9 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดอะมิโนไลซีน ทรีฟโตเฟนและเมทไธโอนีนต่ำ มีระดับแคลเซียมต่ำแต่ฟอสฟอรัสสูง มีวิตามินบี 1 (ไทอามีน) และไนอะซินสูงแต่ไนอะซินอยู่ในรูปที่สัตว์นำไปใช้ได้ทันที ข้าวโพดเมล็ดสีขาวกับสีเหลืองมี

คุณค่าและปริมาณสารอาหารเหมือนกันต่างกันที่ข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองมี ปริมาณแคโรทีนหรือวิตามินเอสูงกว่า ข้าวโพดที่มีความชื้นสูงจะขึ้นราได้ง่าย และการปนเปื้อนของสารพิษหลายชนิด

ข้อจำกัดในการใช้ โดยทั่วไปสามารถใช้ข้าวโพดเลี้ยงสุกร หรือสัตว์ปีกโดยไม่มีข้อจำกัด แต่ในสุกรขุนการใช้ข้าวโพดในระดับสูงอาจทำให้สุกรมีลักษณะมันเหลวซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของตลาดนอกจากนี้จะต้องระมัดระวัง เลือกใช้ข้าวโพดที่มีคุณภาพดี ไม่มีราขึ้น โดยเฉพาะใช้เป็นอาหารเปิด เพราะเปิดมีความทนทานต่อสารพิษอะฟลาท็อกซินได้ค่อนข้างต่ำ

ข้อแนะนำในการใช้ ควรบดเมล็ดข้าวโพดให้ละเอียดก่อนนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์เพราะสัตว์ไม่สามารถย่อย เมล็ดข้าวโพดทั้งเมล็ดได้ ควรเลือกใช้ข้าวโพดที่แห้งสนิทไม่มีราขึ้น ควรเลือกใช้ข้าวโพดที่ไม่มีสิ่งอื่นปลอมปน เช่น ชังข้าวโพด ควรเลือกซื้อข้าวโพดมาบดเองดีกว่าซื้อข้าวโพดที่พอกำบดแล้วเนื่องจากข้าวโพดบดมักจะพบสิ่งปลอมปนสูง เช่น แกลบ หินฝุ่น เป็นต้น นอกจากนี้ยังไม่สามารถสังเกตได้ว่าการปนเปื้อนของเชื้อราหรือไม่

รายละเอียด เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวเปลือกประกอบด้วยวัตถุหุ้มผิวข้าวสารแกลบรำหยาบมีแกลบปนมากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรายละเอียดมีแกลบปนน้อยมาก มีคุณค่าอาหารสูง มีวิตามินมากกว่าข้าวสารแท้ๆ รายละเอียดเป็นอาหารสัตว์ที่สำคัญยิ่ง ใช้เลี้ยงสัตว์ได้ทุกชนิดใช้มากในอาหารโค สุกร และไก่ ในรำข้าวมีน้ำมันประมาณ 14-18 เปอร์เซ็นต์ มีการสกัดน้ำมันรำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกักที่สกัดน้ำมันออกแล้วใช้เลี้ยงสัตว์ได้ดีเช่นกัน(วัตถุดิบอาหารสัตว์,2554)

คุณสมบัติ รายละเอียดมีโปรตีนประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นรำที่ได้จากโรงสีขนาดกลาง หรือเล็กซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า รำป็นแก้ว จะมีโปรตีนต่ำประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีส่วนของแกลบปนอยู่มาก มีไขมันสูง 12-13 เปอร์เซ็นต์ ทำให้หืนง่าย เก็บไว้ไม่ได้นาน มีไวดามีนบี ชนิดต่างๆ สูง ยกเว้นในอะซิน ซึ่งอยู่ในรูปที่สัตว์ใช้ประโยชน์ได้น้อย มีคุณสมบัติเป็นยาระบาย ถ้าใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์ในปริมาณที่สูง จะทำให้สัตว์ถ่ายอุจจาระเหลว องค์ประกอบทางเคมีของรายละเอียด

ข้อจำกัดในการใช้ ไม่ควรใช้ประกอบสูตรอาหารสุกรเล็ก ระยะหย่านม ถึง 10 สัปดาห์ เนื่องจากมีปริมาณเชื้อไฮสูง

ข้อแนะนำในการใช้ ควรใช้รายละเอียดที่ใหม่ ไม่มีกลิ่นหืน ไม่ควรเก็บรายละเอียดไว้นานเกิน 30-40 วัน เพราะรายละเอียดจะเริ่มหืนสัตว์ไม่ชอบกิน ในสุกรระยะเจริญเติบโต (น้ำหนัก 20-60 กก.) ไม่ควรเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร สามารถใช้รายละเอียด ผสมในอาหารสุกรพ่อแม่พันธุ์ได้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ในอาหารไก่เนื้อ ไม่ควรใช้รายละเอียดเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร เลือกซื้อรำที่ใหม่ และไม่มีการปลอมปนด้วย วัสดุต่างๆ เช่น ดินขาวปน หินฝุ่น ชังข้าวโพด บดละเอียด เป็นต้น

2) วัตถุดิบอาหารประเภทโปรตีน

เป็นสารประกอบที่สำคัญต่อการเลี้ยงสัตว์ทุกชนิด ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ เป็นสารอาหารที่ช่วยในการสร้างเนื้อเยื่อที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย และช่วยในการสร้างและซ่อมแซมรักษาส່ว่นต่างๆ ของร่างกาย โปรตีนเป็นโภชนะที่สุกรใช้มากรองจากอาหารประเภทพลังงาน โปรตีนมีราคาแพงดังนั้นควรใช้โปรตีนในปริมาณที่ต่ำที่สุด แหล่งโปรตีนมาจาก 2 แหล่งหลักๆ ได้แก่ โปรตีนจากสัตว์ และโปรตีนจากพืช

2.1) โปรตีนจากสัตว์ อาหารโปรตีนจากสัตว์เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ประมง เช่น ปลาป่น เนื้อป่น เนื้อและกระดูกป่น เลือดป่น เศษกุ้งป่น ขนไก่ป่น เศษเหลือจากโรงพักไข่ มูลสัตว์ นมและผลิตภัณฑ์นม อาหารโปรตีนจากสัตว์มีคุณภาพสูง เพราะมีกรดอะมิโนจำเป็นมากและสมดุลกว่าแหล่งโปรตีนจากพืช

ปลาป่น ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ ให้โปรตีนสูงและมีคุณภาพดี ทำมาจากปลาเป็ด เศษปลาเล็กปลาน้อย หรือหัวปลาที่เหลือ จากโรงงานทำปลากระป๋อง ทำให้ปลาป่นที่ผลิตได้มีคุณภาพหลากหลาย ดังนั้นในการซื้อขายปลาป่น จึงมีการแบ่งเกรด ตามเปอร์เซ็นต์โปรตีนในปลาป่น โดยปลาป่นชั้นคุณภาพที่ 1 จะมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 60% ปลาป่น ชั้นคุณภาพที่ 2 มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 55% และปลาป่นชั้นคุณภาพที่ 3 มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 50% (วัตถุดิบอาหารสัตว์,2554)

คุณสมบัติ ปลาป่นมีโปรตีนสูงประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของปลาและขั้นตอนการผลิตปลาป่น มีกรดอะมิโน ไลซีน และเมทไธโอนีนสูง มีธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูง มีวิตามินบีสูง โดยเฉพาะวิตามินบี 12 และ บี 2

ข้อจำกัดในการใช้ มีราคาแพง มีการปลอมปนด้วยวัสดุอื่นที่มีราคาถูก อาทิ ทราย เปลือกหอย บด ยูเรีย ขนไก่ เป็นต้น ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง จะต้องระมัดระวังในการนำมาใช้ การใช้ปลาป่นระดับสูงเกินกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากจะทำให้อาหารผสมมีราคาแพงแล้วยังมีผลทำให้เนื้อสุกร และไข่อกลิ่นคาวปลาด้วย ปลาป่นมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ มีโปรตีนแตกต่างกันมาก ต้องระวังในการเลือกซื้อปลาป่นให้ได้

2.2) โปรตีนจากพืช เช่น ถั่วเหลืองและกากถั่วเหลือง กากเมล็ดอย่างพารา กากปาล์มน้ำมัน กากถั่วลิสง กากงา กากเมล็ดทานตะวัน กากเมล็ดฝ้าย กากมะพร้าว กากเมล็ดคั่ว กากเมล็ดดอกคำฝอย

กากถั่วเหลือง เป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลือง มี 2 ชนิด คือ กากถั่วเหลืองที่ได้จากขบวนการอัดน้ำมันและกาก ถั่วเหลือง ที่ได้จากขบวนการสกัดน้ำมันด้วยสารเคมี (วัตถุดิบอาหารสัตว์,2554)

คุณสมบัติ กากถั่วเหลืองคุณภาพโปรตีนดี รองจากปลาป่น มีโปรตีนประมาณ 42-48 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับขบวนการสกัดน้ำมัน มีไขมันอยู่ประมาณ 1-4 เปอร์เซ็นต์ มีระดับธาตุแคลเซียม และ ฟอสฟอรัสต่ำ องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง

ข้อจำกัดในการใช้ กากถั่วเหลืองที่ได้รับความร้อนไม่เพียงพอโดยเฉพาะกากถั่วเหลืองอัดน้ำมันจะยังมีสารยับยั้งทริปซิน หลงเหลืออยู่ในระดับสูง มีผลทำให้การย่อยได้ลดลงโดยเฉพาะในสัตว์เล็กจะแสดงอาการโตช้าลง กากถั่วเหลืองที่ได้รับความร้อนเกินไป จะมีสีน้ำตาลคล้ำ มีกลิ่นเหม็นไหม้ทำให้การย่อยได้ของไลซีนลดลง ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์เล็ก

ข้อแนะนำในการใช้ การใช้กากถั่วเหลืองในระดับสูง จะต้องเสริมธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินบีรวม ให้เพียงพอ การเลือกซื้อควรสังเกตดูว่า กากถั่วเหลืองนั้นไม่ดิบหรือสุกจนเกินไป อาจสังเกตง่าย ๆ โดยดูจากสี หรือโดยการชิม เช่น กากถั่วเหลืองที่สุกไม่ถึงที่ โดยเฉพาะกากถั่วเหลืองแบบอัดน้ำมันถ้าชิมดูจะมีรสและกลิ่นเหม็นเขียว เหมือนถั่วเหลืองดิบหรือถ้าสุกเกินไป กากถั่วเหลืองจะมีสีน้ำตาลไหม้ ซึ่งทำให้คุณภาพโปรตีนต่ำลง ในสัตว์เล็กควรเลือกใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน จะปลอดภัยกว่าการใช้กากถั่วเหลืองอัดน้ำมัน

3) วัตถุดิบอาหารประเภทวิตามินและแร่ธาตุ

วัตถุดิบอาหารประเภทวิตามินและแร่ธาตุ ใช้เป็นแหล่งให้วิตามินและแร่ธาตุเพิ่มเติม เพื่อหลีกเลี่ยงอัตราเสี่ยงต่อการขาดวิตามินและแร่ธาตุ โดยทั่วไปแล้วสัตว์จะต้องการวิตามินและแร่ธาตุแต่ละชนิดในปริมาณที่น้อยมากแต่ขาดไม่ได้ เพื่อให้ปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกายดำเนินไปตามปกติ วิตามินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามคุณสมบัติในการละลาย คือ วิตามินที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี เค และวิตามินที่ละลายในน้ำ ได้แก่ วิตามินบี ซี หากไปขาดจะทำให้โตช้าและเป็นโรคขาดวิตามินนั้นๆ ส่วนแร่ธาตุช่วยในการสร้างโครงกระดูก สร้างความเจริญเติบโต สร้างเลือด และอื่นๆ ร่างกายสัตว์มีแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว แร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โซเดียม คลอรีน เหล็ก กำมะถัน ไอโอดีน ทองแดง โคบอลต์ แมงกานีส และสังกะสี

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสกัดน้ำมันจากพืชไขมันในระยะเริ่มต้นวิธีการที่เป็นที่นิยมก็คือ การบีบอัด หรือ ที่เรียกว่าการหีบน้ำมัน ซึ่งวิธีการนี้เหมาะกับพืชที่มีน้ำมันในปริมาณสูง เช่น ปาล์มน้ำมัน หรือน้ำมันบางชนิดที่มีกลิ่นเฉพาะตัว เช่น น้ำมันมะกอก (Gimeno, *et al.*, 2002, Ranalli and Martinelli, 1995 and Kartika *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามยังมีพืชอีกหลายชนิดที่มีปริมาณน้ำมันไม่สูงพอที่จะ

ทำการสกัดด้วยวิธีการนี้ เช่น รำข้าว การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จึงเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยม โดยตัวทำละลายที่นิยมมากที่สุดได้แก่ เฮกเซน (Amarasinghe and Gangodavilage, 2004 and Li *et al.*, 2006) หรือในบางกรณีก็อาจมีการใช้ทั้งการบีบอัดและตัวทำละลายร่วมกัน (Proctor and Bowen, 1996, Proctor *et al.*, 1994, Hanmoungjai, *et al.*, 2000, Kuk and Doud, 1988, Johnson and Lusas, 1983 and Amarasinghe, *et al.*, 2001) ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการสกัดแบบของไหลสภาวะยิ่งยวด (Supercritical Fluid Extraction ; SFE) ซึ่งนิยมใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการสกัด (Valle *et al.*, 2004 and Wenqiang, *et al.* Q., 2007)

อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ดังกล่าวต้องใช้สารเคมีในปริมาณมากทำให้มีปัญหาในการกำจัดตัวทำละลายอินทรีย์ออกในภายหลังอีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นเครื่องมือที่มีความจำเพาะ ส่วนการสกัดด้วยของไหลสภาวะยิ่งยวดนั้น เครื่องมือที่ใช้ตลอดจนค่าดำเนินการมีราคาสูงมาก เพื่อต้องการลดความเสี่ยงและอันตรายจากการใช้สารเคมีดังกล่าว จึงไม่มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมกับสารที่ไม่เป็นอันตราย เช่น เกลือ ในการสกัด โดยทำให้วัตถุดิบที่ต้องการสกัดอยู่ในลักษณะชั้นหนืด และหลังจากนั้นทำให้น้ำมันที่ถูกสกัดออกมาอยู่ในรูปที่ถูกโซโม่จิไนซ์ ซึ่งเรียกว่าเป็นการสกัดแบบ Three phase partitioning (TPP) (Sharma *et al.*, 2002) ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันและแยกโปรตีนออกมาได้ในเวลาเดียวกัน (Dennison and Loverin, 1997 and Sharma *et al.*, 2001) หรืออาจมีการใช้เอนไซม์ซึ่งเป็นตัวเร่งทางชีวภาพช่วยในการแยกโปรตีน (Gaur *et al.*, 2007 and Rosenthala *et al.*., 2001) ในบางกรณีมีการใช้เอนไซม์ในกลุ่มไลเปสเพื่อเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันช่วยในการศึกษาการสกัด (Robinson *et al.*, 2008) ต่อมาได้มีการใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชโดยตรง (Shah *et al.*, 2005) รวมถึงใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดน้ำมัน ซึ่งส่วนมีความยุ่งยากมากในขั้นตอนการดำเนินการ และใช้เวลานานในการศึกษาแต่ละครั้ง โดยมีตัวอย่างงานวิจัยที่ทำการศึกษานี้เป็นหัวข้อ ดังนี้

Lilitchan *et al.* (2008) และคณะศึกษาวิธีการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณไขมันและแกมมาโอโรซานอลในรำข้าว โดยใช้การสกัดโดยใช้วิธีพื้นฐานและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ พบว่าการสกัดน้ำมัน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับได้ปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่าการสกัดด้วยวิธีพื้นฐาน การสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเป็นการสกัดที่ใช้เวลาน้อย และเครื่องมือที่ใช้ก็ไม่ยุ่งยาก

Hany *et al.* (2000) และคณะได้ศึกษาผลกระทบของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพน้ำมันที่สกัดได้จากผลการทดลองพบว่า ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบล้วนส่งผลต่อคุณภาพน้ำมันที่สกัดได้ จากการใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายโดยพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการเกิด Oxidation ของน้ำมัน และยังพบว่าการเตรียมวัตถุดิบยังส่งผลถึงองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้

Zigoneanu *et al.* (2008) ได้ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันรำข้าวที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้ไมโครเวฟ และใช้ตัวทำละลายคือเฮกเซน และไอโซโพรพานอลอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและรำข้าวคือ 3:1 และทดลองในอุณหภูมิต่างๆ พบว่าเฮกเซนมีประสิทธิภาพในการสกัดดีกว่าไอโซโพรพานอล

