

## บทที่ 2

### สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไหมอีรี และดักแด้ไหมอีรี

เส้นใยจากไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติผลิตจากรังที่ห่อหุ้มดักแด้ของหนอนไหมส่วนมากมาจากไหมหม่อน(Mulberry silkworm, *Bombyx mori*) กินใบหม่อนเป็นอาหาร เป็นสัตว์เลี้ยงอย่างสมบูรณ์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เองตามธรรมชาติ และนอกจากไหมหม่อนแล้วยังมีไหมป่าที่ให้เส้นใยได้อีก 8 ชนิด ได้แก่ *Antheraea pernyi*, *A. yamamai*, *A. proylei*, *A. assamensis*, *A. mylitta*, *Samia ricini* และ *Philosamia Cynthia* แต่มีเพียง 3 ชนิดที่สามาถเลี้ยงเป็นอาชีพได้คือ ไหมทาชาร์ (tasar silkworm, *Antheraea mylitta* และ *A. prolei*) ไหมมูก้า (muga silkworm, *Antheraea assama*) และไหมอีรี (eri silkworm, *Samia ricini*) แต่ไหมอีรีเป็นไหมป่าเพียงชนิดเดียวที่มนุษย์สามารถนำมาเลี้ยงได้อย่างสมบูรณ์ครบวงจร ส่วนไหมมูก้าและไหมทาชาร์ในช่วงผสมพันธุ์ต้องเอามาปล่อยไว้ในธรรมชาติบนต้นพืชอาหาร มิฉะนั้นผีเสื้อจะไม่ยอมผสมพันธุ์ ไหมอีรี (Eri silkworm : *Samia ricini*) เป็นแมลงในอันดับ (Order) Lepidoptera วงศ์ (Family) Saturniidae อยู่กลุ่มเดียวกับผีเสื้อไหมป่า(wild silk worm or non-mulberry silk worm) ซึ่งเป็นผีเสื้อกลางคืนชนิดหนึ่ง ที่ไม่กินใบหม่อน แต่กินใบมันสำปะหลังและใบละหุ่ง (ทิพย์วดี, 2531) วงจรชีวิตไหมอีรีประมาณ 45 – 60 วัน สามารถฟักได้ตลอดปี (multivoltine) (ทิพย์วดี, 2545)

ทิพย์วดี (2545) กล่าวว่า การเจริญเติบโตของไหมอีรี มี 4 ระยะ คือระยะไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และผีเสื้อ

- (1) ระยะไข่ แม่ผีเสื้อวางไข่สีขาวเป็นกลุ่มๆ ประมาณ 100–300 ฟอง ไข่จะฟักภายใน 8–10 วัน
- (2) ระยะหนอน การเจริญเติบโตของหนอนไหมแบ่งเป็น 5 วัย (instar) ก่อนเข้าดักแด้ จะมีการลอกคราบ 4 ครั้ง เวลาในระยะตัวหนอนประมาณ 16 -21 วัน โดยจะกินอาหารในปริมาณที่มากในช่วงวัยที่ 4 และ 5 เพื่อทำการสะสมอาหารไว้ในช่วงระยะดักแด้
- (3) ระยะดักแด้ เมื่อหนอนไหมเจริญเติบโตเต็มที่ก็จะเข้าสู่ระยะหนอนไหมสุก หนอนไหมจะหาพื้นที่ทำรัง ฟันเส้นใยสีขาวออกจากปาก จากส่วนหัวไปส่วนท้ายของลำตัว สร้างรังหุ้มตัวเอง หลังจากนั้นจะเปลี่ยนรูปร่างเป็นดักแด้ ตัวสีน้ำตาล รยางค์ฝั้นกติดกับลำตัว หนอนไหมจะใช้เวลาทำรังเสร็จภายใน 3 วัน จะเข้าดักแด้ภายในรังนั้น 10 – 14 วัน โดยพบว่าดักแด้ไหมอีรีที่เลี้ยงด้วยใบมันสำปะหลังจะมีขนาดเล็กกว่าดักแด้ที่เลี้ยงด้วยใบละหุ่ง