Akinoso *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลกระทบของความชื้นและความร้อน ที่ส่งผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์และการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันงา โดยศึกษาที่ความชื้น เวลา และอุณหภูมิต่างๆ พบว่าที่ความชื้นสูง 16% อุณหภูมิสูง 130 °C และใช้ระยะเวลาในการคั่วเมล็ดงา 15 นาที ส่งผลทำให้เกิดการออกซิเดชันและมีค่าเปอร์ออกไซด์มากที่สุด

Subramanian *et al.* (2011) ได้ศึกษาวิธีการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันของ piperine โดยใช้การสกัดโดยใช้วิธีพื้นฐานและวิธี DBSA (Double bypasses soxhlet apparatus) พบว่าการสกัดน้ำมัน piperine โดยใช้วิธี DBSA ให้ปริมาณน้ำมันที่เท่ากัน แต่ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าการสกัดโดยใช้วิธีพื้นฐาน การสกัดโดยวิธีพื้นฐานใช้เวลานานกว่าแต่ให้ปริมาณน้ำมันที่เท่ากัน

ซึ่งหากมองในภาพรวมเห็นได้ว่า นักวิจัยพยายามหาทางที่จะหลีกเลี่ยง รวมถึงลดต้นทุนการสกัดที่เกี่ยวข้องกับตัวทำละลายอินทรีย์ โดยหันมาใช้ตัวเร่งทางชีวภาพในการสกัดน้ำมัน แต่ก็ยังติดปัญหาในเรื่องของเวลาในการดำเนินการ ดังนั้นหากสามารถให้ตัวทำละลายอินทรีย์และสารตัวอย่างในปริมาณน้อยแต่สามารถสกัดหรือทำนายปริมาณสารหรือน้ำมันทั้งหมดที่มีในของแข็งได้นับว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ซึ่งงานวิจัยนี้เสนอการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในการสกัดและทำนายปริมาณสารทั้งหมดในของแข็ง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ไม่ยุ่งยากพบได้ในห้องปฏิบัติการ รวมถึงใช้สารเคมีในปริมาณน้อย และทำได้ในเวลาอันรวดเร็ว

อุปกรณ์และวิธีการ

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	บริษัทผู้ผลิต	ประเทศ
Acetic acid	CH_3COOH	Lab-Scan	Thailand
Chloroform	CHCl_3	VWR	England
Ethyl Acetate	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	Lab-Scan	Thailand
Heptadecanoic acid	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	Sigma-aldrich	Germany
Hydrochloric acid	HCl	Merck	Germany
Iodine mono-chloride	ICl	Panreac	Barcelona
<i>n</i> -Hexane	C_6H_{14}	Lab-Scan	Thailand
Petroleum ether	-	Merck	Germany
Phenolphthalein	$\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}$	Merck	U.S.A.
Potassium hydroxide	KOH	Merck	Germany
Potassium iodide	KI	J.T. Baker	U.S.A.
Silica gel 60 GF ₂₅₄	-	Merck	Germany
Sodium thiosulphate	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Ajax	Australia

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือ- อุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิต และ รุ่น	ประเทศ
เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)	Mettler foledo รุ่น AB204	Switzerland
ตู้อบความร้อน (Hot air oven)	Gallen Kamp รุ่น A050714	U.K.
Touch Mixer	Fisher Scientific รุ่น 232	U.S.A.
เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV – VIS spectrophotometer)	HITACHI รุ่น U – 1100	Japan
Gas chromatography	Agilent Technologies รุ่น 7890A	U.S.A.
เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge)	Lab quip รุ่น 1000	England
โถดูดความชื้น (Desiccator)	Duran	Germany
เครื่องให้ความร้อน (Hot plate and stirrer)	Fisher Scientific	U.S.A

วัตถุดิบ

1. รำละเอียด กากถั่วเหลือง อาหารสุักระยะรุ่นและอาหารสุักระยะเลี้ยงลูก (ฟาร์มสุักรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย เดือนมกราคม 2554)
2. กากถั่วเหลือง ปลาป่น (ร้านเกษตรมั่นคง อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย เดือนสิงหาคม 2554)
3. น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์ (ยี่ห้อ King ห้างสรรพสินค้าเจมส์ฟาร์ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย เดือนสิงหาคม 2554)
4. น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (ยี่ห้อ GPO ร้านชาญชัยเกตุ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย เดือนสิงหาคม 2554)
5. น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (ยี่ห้อ มรกต ห้างสรรพสินค้าเจมส์ฟาร์ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย เดือนสิงหาคม 2554)

วิธีการทดลอง

1) การหาความชื้นของวัตถุดิบ

อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ไปใส่ในโถดูดความชื้น จนกระทั่งภาชนะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบ อีกครั้งจนผลต่างของน้ำหนักต่างกันไม่มากกว่า 0.001 กรัม ชั่งตัวอย่างวัตถุดิบใส่ในภาชนะที่ทราบ น้ำหนักที่แน่นอน ซึ่งได้แก่ ไร่ละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและ อาหารสุักระยะเลี้ยงลูก ชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105°C อบ จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักของตัวอย่าง (ทำ3 ซ้ำ)

การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้นโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น(g)}} \times 100$$

2) การหาปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบด้วยวิธี Soxhlet Extraction Apparatus

(Manirakiza *et al.*, 2001)

ชั่งขวดกันกลมด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งและชั่งไร่ละเอียด อบแห้ง 15 กรัม เทลงบน กระดาษกรองห่อให้มิดชิด นำมาใส่ลงใน thimble บรรจุในชุดสกัด โดยใช้เฮกเซน และปิโตรเลียม อีเทอร์ เป็นตัวทำละลาย ใช้ในปริมาณ 250 มิลลิลิตร ใส่ในขวดกันกลมให้ความร้อนที่ระดับต่ำนาน 3-4 ชั่วโมง จากนั้น นำขวดกันกลมออกจากเตาหลุม ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไประเหยตัวทำ ละลายด้วยเครื่อง evaporator rotary นำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักและ คำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ จากนั้นเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหาร สุักระยะรุ่นและอาหารสุักระยะเลี้ยงลูก การคำนวณหาปริมาณน้ำมันทั้งหมดแสดงดังสมการ

$$\% \text{ Fat/oil} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมัน (g)}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันด้วยโครมาโตกราฟีแบบเยื่อบาง (Thin layer chromatography; TLC)

หลังจากได้น้ำมันจากร้าละเอียด ข้าวโพดอบ คากั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและอาหารสุกกระษะเลียงลูกแล้ว นำมาทดสอบองค์ประกอบของน้ำมัน โดยเทียบกับสารต่างๆ คือ กรดไขมันอิสระของสเตียริก (C18:0) และไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์)

วิธีเตรียมแผ่น TLC

1. โดยการฉาบซิลิกาเจลบนแผ่นสไลด์กล้องจุลทรรศน์โดยวิธีการจุ่ม (Dipping)
2. นำซิลิกาเจลมาละลายด้วยน้ำ โดยดูให้ซิลิกาเจลมีความหนืดพอที่จะเกาะกับแผ่นสไลด์
3. นำแผ่นแก้วจุ่มลงไปในสารละลายซิลิกาเจลจนท่วมแผ่นแก้ว
4. ยกแผ่นแก้วขึ้นมาอย่างช้าๆ และปล่อยให้ซิลิกาเจลไหลกลับลงภาชนะการเคลือบซิลิกาเจลต้องสม่ำเสมอ และไม่เกิดรอยแตกบนผิวหน้าที่ฉาบ
5. หลังจากตัวทำละลายระเหยไปอย่าง รวดเร็ว แล้วนำแผ่นที่เคลือบแล้วไปอบให้แห้ง

วิธีทดลอง

- หยคน้ำมันร้าละเอียดลงบนแผ่น TLC โดยเทียบกับกรดไขมันอิสระของสเตียริก (C18:0) และไตรกลีเซอรอล (น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์)
- หยคน้ำมันข้าวโพดลงบนแผ่น TLC โดยเทียบกับกรดไขมันอิสระของสเตียริก (C18:0) และไตรกลีเซอรอล (น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์)
- หยคน้ำมันคากั่วเหลืองลงบนแผ่น TLC โดยเทียบกับกรดไขมันอิสระของสเตียริก (C18:0) และไตรกลีเซอรอล (น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์)
- หยคน้ำมันปลาป่นลงบนแผ่น TLC โดยเทียบกับกรดไขมันอิสระของสเตียริก (C18:0) และไตรกลีเซอรอล (น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์)
- หยคน้ำมันที่ได้จากอาหารสุกกระษะรุ่นลงบนแผ่น TLC โดยเทียบกับกรดไขมันอิสระของสเตียริก (C18:0) และไตรกลีเซอรอล (น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์)
- หยคน้ำมันที่ได้จากอาหารสุกกระษะเลียงลูกลงบนแผ่น TLC โดยเทียบกับกรดไขมันอิสระของสเตียริก (C18:0) และไตรกลีเซอรอล (น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์)
- ทิ้งไว้ให้แห้ง
- วางแผ่น TLC ลงในสารละลาย mobile phase
- ทิ้งไว้จนสารละลาย mobile phase เคลื่อนที่ไปบนแผ่น TLC จนถึงด้านบนของแผ่น TLC เหลือที่ว่างไว้ประมาณ 1 เซนติเมตร
- นำแผ่น TLC ไปอังเกลือไอโอดีน จะปรากฏจุดของสารบนแผ่น TLC

การเตรียมสารละลาย Mobile phase

ผสมเอทิลอะซิเตต 5 มิลลิลิตร เฮกเซน 45 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก 1 มิลลิลิตร

4) การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดโดยเทคนิค UV-Spectrophotometer

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดทำโดยใช้การเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานน้ำมันที่ละลายในตัวทำละลายต่างๆ

1. เตรียม stock standard

ชั่งสารมาตรฐานน้ำมัน 10 mg ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ ปริมาณปรับให้เป็น 50 ml จะได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานน้ำมันเท่ากับ 0.2 mg/ml หรือ 200 ppm

2. ขั้นตอนการเตรียมกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายต่าง ๆ ในหลอดทดลองในปริมาตรต่างๆ ดังตารางที่ 1 เพื่อทำการหาค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่นที่ 210 นาโนเมตร และนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance; Abs.) กับ ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานน้ำมัน (ppm)

ตารางที่ 1 การเตรียม stock standard ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Tube no.	Stock standard (ml)	Sovent (ml)	Concentration of oil (ppm)
1.	0.00	10.00	0.00
2.	1.50	8.50	30.00
3.	3.00	7.00	60.00
4.	4.50	5.50	90.00
5.	6.00	4.00	120.00
6.	7.50	2.50	150.00

1 5) การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (K) Lilitchan *et al.* (2008)

การสกัดน้ำมันจากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุรกระยะรุ่นและอาหารสุรกระยะเลี้ยงลูก ด้วยวิธีใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (K)

1. ชั่งหลอดทดลองฝาเกลียวด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ชั่งตัวอย่างอาหารสัตว์ที่บดละเอียด 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียว 2 หลอด ทำการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลายโดยในหลอดที่ 1 เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ 4 มิลลิลิตร ส่วนหลอดที่ 2 เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ 8 มิลลิลิตร เขย่านาน 4-6 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการสกัดโดยใช้เวลา 5 นาที

2. จากนั้นเปลี่ยนตัวทำละลายเป็น เฮกเซน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร จะทำให้เราทราบปริมาณน้ำมันโดยการนำไปเทียบในกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับดังสมการที่ 3 ถึง 7

6) การศึกษาค่าสaponification (นิธิยา, 2529)

1. ชั่งน้ำมันที่ต้องการทดสอบ 2 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร (เตรียมสารละลายโดยชั่ง KOH 1.4 กรัม อย่างรวดเร็ว ใส่ในขวดก้นกลม แล้วเติมเมทานอลลงไป 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เม็ด KOH ละลายเล็กน้อย) เติมน้ำเดือด 2-3 ช้อน เพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรง ต้มโดยวิธี reflux 45 นาที

2. ปิเปตสารละลายออกมา 30 มิลลิลิตร แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ใบ หยด 0.04% phenolphthalein 1-2 หยด นำไปไทเทรตกับ 0.5 M standard HCl เปรียบเทียบปริมาตรเฉลี่ยของ HCl ที่ใช้นี้กับปริมาตรเฉลี่ยของ HCl ที่ไทเทรตกับขวดเปรียบเทียบซึ่งบรรจุ KOH 15 มิลลิลิตร คำนวณหาค่าสaponification

ค่าสaponification = มิลลิลิตรของ KOH ที่ใช้ในการไทเทรตลิปิด 1 กรัม

$$= \frac{56 \times N(B - A)}{W}$$

A = มิลลิลิตรเฉลี่ยของ 0.5 M standard HCl ที่ใช้ในการไทเทรตขวดตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรเฉลี่ยของ 0.5 M standard HCl ที่ใช้ในการไทเทรตขวดเปรียบเทียบ

N = ความเข้มข้นของ HCl (0.5 M)

W = น้ำหนักลิปิด (g)

7) การศึกษาค่าไอโอดีน (อภิญา 2551)

1. ชั่งน้ำมันที่ต้องการทดสอบ 0.3-0.4 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ลงในขวดที่มีฝาปิด แล้วเปิด ICI เติมน้ำลงไป 25 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดและตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง โดยเขย่าบ้างเป็นบางครั้ง ในขณะที่เดียวกันก็เตรียมขวดเปรียบเทียบ ซึ่งใช้คลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร แทนสารละลายลิปิด

2. ถ่ายสารละลายจากขวดที่มีฝาปิด ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรที่ใช้น้ำกลั่น ปริมาณน้อยๆ ล้างสารที่ติดอยู่ในขวดสีชา และล้างมาในขวดรูปชมพู่ให้หมด เปิด KI เติมน้ำลงไป ขวดรูปชมพู่ 10 มิลลิลิตร แล้วปิดให้สนิททันทีด้วยพาราฟิล์ม เขย่าให้เข้ากันจะเกิดก๊าซ I_2 ขึ้น ไตรเตทหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย $Na_2S_2O_3$ เมื่อไตรเตทจนได้สารละลายสีเหลืองซีด (โดยเทียบสีเหลืองของขวดตัวอย่างให้เท่ากับขวดเปรียบเทียบ) เติมน้ำแบ่งลงไป 1 มิลลิลิตร น้ำแบ่งจะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้สารละลายเป็นสีน้ำเงิน

3. ไตรเตทต่อจนสีน้ำเงินหายไป ระหว่างไตรเตทค่อยๆ เติมน้ำ $Na_2S_2O_3$ ที่ละน้อยและต้องเขย่าอย่างแรงตลอดเวลาเพื่อให้แน่ใจว่า I_2 ถูกดึงออกจากชั้นของคลอโรฟอร์มและทำปฏิกิริยาได้เต็มที่

4. บันทึกปริมาตรสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไตรเตทขวดตัวอย่างและขวดเปรียบเทียบคำนวณหาค่าไอโอดีน

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{1.27(B - C)}{\text{น้ำหนักน้ำมัน (g)}}$$

B = มิลลิลิตรของ 0.1 M $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไตรเตทขวดเปรียบเทียบ

C = มิลลิลิตรของ 0.1 M $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไตรเตทขวดตัวอย่าง

8) การศึกษาค่ากรด (ดาวลัย, 2550)

ซึ่งตัวอย่างน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธี Soxhlet Extraction Apparatus คือน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ให้ได้น้ำมันที่แน่นอน ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ neutral solvent คือ Isopropyl alcohol และ Toluene ในอัตรา 1:1 เขย่าเบาๆ ไตรเตทกับ 0.1 N KOH โดยมี phenolphthalein เป็น indicator

$$\text{ค่ากรด} = \frac{56.1 \times \text{Normality ของ KOH} \times \text{ml KOH ที่ใช้ในการไทเทรต}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ (g)}}$$

9) การศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ (คณิตา, 2542)

1. ชั่งน้ำมันตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 1 กรัม) ใส่ลงในหลอดแก้วที่สะอาดและแห้งสนิท
2. ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ ใส่ลงไป 1 กรัม จากนั้นเติมตัวทำละลายผสมลงไป 20 มิลลิตร (ตัวทำละลายผสม ประกอบด้วยกรดอะซิติก 3 ส่วน และคลอโรฟอร์ม 2 ส่วน ปริมาตรต่อปริมาตร ผสมให้เข้ากันก่อนเทลงในหลอดแก้ว) ควรทำในตู้ดูดควัน (fume hood) นำหลอดแก้วไปต้มในน้ำเดือดปล่อยให้เดือดนานไม่เกิน 30 วินาที
3. เทของเหลวที่กำลังเดือดลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิตร ที่มีสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 20 มิลลิตร ล้างหลอดแก้วด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ครั้งละ 15 และ 10 มิลลิตร ตามลำดับ เทน้ำที่ล้างลงในขวดรูปชมพู่
4. ไทเทรตสารละลายในขวดรูปชมพู่ด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.002 โมลาร์ จนสีเหลืองจางลง เติมน้ำเปล่าลงไป 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตต่อจนถึงจุดยุติ คือเมื่อสีฟ้าจางหายไปหมดจนสารละลายไม่มีสี
5. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้กับน้ำมันตัวอย่าง (A มิลลิตร) และที่ใช้กับ Blank (B มิลลิตร) คำนวณหาค่าเปอร์ออกไซด์

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = \frac{A - B \text{ (มิลลิตร)}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้ (g)}}$$

10) การเตรียมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้ (เอกสิทธิ์ คงเจริญ, 2548)

ชั่งน้ำมันประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียว (Screw cap test tube) ขนาด 10 มิลลิตร จากนั้นเติมโทลูอิน 2 ml และ 1% โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ในเมทานอล 2 ml ปิดฝาเกลียวให้แน่น เขย่าให้เข้ากัน นำไปใส่ในเตาไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 10 วินาที ตั้งทิ้งไว้สักครู่ หลังจากนั้นเติมกรดอะซิติกเพื่อหยุดปฏิกิริยา และเติมน้ำกลั่นเพื่อให้เกิดการแยกชั้น ดูดส่วนบนเก็บไว้ ล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง แล้วจึงเติม Na_2SO_4 (Anhydrous) เพื่อดูดน้ำ

11) การศึกษาองค์ประกอบของสารตัวอย่างโดยเทคนิค Gas Chromatography (GC)

หลังจากที่เตรียมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์จากตัวอย่างน้ำมันแล้ว ทำการเตรียมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าว และน้ำมันปาล์ม (เตรียมเหมือนหัวข้อ 2.4.10) จากนั้นนำมาวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax 30m $\times$ 0.32mm $\times$ 0.25 μ m (Crossbond Carbowax polyethylene glycol) ใช้ตัวตรวจวัดแบบเฟลมไอออไนเซชัน

สถานะที่ใช้ในการทดลอง

- แก๊สตัวพา (Carrier gas) : แก๊สไนโตรเจน
- ความดันเกจ : แก๊สไนโตรเจน 75 KPa
: แก๊สไฮโดรเจน 60 KPa
: แก๊สออกซิเจน 5 KPa
- อุณหภูมิ : อินเจกเตอร์ (Injector port) 230 องศาเซลเซียส
: เครื่องตรวจจับ (Detector) 230 องศาเซลเซียส
: เตาอบ (Oven) แบบสถานะโปรแกรมอุณหภูมิ (Temperature program) อุณหภูมิเริ่มต้น 40 เพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียสต่อ นาที จนถึงอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส
- ปริมาณสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไป : 0.2 ไมโครลิตร split less 100 : 1

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1) ความชื้นของวัตถุดิบ

การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่น และระษะเลียงลูก โดยการนำตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 °C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2

$$\% \text{ ความชื้นโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}} \times 100$$

ตารางที่ 2 เปอร์เซนต์ความชื้นของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระษะเลียงลูก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)		ความชื้น (%)	
	ก่อนอบ	หลังอบ	จากการทดลอง	ข้อมูลอ้างอิง[3]
รำละเอียด	5.0030	4.4968	10.12	ไม่เกิน 13
ข้าวโพดบด	5.0011	4.3831	12.35	ไม่เกิน 13
กากถั่วเหลือง	5.0026	4.3832	12.38	ไม่เกิน 13
ปลาป่น	5.0031	4.3851	12.35	ไม่เกิน 13
อาหารสุกกระษะรุ่น	5.0023	4.4734	10.58	ไม่เกิน 13
อาหารสุกกระษะเลียงลูก	5.0020	4.4467	11.10	ไม่เกิน 13

จากตารางที่ 2 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระษะเลียงลูก เท่ากับ 10.12%, 12.35%, 12.38%, 12.35%, 10.58% และ 11.10% ตามลำดับ ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดซึ่งรายงานโดยวินัย ประถมพัญญ์ (วินัย, 2530) แสดงถึงคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ดี รวมถึงบ่งบอกการเก็บรักษาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีการป้องกันจากความชื้น ซึ่งความชื้นมีผลต่อการสาคตัวน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายอีกด้วย

2) เปอร์เซ็นต์น้ำมันรวมของวัตถุดิบ

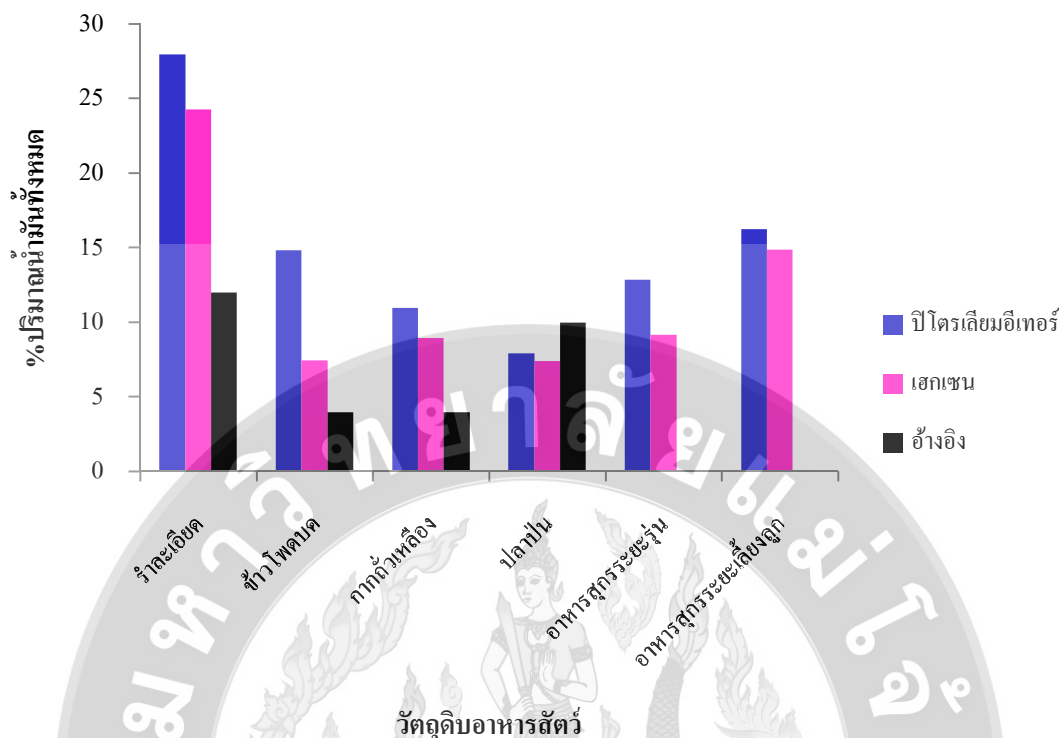
การหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันรวมของน้ำมันรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก โดยการนำตัวอย่างอบแห้ง ไปสกัดน้ำมัน โดยใช้วิธี Soxhlet Extraction Apparatus มีปิโตรเลียมอีเทอร์และเฮกเซนเป็นตัวทำละลายตามวิธีการข้อ 2 แล้วคำนวณ ดังสมการ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 1

$$\% \text{ Fat/oil} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมัน (g)}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์น้ำมันของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก

ตัวอย่าง	น้ำมันรวม (%โดยน้ำหนักแห้ง)		
	ปิโตรเลียมอีเทอร์	เฮกเซน	ข้อมูลอ้างอิง(วินัย, 2530)
รำละเอียด	27.95	24.24	10-12
ข้าวโพดบด	14.82	7.47	1-4
กากถั่วเหลือง	10.97	8.96	1-4
ปลาป่น	7.94	7.42	7-10
อาหารสุักระยะรุ่น	12.84	9.16	-
อาหารสุักระยะเลี้ยงลูก	16.24	14.87	-
- หมายถึง ไม่ได้มีรายงาน			

จากตารางที่ 3 พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันรวม (%โดยน้ำหนักแห้ง) ของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ที่สกัดโดยวิธี Soxhlet Extraction Apparatus โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 27.95%, 14.82%, 10.97%, 7.94%, 12.84% และ 16.24% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำมันรวมที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 24.24%, 7.47%, 8.96%, 7.42%, 9.16% และ 14.87% ตามลำดับ การเปรียบเทียบแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างจากการทดลองและข้อมูลอ้างอิง (วินัย, 2530)

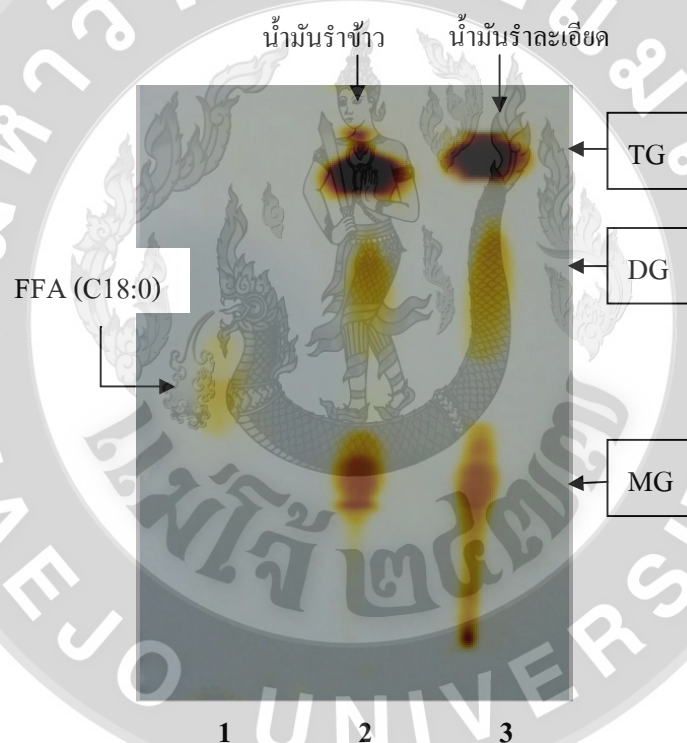
เปอร์เซ็นต์น้ำมันรวมที่สกัดได้จากปลาป่น (7.94%) มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งข้อมูลที่ได้จากอ้างอิง ซึ่งรายงานโดยวินัย ประถมพิทักษ์ (วินัย, 2530) แต่ปริมาณน้ำมันรวมของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ต่างไปจากแหล่งอ้างอิงอาจเนื่องมาจากแหล่งที่มา พันธุ์ และพื้นที่ปลูกของวัตถุดิบ อาหารสัตว์แต่ละชนิดส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่ต่างกันออกไป รวมถึงเทคนิควิธีการสกัดและชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดวัตถุดิบอาหารสัตว์ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่ต่างกัน

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่ารำละเอียดมีปริมาณน้ำมันมากที่สุด เนื่องจากรำละเอียดจัดอยู่ในกลุ่มของอาหารพลังงานจึงมีปริมาณของโปรตีนต่ำ ไขมันสูง เช่นเดียวกับข้าวโพดบดที่จัดอยู่ในกลุ่มอาหารพลังงาน จึงมีปริมาณของน้ำมันมาก ส่วนกากถั่วเหลืองกับปลาป่นจัดอยู่ในกลุ่มของอาหารโปรตีน จึงมีปริมาณของโปรตีนสูง ไขมันต่ำ ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันน้อยกว่าวัตถุดิบอาหารประเภทพลังงาน อาหารสุกรระยะเลี้ยงลูกพบว่ามีปริมาณน้ำมันสูงกว่าอาหารสุกรระยะรุ่น เนื่องจากสุกรในระยะเลี้ยงลูกมีความต้องการพลังงานสูง โปรตีนต่ำ เพื่อรักษาน้ำหนักตัวให้คงที่ จึงมีส่วนผสมของวัตถุดิบประเภทพลังงานมาก ในสุกรระยะรุ่นต้องการวัตถุดิบอาหารประเภทโปรตีนมากกว่าพลังงาน เพราะต้องใช้ในการเจริญเติบโต และสร้างเนื้อแดง จึงทำให้ปริมาณที่ได้ในอาหารสุกรระยะเลี้ยงลูกมากกว่าอาหารสุกรระยะรุ่น (การให้อาหารสุกรระยะต่างๆ, 2554)

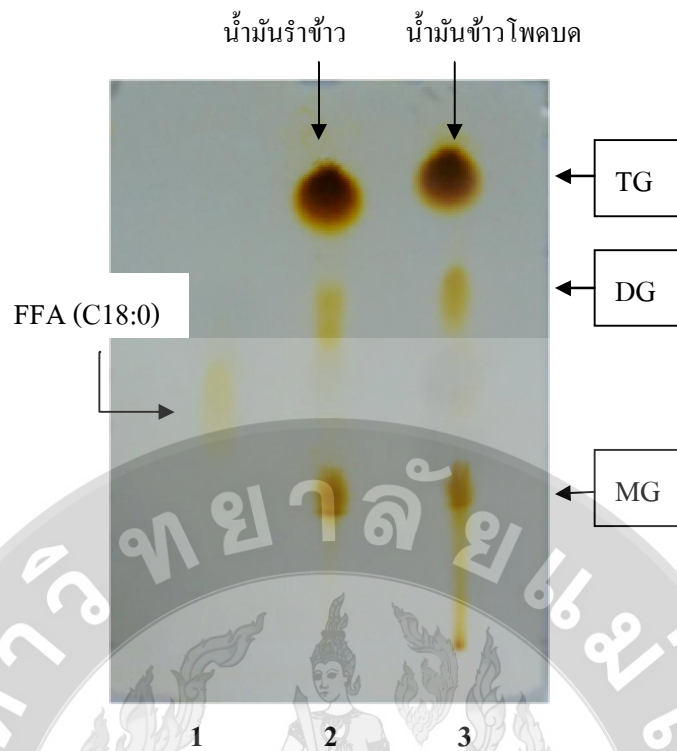
3) การตรวจสอบน้ำมันด้วยโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบของน้ำมันตัวอย่างที่สกัดได้ที่ประกอบด้วย โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์

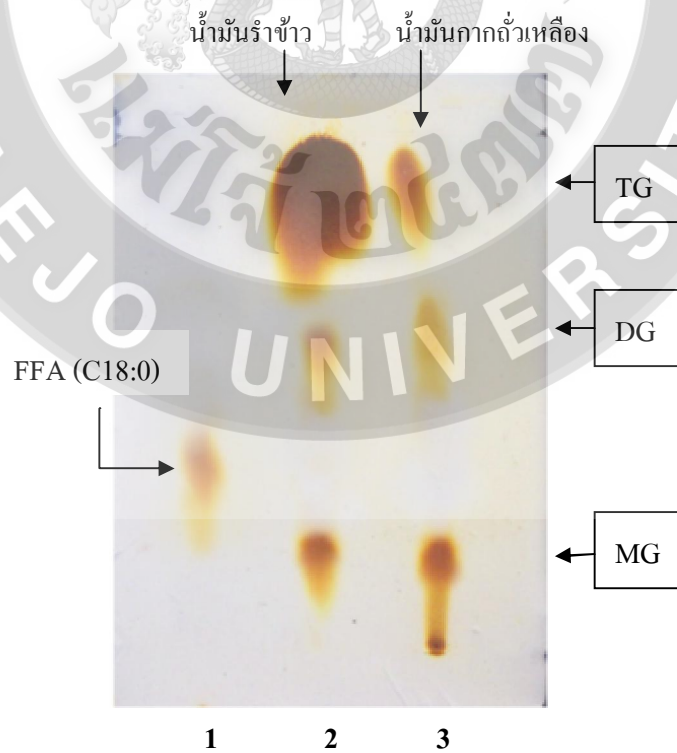
นำน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักรระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูกมาทดสอบองค์ประกอบเบื้องต้นของน้ำมันด้วย TLC โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์ และกรดไขมันอิสระของกรดสเตียริก (C18:0) ตามวิธีข้อ 3 ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 2-7



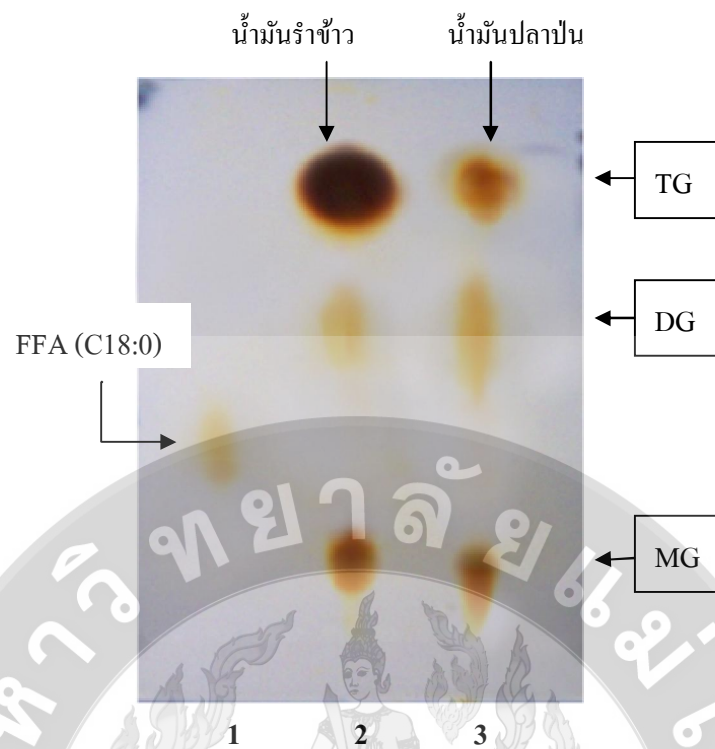
ภาพที่ 2 ธินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากรำละเอียด



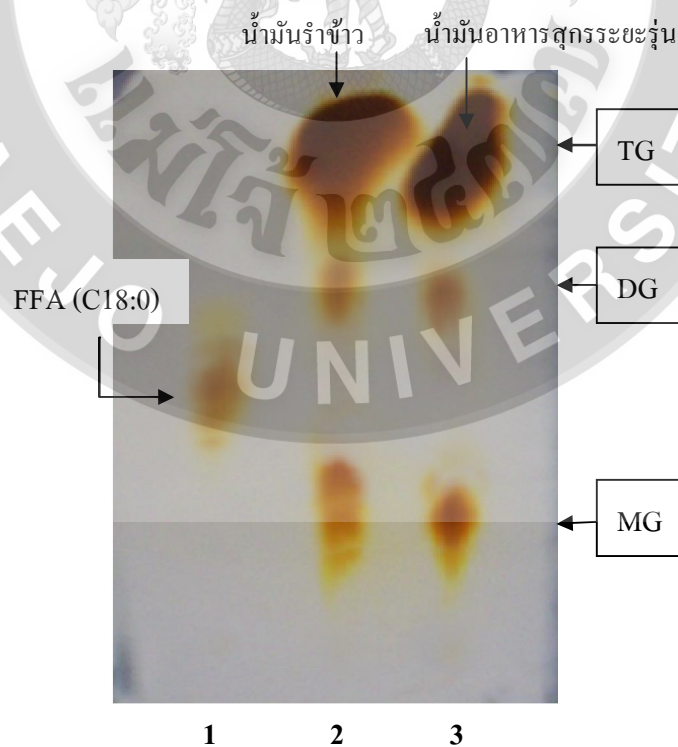
ภาพที่ 3 ธินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากข้าวโพดบด



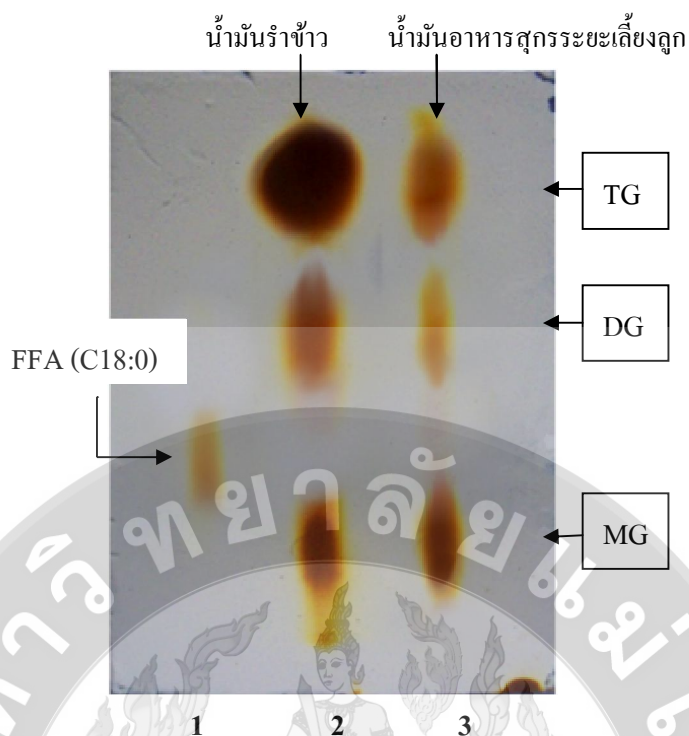
ภาพที่ 4 ธินเลเยอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากกากถั่วเหลือง



ภาพที่ 5 ชินเลเซอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากปลาปน



ภาพที่ 6 ชินเลเซอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากอาหารสุกรระยะขุน



ภาพที่ 7 ชินเลเซอร์โครมาโตกราฟี ของการทดสอบน้ำมันจากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก

หมายเหตุ

หมายเลข 1 คือ กรดไขมันอิสระของกรดสเตียริก (C18:0)

หมายเลข 2 คือ น้ำมันรำข้าว

หมายเลข 3 คือ น้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ตามลำดับ

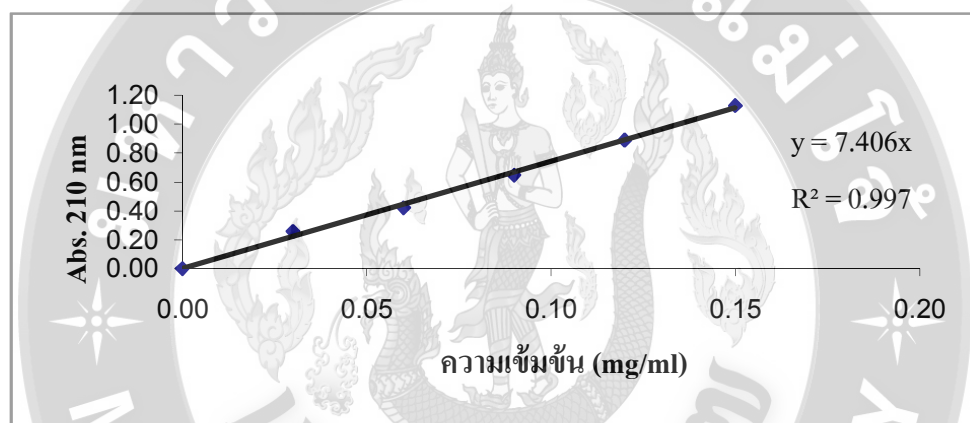
เฟสเคลื่อนที่ คือ เฮกเซน 45 มิลลิลิตร เอทิลอะซิเตต 5 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก 1 มิลลิลิตร

จากผลการทดสอบด้วยชินเลเซอร์โครมาโตกราฟี (TLC) พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ในช่องหมายเลข 3 เหมือนกับน้ำมันรำข้าวในช่องหมายเลข 2 ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำมันพืช คือ โมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์

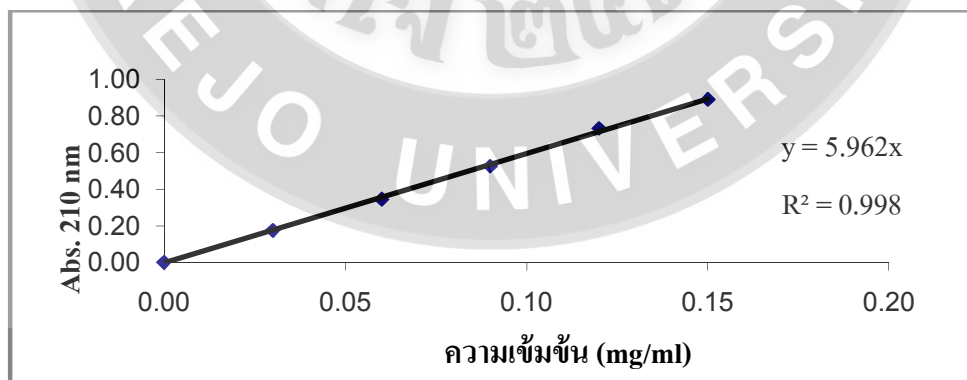
4) การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดโดยเทคนิค UV-Spectrophotometer

กราฟมาตรฐานน้ำมัน

วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานนั้นนับว่าเป็นวิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันทั่วไป สามารถทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด โดยเทียบกับ blank และนำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำการวัด ในการทดลองนี้ได้กราฟมาตรฐานน้ำมันพืชปาล์มที่ละลายในตัวทำละลายต่างกัน 2 ชนิด คือ ปิโตรเลียมอีเทอร์ และเฮกเซน โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 210 nm (อภิญา, 2551) ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 8



(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 กราฟมาตรฐานน้ำมันที่วิเคราะห์โดยละลายน้ำมันในตัวทำละลายอินทรีย์ (ก) ปิโตรเลียมอีเทอร์ และ (ข) เฮกเซน

กราฟมาตรฐานน้ำมัน (ภาพที่ 8) ถูกนำมาใช้ในการหาปริมาณน้ำมันจากการสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

5) การสกัดน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันออกมาจากตัวอย่างเกือบได้ทั้งหมดจึงเหมาะสำหรับการทดลองนี้ ซึ่งใช้การสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเป็นการสกัดที่ใช้ปริมาณตัวอย่าง และตัวทำละลายที่น้อยแต่ได้ประสิทธิภาพในการทดลองสูง

การสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย

จากการสกัดน้ำมันจากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุรกระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์แล้วนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของน้ำมันโดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ 3 หรือ 4 และคำนวณหาปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ควรจะมีในรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุรกระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ผลแสดงดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำมันและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย

ตัวอย่าง	ปริมาณ ปิโตรเลียม อีเทอร์ที่ใช้ (ml)	X ₁ และ X ₂	ปริมาณน้ำมันใน ของแข็ง (Y)		ค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับ (K)
			Mg/g	%	
รำละเอียด					
ชุดที่ 1	4	142.04	152.75	16.984	3.32
ชุดที่ 2	8	147.20			
ข้าวโพดบด					
ชุดที่ 1	4	86.97	97.22	11.091	2.12
ชุดที่ 2	8	91.81			

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำมันและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย
(ต่อ)

ตัวอย่าง	ปริมาณ ปิโตรเลียม อีเทอร์ที่ใช้ (ml)	X_1 และ X_2	ปริมาณน้ำมันใน ของแข็ง (Y)		ค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับ (K)
			Mg/g	%	
กากถั่วเหลือง					
ชุดที่ 1	4	55.20	67.66	7.718	1.11
ชุดที่ 2	8	60.80			
ปลาป่น					
ชุดที่ 1	4	46.80	50.98	5.813	2.80
ชุดที่ 2	8	48.80			
อาหารสุกกระษะรูน					
ชุดที่ 1	4	54.55	65.22	7.290	1.28
ชุดที่ 2	8	59.41			
อาหารสุกกระษะ เลี้ยงลูก					
ชุดที่ 1	4	115.58	131.76	14.816	1.79
ชุดที่ 2	8	123.14			

หมายเหตุ : Y คือ ปริมาณน้ำมันในของแข็ง (โดยน้ำหนักแห้ง)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

X_1 คือ ปริมาณตัวถูกละลายในวัฏภาคของตัวทำละลายที่สกัดได้ในชุดที่ 1

X_2 คือ ปริมาณตัวถูกละลายในวัฏภาคของตัวทำละลายที่สกัดได้จากการใช้ปริมาณของ
ตัวทำละลายเป็น 2 เท่าในการสกัดชุดที่ 2

การสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

จากการสกัดน้ำมันจากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ด้วยเฮกเซนแล้วนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของน้ำมันโดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ 3 หรือ 4 และคำนวณหาปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ควรจะมีในรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ผลแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำมันและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

ตัวอย่าง	ปริมาณ เฮกเซน ที่ใช้ (ml)	X ₁ และ X ₂	ปริมาณน้ำมันใน ของแข็ง (Y)		ค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับ (K)
			Mg/g	%	
รำละเอียด					
ชุดที่ 1	4	61.86	65.72	7.307	4.01
ชุดที่ 2	8	63.73			
ข้าวโพดบด					
ชุดที่ 1	4	30.46	32.68	3.728	3.43
ชุดที่ 2	8	31.53			
กากถั่วเหลือง					
ชุดที่ 1	4	43.96	46.01	5.249	5.36
ชุดที่ 2	8	44.96			
ปลาป่น					
ชุดที่ 1	4	20.92	21.82	2.488	5.81
ชุดที่ 2	8	21.36			
อาหารสุักระยะรุ่น					
ชุดที่ 1	4	59.84	64.60	7.220	3.14
ชุดที่ 2	8	62.13			

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำมันและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย (ต่อ)

ตัวอย่าง	ปริมาณ		ปริมาณน้ำมันใน		ค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับ (K)
	เฮกเซน ที่ใช้ (ml)	X_1 และ X_2	ของแข็ง (Y)		
			Mg/g	%	
อาหารสุกกระยะ					
เลี้ยงลูก					
ชุดที่ 1	4	43.74	47.08	5.294	3.27
ชุดที่ 2	8	45.35			

หมายเหตุ : Y คือ ปริมาณน้ำมันในของแข็ง (โดยน้ำหนักแห้ง)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

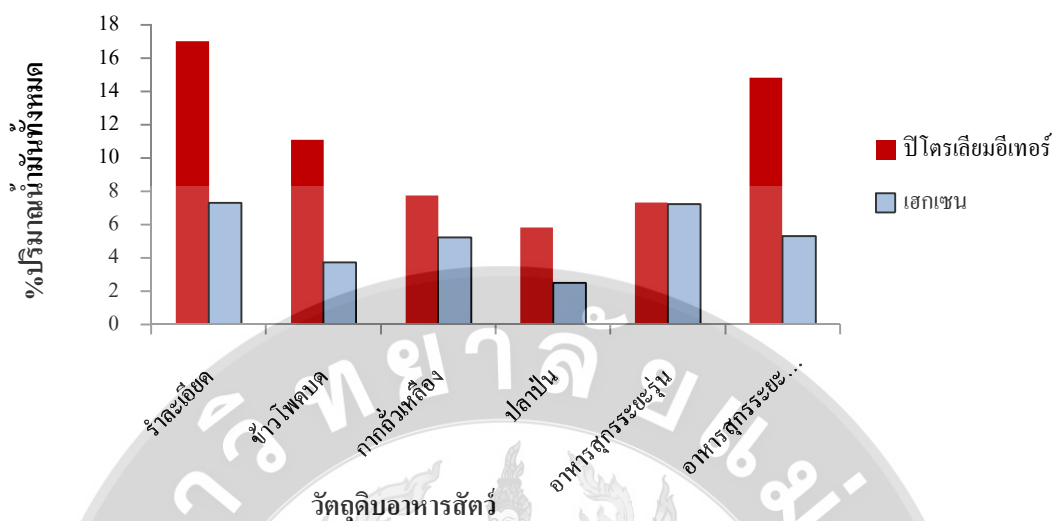
X_1 คือ ปริมาณตัวถูกละลายในวัฏภาคของตัวทำละลายที่สกัดได้ในชุดที่ 1

X_2 คือ ปริมาณตัวถูกละลายในวัฏภาคของตัวทำละลายที่สกัดได้จากการใช้ปริมาณของตัวทำละลายเป็น 2 เท่าในการสกัดชุดที่ 2

ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์และเฮกเซนที่สกัดได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแสดงดังตาราง 5 และภาพที่ 9

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำมันทั้งหมดเมื่อสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเมื่อใช้ตัวทำละลายคือปิโตรเลียมอีเทอร์และเฮกเซน

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (%โดยน้ำหนักแห้ง)	
	ปิโตรเลียมอีเทอร์	เฮกเซน
รำละเอียด	16.984	7.307
ข้าวโพดบด	11.091	3.728
กากถั่วเหลือง	7.718	5.249
ปลาป่น	5.813	2.488
อาหารสุกกระชะรุ่น	7.290	7.220
อาหารสุกกระชะเลี้ยงลูก	14.816	5.294

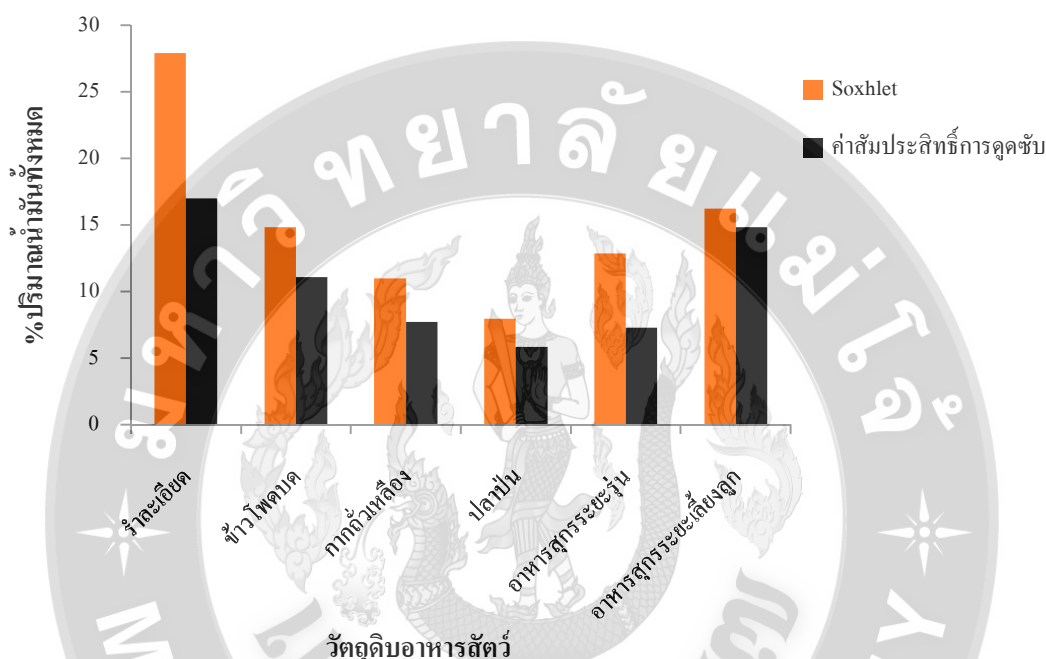


ภาพที่ 9 ปริมาณน้ำมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่สกัดได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์กับเฮกเซน

ผลจากการทดลองพบว่าการสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ได้ปริมาณน้ำมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง) คือ 16.984, 11.091, 7.718, 5.813, 7.290 และ 14.816 ในรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกรระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูกตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับเฮกเซน เนื่องจากสภาพผิวของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ปิโตรเลียมอีเทอร์มีความเป็นขี้ดต่ำกว่าเฮกเซน ทำให้มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

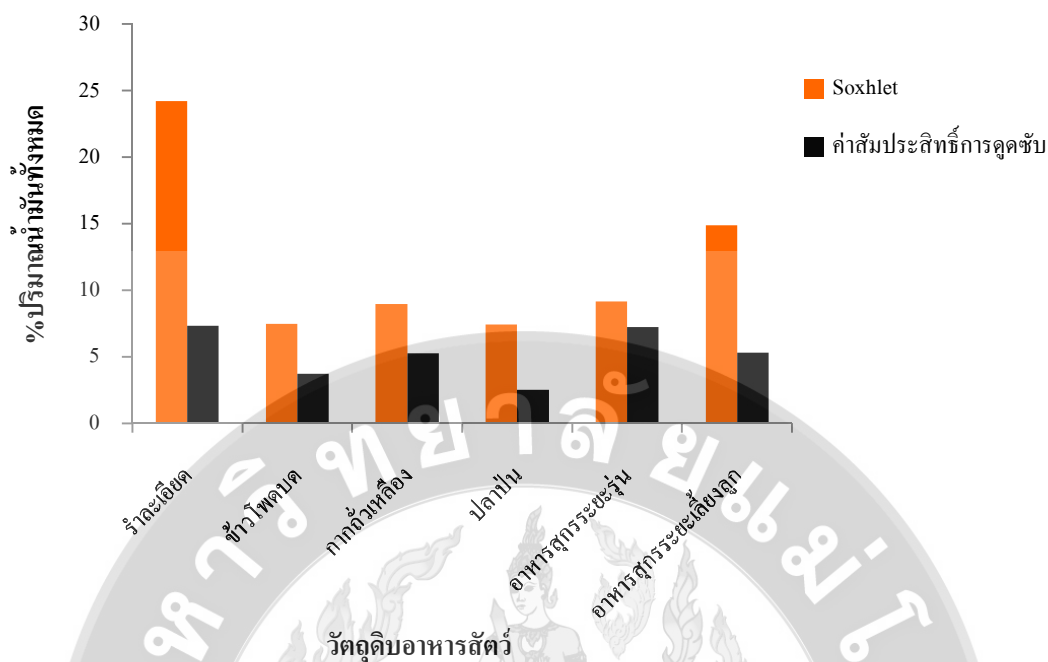
การเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้เทคนิคซอกซ์เลตและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

ปริมาณน้ำมันของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ที่สกัดได้โดยใช้เทคนิค Soxhlet extraction และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ โดยมีปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ปริมาณน้ำมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ที่สกัดด้วย Soxhlet กับการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

ปริมาณน้ำมันของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ที่สกัดได้โดยใช้เทคนิค Soxhlet extraction และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ โดยมีเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในตัวทำละลายหกชนิดที่สกัดด้วย Soxhlet
กับการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

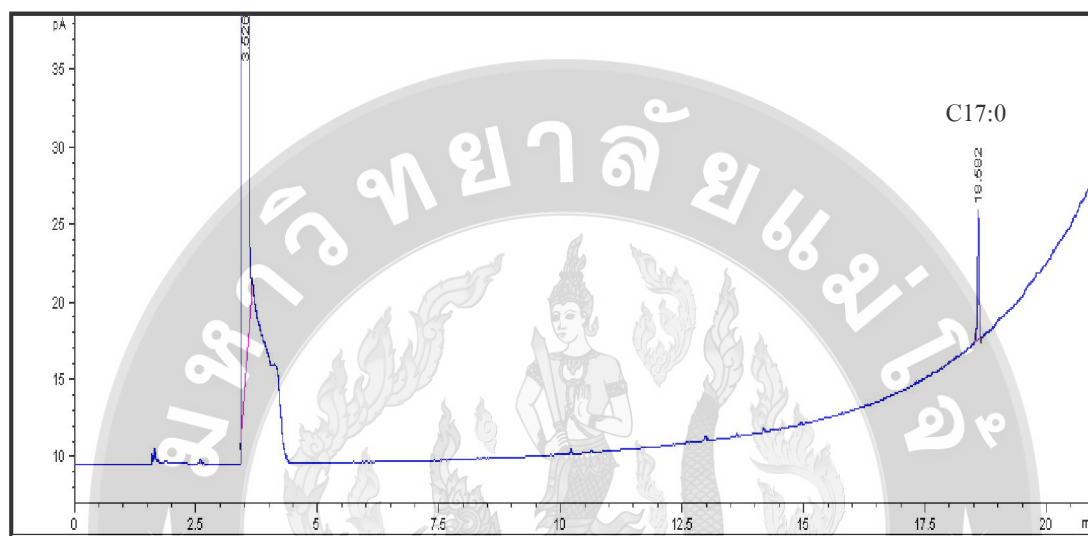
จากการทดลองพบว่าวิธีการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ การสกัดโดยใช้ Soxhlet โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย เป็นการสกัดแบบต่อเนื่อง ทำให้ตัวทำละลายสัมผัสสารที่ต้องการสกัดหลายครั้งจึงสามารถสกัดสารที่ต้องการออกมาได้มากกว่า หากในตัวอย่างมีความชื้นปนอยู่ตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขีดความสามารถในการเข้าไปสกัดสารก็จะลดลงเนื่องจากน้ำหรือความชื้นในวัตถุดิบอาหารสัตว์จะไปกีดขวางการเข้าไปสัมผัสของตัวทำละลายกับสารที่ต้องการสกัดทำให้ไม่สามารถนำสารออกมาได้ดี ส่วนในกรณีตัวทำละลายที่มีสภาพขี้สูงทำให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำได้ ดังนั้นน้ำหรือความชื้นจึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการสกัดสาร

6) การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

นำอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุรกระษะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเทคนิค GC โดยเปรียบเทียบเวลาในการแยกกับสารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่มีจำนวนคาร์บอน 17 อะตอม อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม และอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าว

การวิเคราะห์สารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่มีจำนวนคาร์บอน 17 อะตอม

สารมาตรฐานที่วิเคราะห์ด้วย GC คือ อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน C17:0 โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมที่ได้แสดงดังภาพที่ 12 และค่าเวลาคงค้างของสารมาตรฐานดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 7



ภาพที่ 12 โครมาโตแกรมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของสารมาตรฐานที่มีจำนวนคาร์บอน 17 อะตอม ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

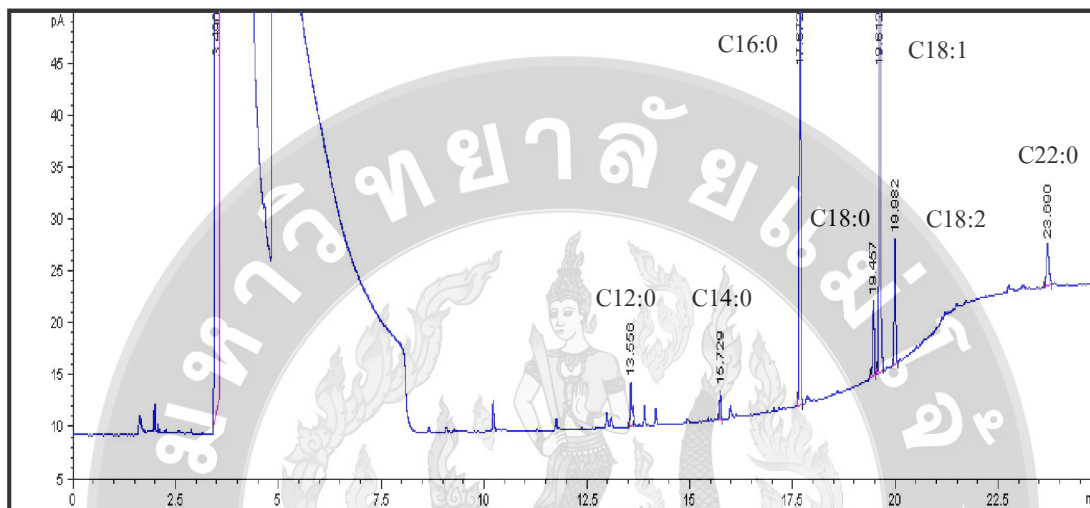
ตารางที่ 7 ค่าเวลาคงค้างกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของสารมาตรฐานที่มีจำนวนคาร์บอน 17

Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.526
2	Heptadecanoic acid methyl ester (C17:0)	18.582

จากโครมาโตแกรมพบค่าสารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์จำนวนคาร์บอน 17 อะตอม คือ Heptadecanoic acid methyl ester (C17:0) มีค่าเวลาคงค้าง 18.582 นาที ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็น ตัวเปรียบ เทียบกับโครมาโตแกรมของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันรำละเอียด ข้าวโพด บด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระยะร้อนและระยะเลี้ยงลูก เพื่อหาลำดับประกอบในกรดไขมัน เมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันตัวอย่างได้

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 13 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 8



ภาพที่ 13 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

ตารางที่ 8 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม

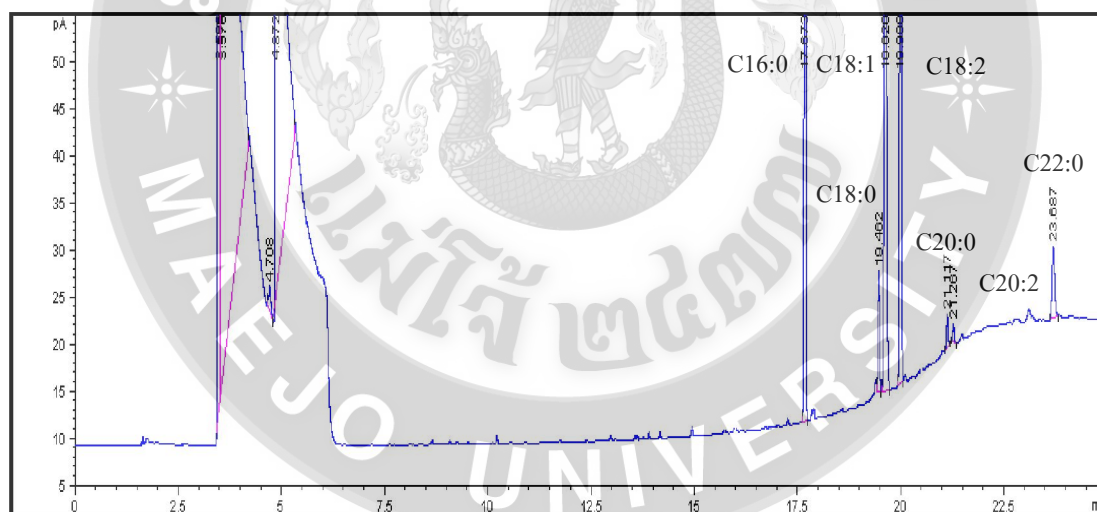
Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.490
2	Lauric acid methyl ester (C12:0)	13.556
3	Myristic acid methyl ester (C14:0)	15.729
4	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.672
5	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.457
6	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.612
7	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.982
8	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.690

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันปาล์มประกอบด้วย กรดลอริก (C12:0) กรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิติก (16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1)

กรดลิโนเลอิก (C18:2) และกรดเบเฮนิก (C22:0) ซึ่งทราบได้จากการเปรียบเทียบค่าเวลาคงค้างกับสารมาตรฐานในตารางที่ 7 ในน้ำมันปาล์มมีกรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดโอเลอิก (C18:1) เป็นองค์ประกอบหลักที่เด่นที่สุด และพบว่าองค์ประกอบที่เด่นของน้ำมันปาล์มคือกรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดโอเลอิก (C18:1) ตรงกันกับองค์ประกอบเด่นที่รายงานโดยไพจิตร จันทรวงษ์ (ไพจิตร, 2530) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับโครมาโตแกรมของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันรำละเอียด ข้าวโพดคด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก เพื่อหาองค์ประกอบในกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันตัวอย่างได้

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าว

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าวทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 14 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 14 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าว ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

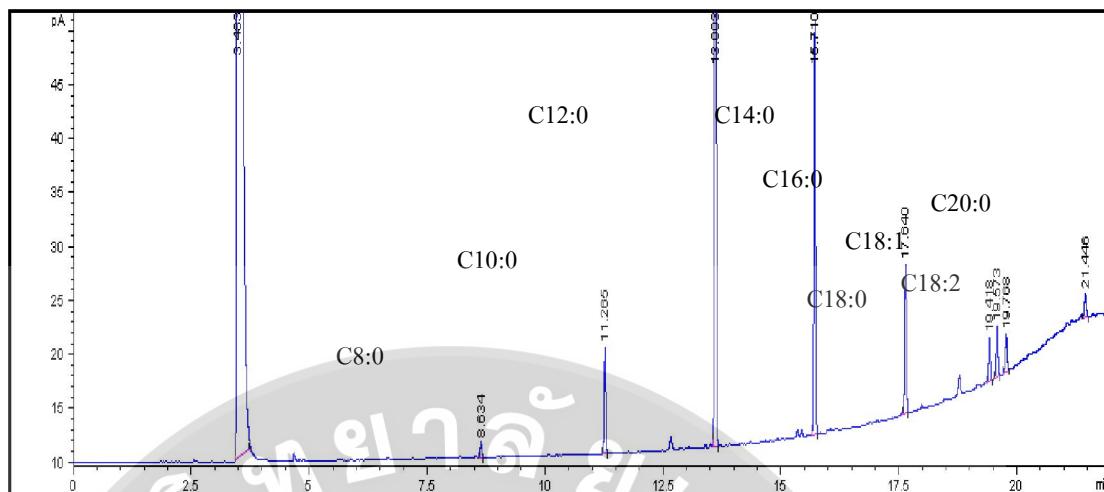
ตารางที่ 9 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าว

Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.576
2	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.673
3	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.462
4	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.620
5	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.988
6	Arachidic acid methyl ester (C20:0)	21.117
7	Eicosadienoic acid methyl ester (C20:2)	21.267
8	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.687

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันรำข้าวพบว่าประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) กรดลิโนเลอิก (C18:2) กรดอะราซิดิก (C20:0) กรดอีโคซาไดโนอิก (C20:2) และกรดเบเฮนิก (C22:0) โดยที่ในน้ำมันรำข้าวมีกรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) กรดลิโนเลอิก (C18:2) เป็นองค์ประกอบที่เด่นที่สุด และพบว่าองค์ประกอบที่เด่นของน้ำมันรำข้าว คือกรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) กรดลิโนเลอิก (C18:2) ตรงกันกับองค์ประกอบเด่นที่รายงานโดยไพจิตร จันทรวงค์ (ไพจิตร, 2530) สามารถนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับโครมาโตแกรมของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก เพื่อหาองค์ประกอบในกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันตัวอย่างได้

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าว

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าวทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 15 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 10



ภาพที่ 15 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าว ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์

Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

ตารางที่ 10 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าว

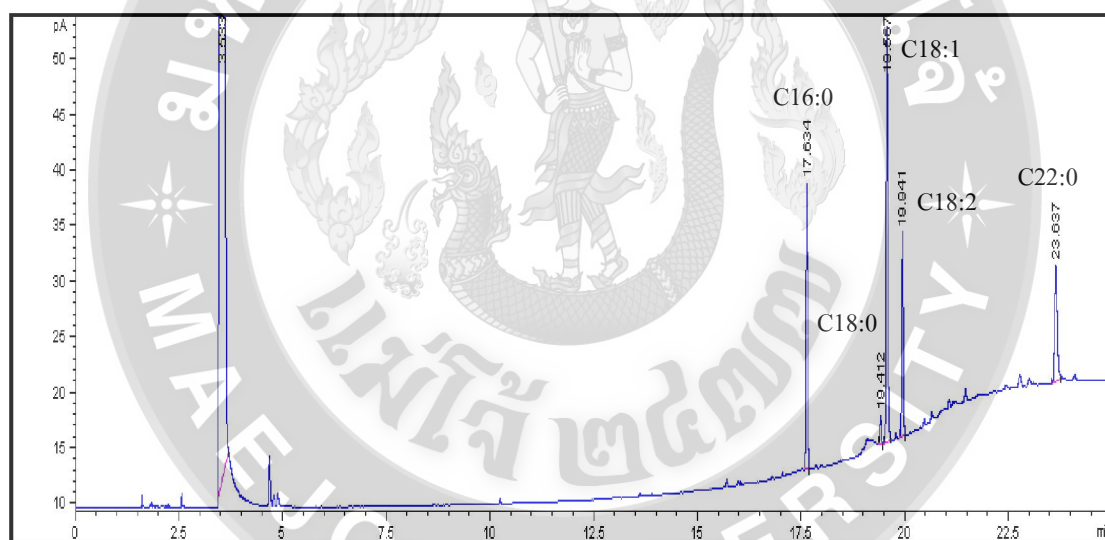
Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.483
2	Caprylic acid methyl ester (C8:0)	8.634
3	Capric acid methyl ester (C10:0)	11.265
4	Lauric acid methyl ester (C12:0)	13.603
5	Myristic acid methyl ester (C14:0)	15.710
6	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.640
7	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.418
8	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.573
9	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.768
10	Arachidic acid methyl ester (C20:0)	21.446

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันมะพร้าวพบว่าประกอบด้วย กรดคาพริก (C8:0) กรดคาพริก (C10:0) กรดลอริก (C12:0) กรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) กรดลิโนเลอิก (C18:2) และกรดอะราซิดิก (C20:0) ซึ่งในโครมาโตแกรมน้ำมันมะพร้าวมีกรดลอริก (C12:0) กรดไมริสติก (C14:0) เป็นองค์ประกอบที่เด่นที่สุด และพบว่าองค์ประกอบที่เด่นของน้ำมันมะพร้าวตรงกัน คือกรดลอริก (C12:0) กรดไมริสติก

(C14:0) ตรงกันกับองค์ประกอบเด่นที่รายงานโดยไพจิตร จันทรวงษ์ (ไพจิตร, 2530) และองค์ประกอบเด่นที่พบคือน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันสายสั้น (C8-12) สามารถนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับโครมาโตแกรมของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันรำละเอียด ข้าวโพดคด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก เพื่อหาองค์ประกอบในกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันตัวอย่างได้

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียดทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 16 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 11



ภาพที่ 16 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

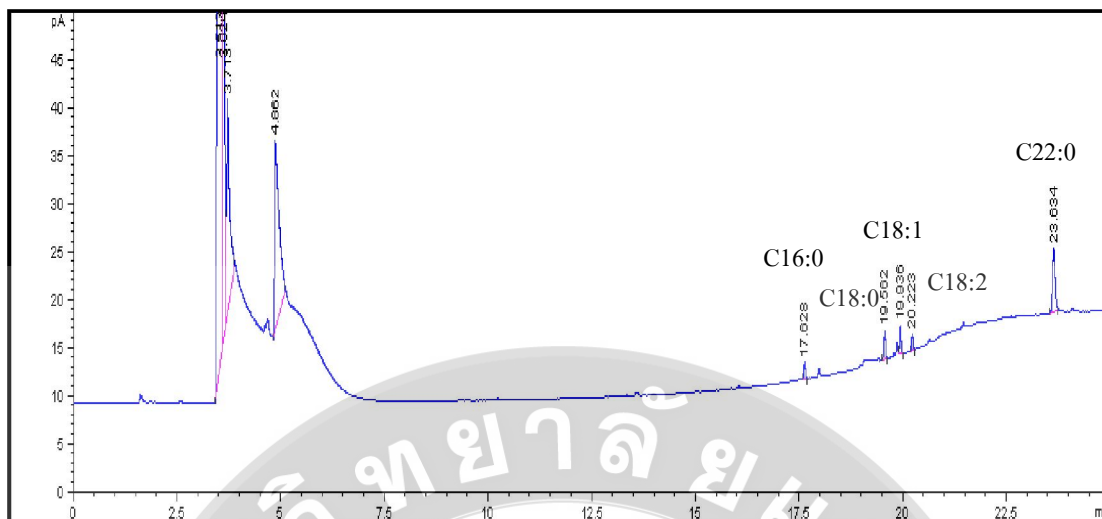
ตารางที่ 11 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด

Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.533
2	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.634
3	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.412
4	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.567
5	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.941
6	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.637

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียดพบว่าประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วย กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) โดยคล้ายกับน้ำมันรำข้าวที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกันคือกรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) (ข้อมูลอ้างอิงรายงานโดยไพจิตร จัทรวงษ์ (ไพจิตร, 2530)) และสามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบค่าเวลาคงค้างของสารกับสารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ C17:0 อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว (แสดงดังภาพที่ 12-15 และตารางที่ 7-10)

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดอบ

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดอบทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 17 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 12



ภาพที่ 17 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบด ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

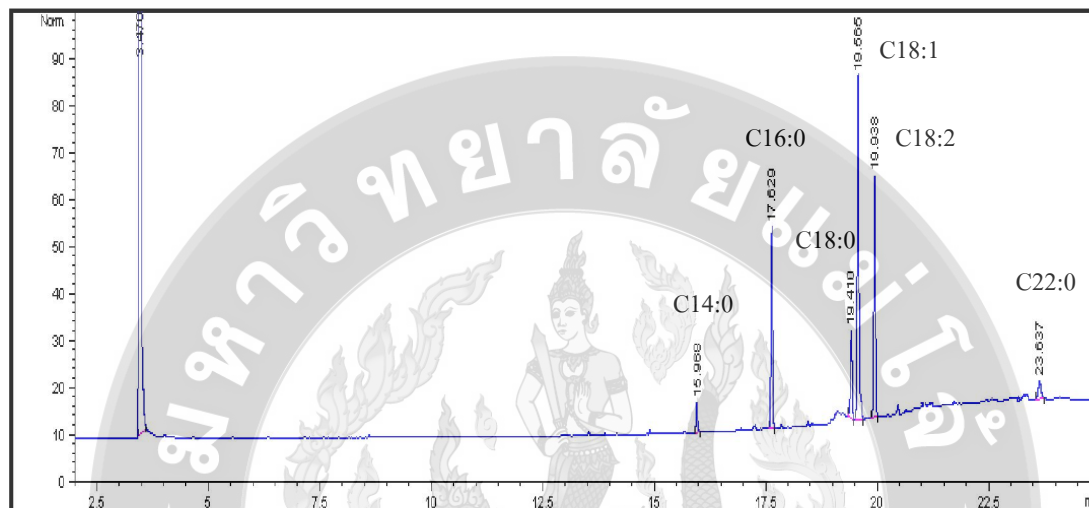
ตารางที่ 12 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบด

Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.513
2	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.628
3	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.412
4	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.562
5	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.936
6	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.634

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบดพบว่าประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วย กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) และพบว่ามีองค์ประกอบที่เหมือนกันของน้ำมันข้าวโพด คือ กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ตรงกันกับองค์ประกอบเด่นที่รายงานโดยไพจิตร จันทรวงษ์ (ไพจิตร, 2530) และสามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบค่าเวลาคงค้างของสารกับสารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ C17:0 อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว (แสดงดังภาพที่ 12-15 และตารางที่ 7-10)

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลืองทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 18 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 13



ภาพที่ 18 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

ตารางที่ 13 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง

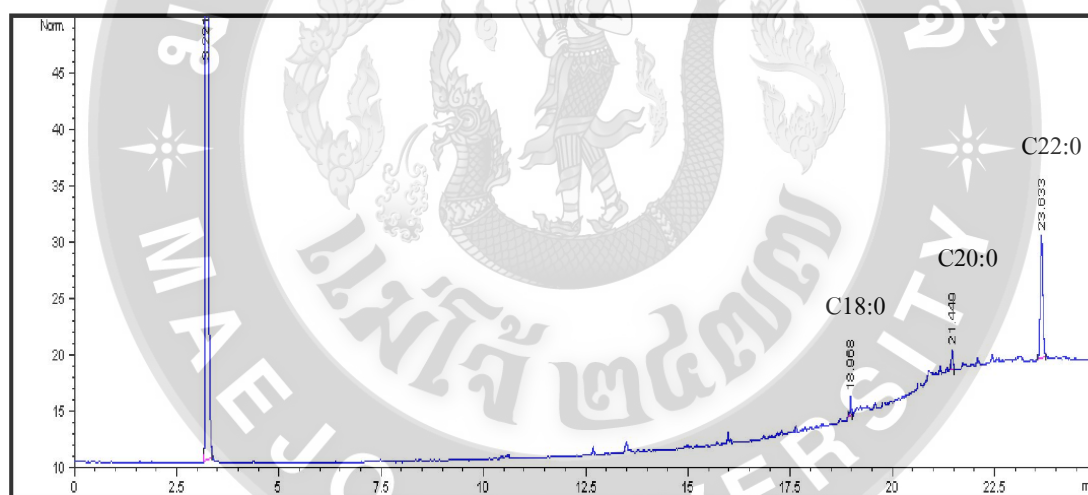
Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.470
2	Myristic acid methyl ester (C14:0)	15.968
3	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.629
4	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.410
5	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.565
6	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.938
7	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.637

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วย กรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) และกรดเบเฮนิก (C22:0) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว

ประกอบด้วย กรดปาล์ม (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) และพบว่ามีองค์ประกอบที่เหมือนกันของน้ำมันถั่วเหลือง คือ กรดปาล์มมิก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ตรงกันกับองค์ประกอบเด่นที่รายงานโดยไพจิตร จันทรวงษ์ (ไพจิตร, 2530) และสามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบค่าเวลาคงค้างของสารกับสารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ C17:0 อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว (แสดงดังภาพที่ 12-15 และตารางที่ 7-10)

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่นทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 19 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 14



ภาพที่ 19 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

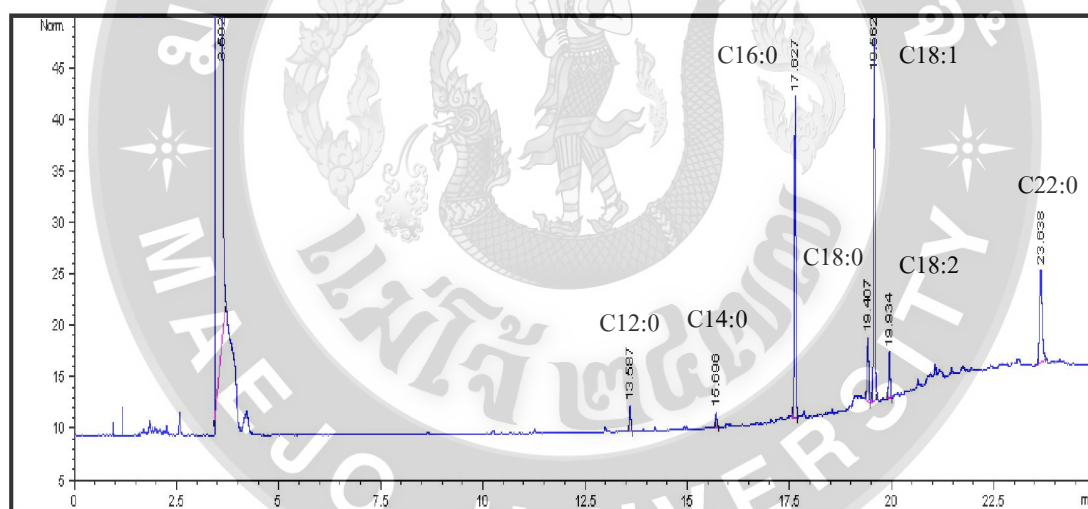
ตารางที่ 14 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น

Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.521
2	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.268
3	Arachidic acid methyl ester (C20:0)	21.749
4	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.933

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ประกอบด้วยกรดสเตียริก (C18:0) กรดอะราซิดิก (C20:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) และพบว่ามีองค์ประกอบที่เหมือนกันของน้ำมันปลา คือ กรดสเตียริก (C18:0) กรดอะราซิดิก (C20:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ตรงกันกับองค์ประกอบเด่นที่รายงานโดย Sahena, F และคณะ (Sahena *et al*, 2010) สามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบค่าเวลาคงค้างของสารกับสารมาตรฐาน กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ C17:0 อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปลาสด น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว (แสดงดังภาพที่ 12-15 และตารางที่ 7-10)

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกรระยะรุ่น

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกรระยะรุ่นทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 20 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 15



ภาพที่ 20 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกรระยะรุ่น

ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

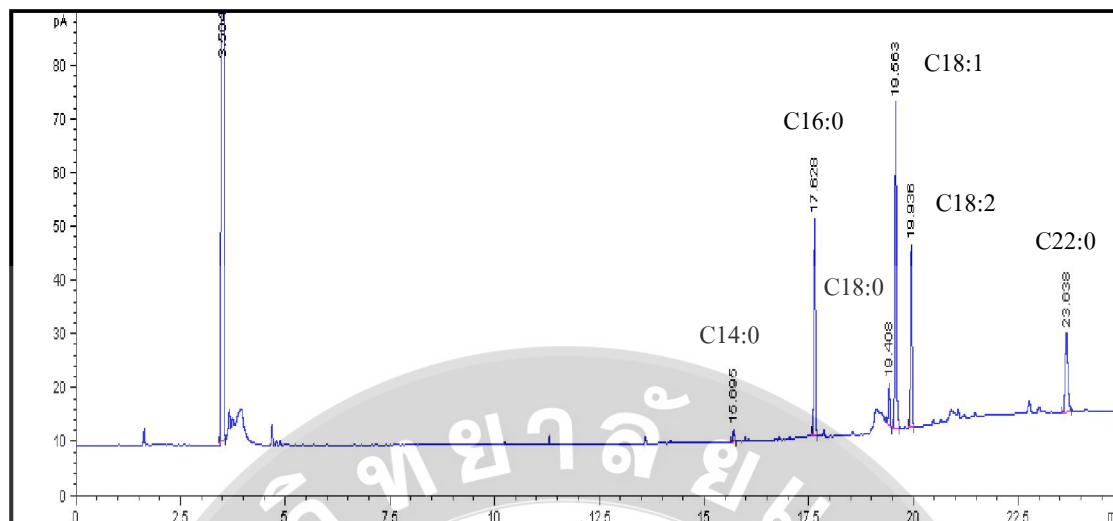
ตารางที่ 15 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะ
ระยะรุ่น

Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.592
2	Lauric acid methyl ester (C12:0)	13.587
3	Myristic acid methyl ester (C14:0)	15.696
4	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.627
5	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.407
6	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.562
7	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.934
8	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.638

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะรุ่น พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดลอริก (C12:0) กรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบไปด้วยกรดปาล์ม (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ซึ่งอาหารสุกกระยะรุ่นมีส่วนประกอบของรำละเอียด ข้าวโพดบดในปริมาณมาก ส่งผลให้พบกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกับน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียดและข้าวโพดบด สามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบค่าเวลาคงค้างของสารกับสารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ C17:0 อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว (แสดงดังภาพที่ 12-15 และตารางที่ 7-8)

การวิเคราะห์อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก

นำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูกทดสอบด้วยเทคนิค GC เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax โครมาโตแกรมดังภาพที่ 21 และค่าเวลาคงค้างของสารดังแสดงในตารางที่ 16



ภาพที่ 21 โครมาโตแกรมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก ที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Rtx-Wax ในช่วงอุณหภูมิ 40-230 °C

ตารางที่ 16 ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก

Peak	Name	T _R (min)
1	Toluene	3.504
2	Myristic acid methyl ester (C14:0)	15.695
3	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	17.628
4	Stearic acid methyl ester (C18:0)	19.408
5	Oleic acid methyl ester (C18:1)	19.563
6	Linoleic acid methyl ester (C18:2)	19.936
7	Behenic acid methyl ester (C22:0)	23.638

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูก พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบไปด้วยกรดปาล์ม (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ซึ่งอาหารสุกกระยะเลี้ยงลูกมีส่วนประกอบของรำละเอียด ข้าวโพดบดในปริมาณมาก ส่งผลให้พบกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียดและข้าวโพดบด สามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบค่า

เวลาคงค้างของสารกับสารมาตรฐานกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ C17:0 อนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว (แสดงดังภาพที่ 12-3.15 และตารางที่ 7-3.9)

การวิเคราะห์ร้อยละประกอบของกรดไขมันของน้ำมันที่สกัดได้จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันที่สกัดได้รำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก แสดงโครมาโตแกรม ดังภาพที่ 16-21 และตารางที่ 11-16 สามารถนำมาคำนวณร้อยละประกอบกรดไขมันได้ดังสมการ ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 17-22

$$\% \text{Fatty acid} = 100 \left(\frac{A_x}{\sum A_x} \right)$$

โดย A_x = พื้นที่ของสาร x ในตัวอย่าง

ตารางที่ 17 ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด

Fatty acids methyl ester	Carbon No.	Area(pA*s)	%Fatty acids
Palmitic acid methyl ester	C16:0	61.920	23.954
Stearic acid methyl ester	C18:0	6.258	2.421
Oleic acid methyl ester	C18:1	98.531	38.117
Linoleic acid methyl ester	C18:2	45.936	17.771
Behenic acid methyl ester	C22:0	45.848	17.737
Total area and total %FA		258.494	100.000
Total saturated fatty acids			44.112
Total unsaturated fatty acids			55.888

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด (แสดงดังภาพที่ 16) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียดพบว่าประกอบด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ที่พบมากที่สุดคือ กรดปาล์มมิติก (C16:0) 23.954% ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2)

ที่พบมากที่สุดคือ กรดลิโนเลอิก (C18:1) 38.117% กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดเท่ากับ 44.112% กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 55.888%

ตารางที่ 18 ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบด

Fatty acids methyl ester	Carbon No.	Area(pA*s)	%Fatty acids
Palmitic acid methyl ester	C16:0	4.018	7.779
Stearic acid methyl ester	C18:0	7.407	14.339
Oleic acid methyl ester	C18:1	6.691	12.953
Linoleic acid methyl ester	C18:2	4.050	7.840
Behenic acid methyl ester	C22:0	29.489	57.088
Total area and total %FA		51.655	100.000
Total saturated fatty acids	-		79.206
Total unsaturated fatty acids	-		20.793

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบด (แสดงดังภาพที่ 17) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบด พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดปาล์มมิก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ที่พบมากที่สุดคือกรดเบเฮนิก (C22:0) 57.088% ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ที่พบมากที่สุดคือ กรดลิโนเลอิก (C18:1) 12.953% กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดเท่ากับ 79.206% กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 20.793%

ตารางที่ 19 ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง

Fatty acids methyl ester	Carbon No.	Area(pA*s)	%Fatty acids
Myristic acid methyl ester	C14:0	14.077	2.727
Palmitic acid methyl ester	C16:0	105.698	20.474
Stearic acid methyl ester	C18:0	47.717	9.243
Oleic acid methyl ester	C18:1	201.246	38.985
Linoleic acid methyl ester	C18:2	131.227	25.419
Behenic acid methyl ester	C22:0	16.275	3.152
Total area and total %FA		516.258	100.000
Total saturated fatty acids	-		35.596
Total unsaturated fatty acids	-		64.404

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลือง (แสดงดังภาพที่ 18) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลืองพบว่าประกอบด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ที่พบมากที่สุดคือกรดปาล์มมิก (C16:0) 20.474% ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ที่พบมากที่สุดคือ กรดลิโนเลอิก (C18:1) 38.985% กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดเท่ากับ 35.596% กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 64.404%

ตารางที่ 20 ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น

Fatty acids methyl ester	Carbon No.	Area(pA*s)	%Fatty acids
Stearic acid methyl ester	(C18:0)	3.737	6.730
Arachidic acid methyl ester	(C20:0)	4.685	8.437
Behenic acid methyl ester	(C22:0)	47.107	84.833
Total area and total %FA		55.529	100.000
Total saturated fatty acids	-		100.000
Total unsaturated fatty acids	-		0.000

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น (แสดงดังภาพที่ 19) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากปลาป่น พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัว ซึ่งกรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดสเตียริก (C18:0) กรดอะราซิดิก (C20:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ที่พบมากที่สุดคือกรดเบเฮนิก (C22:0) 84.833% กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดเท่ากับ 100%

ตารางที่ 21 ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกรระยะรุ่น

Fatty acids methyl ester	Carbon No.	Area(pA*s)	%Fatty acids
Lauric acid methyl ester	C12:0	5.646	2.349
Myristic acid methyl ester	C14:0	3.537	1.472
Palmitic acid methyl ester	C16:0	75.369	31.358
Stearic acid methyl ester	C18:0	15.666	6.518
Oleic acid methyl ester	C18:1	89.513	37.242
Linoleic acid methyl ester	C18:2	11.072	4.606
Behenic acid methyl ester	C22:0	39.550	16.455
Total area and total %FA		240.353	100.000
Total saturated fatty acids	-		58.152
Total unsaturated fatty acids	-		41.848

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระษะรุ่น (แสดงดังภาพที่ 20) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระษะรุ่น พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดลอริก (C12:0) กรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ที่พบมากที่สุดคือกรดปาล์มมิติก (C16:0) 31.358% ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ที่พบมากที่สุดคือ กรดลิโนเลอิก (C18:1) 37.242% กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดเท่ากับ 58.152% กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 41.848%

ตารางที่ 22 ร้อยละองค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระษะเลี้ยงลูก

Fatty acids methyl ester	Carbon No.	Area(pA*s)	%Fatty acids
Myristic acid methyl ester	C14:0	4.621	1.072
Palmitic acid methyl ester	C16:0	97.771	22.674
Stearic acid methyl ester	C18:0	19.030	4.413
Oleic acid methyl ester	C18:1	160.006	37.107
Linoleic acid methyl ester	C18:2	85.405	19.806
Behenic acid methyl ester	C22:0	64.368	14.928
Total area and total %FA		431.201	100.000
Total saturated fatty acids	-		43.087
Total unsaturated fatty acids	-		56.913

จากโครมาโตแกรมของอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์น้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระษะเลี้ยงลูก (แสดงดังภาพที่ 21) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระษะเลี้ยงลูก พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดเบเฮนิก (C22:0) ที่พบมากที่สุดคือกรดปาล์มมิติก (C16:0) 22.674% ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ที่พบมากที่สุดคือ กรดลิโนเลอิก (C18:1) 37.107% กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดเท่ากับ 43.087% กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 56.913%

7) ค่าสaponนิฟิเคชัน

ค่าสaponนิฟิเคชัน คือ ค่าที่บอกถึงขนาดของโมเลกุลของน้ำมันหรือ คือจำนวนมิลลิกรัมของ KOH ที่ทำปฏิกิริยาเป็นกลางพอดีกับน้ำมันหนัก 1 กรัม

ค่าสaponนิฟิเคชันและน้ำหนักโมเลกุลที่ได้จากการไทเทรต

ค่าสaponนิฟิเคชัน คือ ค่าที่บอกถึงขนาดของโมเลกุลของน้ำมันหรือ คือจำนวนมิลลิกรัมของ KOH ที่ทำปฏิกิริยาเป็นกลางพอดีกับน้ำมันหนัก 1 กรัม โดยใช้หลักการ คือ ชั่งน้ำมันให้ได้ น้ำมันที่แน่นอน เติม KOH แล้วนำไป reflux จากนั้นนำไทเทรตกับ HCl 0.5 M ผลการทดลองแสดง ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ค่าสaponนิฟิเคชันและน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันตัวอย่างที่สกัดด้วยเทคนิคการ ไทเทรต

ตัวอย่าง	ค่าสaponนิฟิเคชัน		น้ำหนักโมเลกุล
	จากการทดลอง	ข้อมูลอ้างอิง นิธิยา, 2529)	
รำละเอียด	175.42	181.189	957.72
ข้าวโพดบด	172.53	187-193	973.75
กากถั่วเหลือง	192.56	-	872.31
ปลาป่น	161.46	-	1040.66
อาหารสุกกระษะรุ่น	172.52	-	958.27
อาหารสุกกระษะเลี้ยงลูก	167.69	-	1001.86

- หมายถึง ไม่ได้มีการรายงาน

จากค่าสaponนิฟิเคชันที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและกระษะเลี้ยงลูก มีค่าสaponนิฟิเคชัน คือ 175.42, 172.53, 192.56, 161.46, 172.52 และ 167.69 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิงซึ่งรายงาน โดยนิธิยา รัตนพานนท์ (นิธิยา, 2529)พบว่า ค่าสaponนิฟิเคชันของน้ำมันจากการทดลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลอ้างอิงเล็กน้อย เนื่องจากมีส่วนกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบที่ต่างกัน และค่าสaponนิฟิเคชันเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากกากถั่วเหลืองมีน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์น้อยกว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด อาหารสุกกระษะรุ่น อาหารสุกกระษะเลี้ยงลูก และปลาป่น

8) ค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีน คือ ค่าที่บอกปริมาณไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว ถ้าค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำมัน

หาค่าไอโอดีนที่ได้จากการไตเตรท

ค่าไอโอดีน คือ ค่าที่บอกปริมาณไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว ถ้าค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก หรือเป็นค่าที่บอกถึงน้ำหนักเป็นกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำหนักหนึ่งร้อยกรัม และยังแสดงว่าน้ำมันชนิดนั้นเป็นชนิดที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงหรือต่ำ การทดลองทำตามวิธี 7 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ค่าไอโอดีนของน้ำมันตัวอย่างที่สกัดได้ด้วยเทคนิคการไตเตรท

ตัวอย่าง	ค่าไอโอดีน	
	จากการทดลอง	ข้อมูลอ้างอิงนิธิยา, 2529)
รำละเอียด	74.05	99-108
ข้าวโพดบด	85.72	103-128
กากถั่วเหลือง	70.57	-
ปลาป่น	73.98	-
อาหารสุกกระษะรุ่น	75.81	-
อาหารสุกกระษะเลี้ยงลูก	80.63	-
หมายถึง ไม่ได้มีรายงาน		

ค่าไอโอดีนที่ได้จากการทดลอง แสดงดังตารางที่ 24 พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระษะเลี้ยงลูก มีค่าไอโอดีน 74.05, 85.72, 70.57, 73.98, 75.81 และ 80.63 ตามลำดับ น้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบดมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงที่สุด เนื่องจากมีค่าไอโอดีนสูงสุด รองมาคือน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุกกระษะเลี้ยงลูก อาหารสุกกระษะรุ่น รำละเอียด ปลาป่น และกากถั่วเหลือง ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิงซึ่งรายงานโดยนิธิยา รัตนานนท์ (นิธิยา, 2529) พบว่าค่าไอโอดีนของน้ำมันที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลอ้างอิง สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะขั้นตอนการไตเตรทมีการเขย่า $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่เล็กน้อย และต้องเขย่าอย่างแรงตลอดเวลาเพื่อให้ I_2 ถูกดึงออกจากชั้นของคลอโรฟอร์ม และทำปฏิกิริยา

ได้เต็มที่ แต่ในการทดลองอาจไม่ได้เขย่าให้เพียงพอ ทำให้ค่าไอโอดีนที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่ควรเป็น และอีกเหตุหนึ่งเป็นเพราะผลจากอายุและสภาวะการเก็บรักษาน้ำมัน

9) ค่ากรด (Acid value)

ค่ากรดในน้ำมัน คือ จำนวนมิลลิกรัม KOH ที่ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันหนักหนึ่งกรัม ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าน้ำมันชนิดนี้มีกรดไขมันอิสระมากหรือน้อย โดยใช้หลักการคือน้ำมันที่ร่อนน้ำหนัก มาทำปฏิกิริยากับ (Isopropyl alcohol : Toluene อัตรา 1:1) แล้วไตเตรตกับ 0.1 N KOH ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ค่ากรดของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักรระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก

ตัวอย่าง	ค่ากรด	
	จากการทดลอง	ข้อมูลอ้างอิง[5]
รำละเอียด	45.22	1-2
ข้าวโพดบด	29.31	1-3
กากถั่วเหลือง	6.73	-
ปลาป่น	5.23	-
อาหารสุักรระยะรุ่น	35.67	-
อาหารสุักรระยะเลี้ยงลูก	38.33	-

- หมายถึง ไม่ได้มีรายงาน

ค่ากรดที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักรระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก คือ 45.22, 29.31, 6.73, 5.23, 35.67 และ 38.33 ตามลำดับ พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียดมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุดเพราะมีค่ากรดสูงสุด รองมาคือน้ำมันที่สกัดได้จากอาหารสุักรระยะเลี้ยงลูก อาหารสุักรระยะรุ่น ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และปลาป่น ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, พ.ศ.2543) ที่ประกาศให้ค่ากรดสำหรับน้ำมัน และไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีมีค่ากรดได้ไม่เกิน 0.6 และจากข้อมูลอ้างอิงซึ่งรายงานโดยนิธิยา รัตนานนท์ (นิธิยา, 2529) พบว่าค่ากรดที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าข้อมูลอ้างอิงแสดงว่ากรดไขมันอิสระจาก

น้ำมันที่สกัดได้จากการทดลองมีค่าสูงเพราะน้ำมันที่สกัดได้นั้นยังเป็นน้ำมันดิบไม่ได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ซึ่งมีขั้นตอนในการกำจัดไขมันอิสระออกจากน้ำมันดิบ

10) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

ค่าเปอร์ออกไซด์ คือ จำนวนมิลลิสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่บอกปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน การหาค่าเปอร์ออกไซด์ทำได้โดยการชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เติมตัวทำละลายผสมลงไป จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์และน้ำกลั่น แล้วไตเตรตสารละลายด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก

ตัวอย่าง	ค่าเปอร์ออกไซด์	
	จากการทดลอง	ข้อมูลอ้างอิง (ไพจิตร, 2530)
รำละเอียด	9.80	ไม่เกิน 10
ข้าวโพดบด	9.30	ไม่เกิน 10
กากถั่วเหลือง	7.79	ไม่เกิน 10
ปลาป่น	8.72	ไม่เกิน 10
อาหารสุักระยะรุ่น	8.52	ไม่เกิน 10
อาหารสุักระยะเลี้ยงลูก	7.45	ไม่เกิน 10

- หมายถึง ไม่ได้มีการรายงาน

ค่าเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก มีค่าเปอร์ออกไซด์ คือ 9.80, 9.30, 7.79, 8.72, 8.52 และ 7.45 ตามลำดับ พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบดมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุด แสดงว่าน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบดมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงหรือมีค่าไอโอดีนสูง เนื่องจากสารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าเกิด oxidative rancidity เป็นการเกิดออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ

อยู่ในโมเลกุลมากจะเกิด oxidative rancidity ได้ง่าย รองมาคือน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด กากถั่วเหลือง อาหารสุักระยะรุ่น อาหารสุักระยะเลี้ยงลูก และปลาป่น ตามลำดับ และเมื่อเทียบแหล่งข้อมูลอ้างอิงพบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลอ้างอิงซึ่งรายงานโดยไพจิตร จันทรวงค์ (ไพจิตร,2530)



สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคนิคการสกัดน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเปรียบเทียบกับ การสกัดโดยใช้วิธีการสกัดด้วย Soxhlet

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วย รำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ต้องทำการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการสกัดน้ำมัน ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้ว จึงสามารถสกัดน้ำมันที่อยู่ในเมล็ดพืชได้ หากมีความชื้นหรือมีน้ำอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์จะมีผล ขัดขวางการสกัดน้ำมัน เปอร์เซ็นต์ความชื้นของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก เท่ากับ 10.12%, 12.35%, 12.38%, 12.35%, 10.58% และ 11.10% ตามลำดับ ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละ ชนิดซึ่งรายงานโดยวินัย ประลมภ์กาญจน์ (วินัย, 2530) แสดงถึงคุณภาพที่ดีของวัตถุดิบ รวมถึงบ่ง บอการเก็บรักษาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีการป้องกันจากความชื้น

จากนั้นนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อบแห้งแล้วมาสกัดน้ำมันโดยใช้ Soxhlet Extraction Apparatus มีปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันรวม (%โดยน้ำหนักแห้ง) ของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุักระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก เท่ากับ 27.95%, 14.82%, 10.97%, 7.94%, 12.84% และ 16.24% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำมันรวมที่ สกัดได้เมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 24.24%, 7.47%, 8.96%, 7.42%, 9.16% และ 14.87% ตามลำดับ เห็นว่าน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันรวม ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับเฮกเซน เนื่องจากสภาพขั้วของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ปิโตรเลียม อีเทอร์มีความเป็นขั้วต่ำกว่าเฮกเซน ทำให้มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ เปอร์เซ็นต์น้ำมันรวมที่ สกัดได้จากปลาป่น มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งข้อมูลที่ได้จากอ้างอิงซึ่งรายงานโดยวินัย ประลมภ์ กาญจน์ (วินัย, 2530) แต่ปริมาณน้ำมันรวมของรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ต่างไปจาก แหล่งอ้างอิงอาจเนื่องมาจากแหล่งที่มา พันธุ์ และพื้นที่ปลูกของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดส่งผล ให้มีปริมาณน้ำมันที่ต่างกันออกไป รวมถึงชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดวัตถุดิบอาหารสัตว์ ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่ต่างกัน

จากนั้นทดสอบน้ำมันด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบเยื่อบาง โดยเทียบกับสารมาตรฐาน คือ กรดไขมันอิสระ และน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์ พบว่าน้ำมันที่สกัดได้พบสารทั้งสองชนิด คือ กรดไขมัน อิสระ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงว่าน้ำมันที่สกัดได้มีคุณสมบัติเหมือนน้ำมันโดยทั่วไป

วิธีการสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับโดยสกัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที การสกัดโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ได้ปริมาณน้ำมัน (%โดยน้ำหนักแห้ง) คือ 16.984, 11.091, 7.718, 5.813, 7.290 และ 14.816 ในรำละเอียด ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง ปลาป่น อาหารสุกกระษะรุ่นและระยะเลี้ยงลูก ตามลำดับ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ คือ 3.32, 2.12, 1.11, 2.80, 1.28 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับเฮกเซน ซึ่งสอดคล้องกับเมื่อสกัดโดยใช้ Soxhlet แต่ปริมาณน้ำมันที่ได้้น้อยกว่าการสกัดด้วย Soxhlet พบว่าวิธีการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ที่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดโดยใช้ Soxhlet มีการให้ความร้อนที่สูงกว่าและเป็นการสกัดแบบต่อเนื่อง ทำให้ตัวทำละลายสัมผัสสารที่ต้องการสกัดหลายครั้ง จึงสามารถสกัดสารที่ต้องการออกมาได้มาก

ผลการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่าเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันตัวอย่างที่สกัดได้ประกอบด้วยทั้งกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งไขมันอิ่มตัวประกอบด้วยกรดลอริก (C12:0) กรดไมริสติก (C14:0) กรดปาล์มมิก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดอะราซิก (C20:0) และกรดเบเฮนิก (C22:0) โดยที่พบมากที่สุดคือกรดปาล์มมิก (C16:0) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) โดยที่พบมากที่สุดคือกรดโอเลอิก (C18:1) เมื่อนำอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันตัวอย่างที่สกัดได้มาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ โดยน้ำมันตัวอย่างทุกชนิดเมื่อนำมาศึกษาค่าสaponification ไม่ว่าจะการอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วย GC หรือ การไทเตรต พบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยทั้งสองเทคนิคมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งค่าสaponification บ่งบอกถึงน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้น ค่าสaponification สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ในทำนองเดียวกัน ถ้าค่าสaponification ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย

เมื่อนำน้ำมันมาศึกษาค่าไอโอดีน พบว่าค่าที่ได้ค่อนข้างต่ำทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการไทเตรตมีการเขย่า $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ละน้อย และต้องเขย่าอย่างแรงตลอดเวลาเพื่อให้ I_2 ถูกดึงออกจากชั้นของคลอโรฟอร์ม และทำปฏิกิริยาได้เต็มที่ แต่ในการทดลองไม่ได้เขย่าให้เพียงพอ ทำให้ค่าไอโอดีนที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่ควรเป็นและอีกเหตุหนึ่งเป็นเพราะผลจากอายุและสภาวะการเก็บรักษาน้ำมัน

จากการทดสอบค่ากรด ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า น้ำมันที่สกัดได้จากตัวอย่างทุกชนิดมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2543) ที่ประกาศให้ค่ากรดสำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีมีค่ากรดได้ไม่เกิน

0.6 และจากข้อมูลอ้างอิงซึ่งรายงานโดยนิธิยา รัตนปนนท์ (นิธิยา, 2529)พบว่าค่ากรดที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าข้อมูลอ้างอิงแสดงว่ากรดไขมันอิสระจากน้ำมันที่สกัดได้จากการทดลองมีค่าสูง เพราะน้ำมันที่สกัดได้นั้นยังเป็นน้ำมันดิบไม่ได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

เมื่อศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ ซึ่งหมายถึง จำนวนมิลลิสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมันหนึ่ง กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่บอกปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน จากค่าเปอร์ออกไซด์ที่ได้พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวโพดบดมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมาก หรือมีค่าไอโอดีนสูง จึงเกิด oxidative rancidity ได้ง่ายเนื่องจากสารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าเกิด oxidative rancidity รองมาคือน้ำมันที่สกัดได้จากรำละเอียด กากถั่วเหลือง อาหารสุักระยะร้อน อาหารสุักระยะเลี้ยงลูก และปลาป่น คือ 13.80, 14.30, 13.79, 12.72, 13.52 และ 13.45 ตามลำดับ และเมื่อเทียบแหล่งข้อมูลอ้างอิงพบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลอ้างอิงซึ่งรายงานโดยไพจิตร จันทรวงศ์ (ไพจิตร, 2530)

จากสมบัติทั้งหมด ทำให้ทราบว่า การเก็บรักษาอาหารสัตว์นั้นเป็นสิ่งสำคัญ หากมีการเก็บอาหารที่ไม่ถูกสุขลักษณะจะทำให้คุณภาพของอาหารลดลง ซึ่งการเก็บรักษาอาหารสัตว์ที่ดีควรเก็บในที่อากาศถ่ายเทได้ดี ไม่ควรมีความร้อนและความชื้นสูง

ยิ่งไปกว่านั้นการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับสามารถทำนายถึงปริมาณน้ำมันหรือสารที่สนใจที่มีอยู่ในวัตถุดิบได้ ซึ่งนับว่าเป็นเทคนิคใหม่ที่สามารถทำได้ง่ายในเวลาอันรวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

- การให้อาหารสุกรระยะต่างๆ. <http://fws.cc/thaifeed/index.php>. 7 กันยายน 2554.
- คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. 2542. **เทคนิคการแยกสารทางเคมี**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. หน้า.1-2.
- คิ้วง พุทธสุกร. 2534. **ไขมัน และผลิตภัณฑ์จากไขมัน**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. หน้า. 124-146.
- ดาวัลย์ ฉิมภู. 2550. **ชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. หน้า 162.
- น้ำมันพืชสำหรับบริโภค http://www.dss.go.th/dssweb/starticle//bsp_2_2547_edibie_oil.pdf. 25 เมษายน 2554.
- นิริยา รัตนปณน. 2529 **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. pp.83-87.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 เรื่องน้ำมันและไขมัน. <http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/product/food/ntfmoph/ntf205.htm>. 23 กันยายน 2554
- ไพจิตร จันทรวงศ. 2530. **คู่มือการใช้ประโยชน์และการตรวจสอบคุณภาพพืชน้ำมันและน้ำมันพืช 52 ชนิด**. กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 1-124.
- มฤดี เชาวรัตน์. 2540. **รีเอสเตอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในรำข้าวและไฮโดรไลซิสน้ำมันรำข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. หน้า.4-39.
- แม่น อมรสิทธิ์ และคณะ. 2553. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. พิมพ์ครั้งที่ 1 ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. หน้า 243-318.
- วัด ฤติ บ อ า ห ร สัต วั. http://www.dld.go.th/nutrition/exhibision/feed_stuff/nutrition.htm. 23 เมษายน 2554.
- วินัย ประถมพ์กาญจน์. 2530. **อาหารและการให้อาหารสุกร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 135-158.

อภิญญา วัฒนา. 2551. การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันและการประเมินศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดส้มโอ. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. หน้า 46.

อาหารและการให้อาหารสัตว์.

http://www.dld.go.th/nutrition/exhibision/feed_stuff/nutrition.htm. 25 เมษายน 2554.

เอกสิทธิ์ คงเจริญ. 2548. การพัฒนากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพโดยใช้เอทานอล. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. หน้า 10-13.

Akinoso, R., Aboaba, S.A. and Olayanju, T.M.A. 2010. Effects of moisture content and heat treatment on peroxide value and oxidative stability of un-refined sesame oil. **Food agriculture nutrition and development**. Vol.10. pp. 4268-4285.

Amarasinghe, B. M. W. P. K. and Gangodavilage, N. C. 2004. Rice bran oil extraction in SRI LANKA : Data for process equipment design. **Food and Bioproducts Procrssing**. Vol.82. pp.54-59.

Amarasinghe, B. M. W. P. K., Kumarasiri, M. P. M. and Gangodavilage, N. C. 2001. Effect of method of stabilization on aqueous extraction of rice bran oil. **Food and Bioproducts Procrssing**. Vol.87. pp.108-114.

Dennison, C. and Loverin, R. 1997. Three-phase partitioning; concentration and Purification of Proteins. **Protein Experimental Purification**. Vol.11. pp.149-161.

Gaur, R., Sharma, A., Khare, S. K. and Gupta, M. N. 2007. A novel process for extraction of edible oils Enzyme assisted three phase partitioning (EATPP). **Bioresource Technology**. Vol.98. pp.696-699.

Gimeno, E., Castellote, A. I., s, R. M. L.-R., Torre, M. C. D. l. and pez-Sabater, M. C.L. 2002. The effects of harvest and extraction methods on the antioxidant content (phenolics, a-tocopherol, and b-carotene) in virgin olive oil. **Food Chemistry**. Vol.78. pp.207-211.

Hanmoumgjai, P., Pyle, L. and Niranjana, K. 2000. Aqueous extraction of rice bran oil. **Journal of chemical Technology and Biotechnology**. Vol.75. pp.348-352.

Hany, A; Shehata, A and Fereidoon, S. 2000. Effect of processing on oxidative stability and lipidclasses of sesame oil. **Food Research International**. Vol.33. pp. 331-340.

- Johnson, L. A. and Lusas, E. W. 1983. Comparison of alternative solvents for oil extraction. **Journal of American Oil Chemists' Society**. Vol.60. pp.229-242.
- Kartika, I. A., Pontalier, P. Y. and Rigal, L. 2006. Extraction of sunflower oil by twin screw extruder: Screw configuration and operating condition effects. **Bioresource Technology**. Vol.97. pp.2302-2310.
- Kuk, M. S. and Doud, M. K. 1988. Supercritical CO₂ extraction of ricebran oil. **Journal of American Oil Chemists' Society**. Vol.75. pp.632-628.
- Li, X.-M., Tian, S.-L., Pang, Z.-C., Shi, J.-Y., Feng, Z.-S. and Zhang, Y.-M. 2009. Extraction of Cuminum cyminum essential oil by combination technology of organic solvent with low boiling point and steam distillation. **Food Chemistry**. Vol.115. pp.1114-1119.
- Lilitchan, S; Tangprawat, C; Aryasuk, K; Krisnangkura, S; Chokmoh, S. and Kisnangkura, K. 2008. Partial extraction method for the rapid analysis of total lipids and γ -oryzanol contents in rice bran. **Food Chemistry**. Vol.106. pp. 752-759.
- Manirakiza, P; Covaci, A. and Schepens, P. 2001. Comparative study on total lipid determination using Soxhlet, roese-gottlieb, bligh & dyer, and modified bligh & dyer extraction method. **Food composition and analysis**. Vol. 14. pp. 93-100.
- Proctor, A. and Bowen, D. J. 1996. Ambient-temperature extraction of rice bran oil with hexane and isopropanol. **Journal of American Oil Chemists' Society**. Vol.73. pp.811-813.
- Proctor, A., Jackson, V. M., Scott, M. and Clark, P. K. 1994. Rapid equilibrium extraction of rice bran oil. **Journal of American Oil Chemists' Society**. Vol.71. pp.1295-1296.
- Ranalli, A. and Martinelli, N. 1995. Integral cuntrifgues for olive oil extraction at third millennium threshold. Transformation yield. **Grasasy Aceties**. Vol.46. pp.255-263.
- Robinson, J. E., Singh, R. and Kays, S. E. 2008. Evaluation of an automated hydrolysis and extraction method for quantification of total fat, lipid classes and trans fat in cereal products. **Food Chemistry**. Vol.107. pp.1144-1150.
- Rosenthala, A., Pyleb, D. L., Niranjanb, K., Gilmourc, S. and Trincad, L. 2001. Combined effect of operational variables and enzyme activity on aqueous enzymatic extraction of oil and protein from soybean. **Enzyme and Microbial Tecjnology**. Vol.28. pp.499-509.

- Sahena, F; Zaidul, I.S.M; Jinap, S; Jahurul, M.H.A; Khatib, A. and Norulaini, N.A.N. 2010. Extraction of fish oil from the skin of Indian mackerel using supercritical fluids. **Food Engineering**. Vol.99. pp. 63-69.
- Shah, S., Sharma, A. and Gupta, M. N., 2005. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. **Bioresource Technology**. Vol.96. pp.121-123.
- Sharma, A., Khare, S. K. and Gupta, M. N. 2001. Enzyme assisted aqueous extraction of rice bran oil. **Journal of American Oil Chemists' Society**. Vol.78. pp.949-951.
- Sharma, A., Khare, S. K. and Gupta, M. N. 2002. Three phase partitioning for extraction of oil from soybean. **Bioresource Technology**. Vol.85. pp.327-329.
- Subramanian, R; Subbramaniyan, P; Noorul Ameen, J and Raj, V. 2011. Double bypasses soxhlet apparatus for extraction of piperine from *Piper nigrum*. **Chemistry**. pp. 1-4.
- Valle, J. M. d., Rivera, O., Mattea, M., Ruetsch, L., Daghero, J. and Flores, A. 2004. Supercritical CO₂ processing of pretreated rosehip seeds: effect of process scale on oil extraction kinetics. **Journal of Supercritical Fluids**. Vol.31. pp.159-174.
- Wenqiang, G., Shufen, L., Ruixiang, Y., Shaokun, T. and Can, Q. 2007. Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. **Food Chemistry**. Vol.101. pp.1558-1564.
- Zigoneanu, I; Williams, L; Xu, Z and Sabliov, C. 2008. Determination of antioxidant components in rice bran oil extracted by microwave-assisted method. **Bioresource Technology**. Vol.99. pp. 4910-4918.

- 1 (อาหารและการให้อาหารสัตว์,2554)
- 2 (น้ำมันพืชสำหรับบริโภค,2554)
- 3 (มฤตดิ 2540, ค้าง, 2534 และ นิธิยา, 2529)
- 4 คน
- 5 (นิธิยา, 2529)
- 6 (คณิดา, 2542)
- 7 (ดาวัลย์, 2550)
- 8 (อภิญญา, 2551)
- 9 (แม่น และคณะ 2553)
- 10 (วินัย, 2530)
- 11 (วัตถุดิบอาหารสัตว์,2554)
- 12 (Gimeno, *et al.*,2002)
- 13 (Ranalli and Martinelli, 1995)
- 14 (Kartika *et al.*, 2006)
- 15 (Amarasinghe and Gangodavilage , 2004)
- 16 (Li *et al.*, 2006)
- 17 (Proctor and Bowen, 1996)
- 18 (Proctor *et al.*, 1994)
- 19 (Hanmoungjai, *et al.*, 2000)
- 20 (Kuk and Doud, 1988)
- 21 (Johnson and Lusas, 1983)
- 22 (Amarasinghe, *et al.*, 2001)
- 23 (Valle *et al.*, 2004)
- 24 (Wenqiang, *et al.* Q., 2007)
- 25 (Sharma *et al.*, 2002)
- 26 (Dennison and Loverin, 1997)
- 27 (Sharma *et al.*, 2001)
- 28 (Gaur *et al.*, 2007)
- 29 (Rosenthala *et al.* ,2001)
- 30 (Robinson *et al.*, 2008)
- 31 (Shah *et al.*, 2005)

- 32 Lilitchan *et al.* (2008)
33 Hany *et al.* (2000)
34 Zigoneanu *et al.*, 2008
35 Akinoso *et al.*, 2008
36 Subramanian *et al.*, 2011
37 (Manirakiza *et al.*, 2001)
38 (เอกสิทธิ์ คงเจริญ, 2548)
39 (การให้อาหารสุกกระยะต่างๆ, 2554)
40 (ไพจิตร, 2530)
41 (Sahena *et al.*, 2010)
42 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2543)