(4) **ระยะผีเสื้อ** เมื่อดักแด้พัฒนารูปร่างเป็นผีเสื้อที่สมบูรณ์แล้ว จะเจาะออกจากคราบดักแด้ ผีเสื้อไหมอีร์เป็นผีเสื้อกลางคืนขนาดใหญ่ สีเทาดำ ปีกกางเต็มที่กว้าง 4 – 5 นิ้ว ภายในระยะเวลา 3 วัน ผีเสื้อจะจับคู่ผสมพันธุ์และวางไข่โดยการวางไข่ของผีเสื้อจะวางไข่กับวัตถุที่ตั้งฉาก ผีเสื้อมีอายุ 10 วัน หลังจากนั้นจะตายตามธรรมชาติ ในระยะนี้ผีเสื้อบินได้ไม่ไกลและไม่กินอาหาร



รูปที่ 2.1 วงจรชีวิตไหมอีร์ (นิตยา, 2551)

ลักษณะของรังและเส้นใย รังไหมอีร์มีลักษณะยาวเรียวยาวมีสีขาว เส้นใยจะสานกันหลวมกว่า รังไหมหม่อน ปลายข้างหนึ่งของรังเปิดเป็นช่อง ให้ผีเสื้อออกจากรัง

การเลี้ยงไหมป่านิยมเลี้ยงกันในแถบประเทศ อินเดีย ปากีสถาน เนปาล แล้วเริ่มแพร่กระจายไปสู่ประเทศต่างๆ ในทวีปเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น จีน สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาถึงวิธีการเลี้ยงไหมอีร์ เมื่อปี 2517 โดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยได้มีการ

นำไหมอี่รีจากประเทศอินเดีย (ทิพยวดี, 2545) จากนั้นมีการพัฒนากรรมวิธีการเลี้ยงและการจัดการอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งสามารถส่งเสริมการเลี้ยงไหมอี่รีสู่ภาคเกษตรกรได้สำเร็จ แนวทางการส่งเสริมการเลี้ยงไหมป่าอี่รีมุ่งเน้นไปที่เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถเก็บใบมันสำปะหลังมาเลี้ยงหนอนไหม โดยไม่กระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลัง และยังมีรายได้เสริมจากการเลี้ยงไหมอี่รี (กอบกุล, 2549) ซึ่งสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้เห็นถึงประโยชน์ของไหมอี่รีจึงมีการส่งเสริมการทำวิจัยในด้านต่างๆ เพื่อพัฒนาไหมอี่รีให้เข้าสู่อุตสาหกรรม

### 2.1.1 ข้อดีของการเลี้ยงไหมอี่รี

1. การเพาะเลี้ยงสามารถใช้อุปกรณ์เดียวกับการเลี้ยงไหมบ้าน เช่น กระด้ง ชั้นเลี้ยง จ่อโรงเรือนเลี้ยงไหม
2. ไหมอี่รีมีความแข็งแรง ทนต่อโรคและแมลงศัตรู จึงไม่พบความเสียหายจากโรคหนอนไหม
3. พืชอาหารของหนอนไหมอี่รี คือ ใบละหุ่ง และใบมันสำปะหลัง เหมาะแก่การส่งเสริมการเลี้ยงไหมให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกละหุ่งและปลูกมันสำปะหลังให้หันมาสนใจเลี้ยงเป็นอาชีพเสริม
4. เปลือกกรังไหมอี่รีสามารถเก็บได้นาน โดยการตัดแยกเปลือกกรังไหมกับดักแด้ ซึ่งดักแด้สามารถนำไปเป็นอาหาร
5. ผลิตภัณฑ์ผ้าไหมอี่รีถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ไม่เบียดเบียนชีวิตหนอนไหม

### 2.1.2 การใช้ประโยชน์จากไหมอี่รี มีอยู่หลายประการด้วยกันคือ

1. เปลือกกรังไหมสามารถนำมาทำเป็นเส้นใยสำหรับเป็นวัตถุดิบสิ่งทอ
2. ตัวหนอนและดักแด้เป็นอาหารของมนุษย์ และสามารถนำไปเลี้ยงปลา ผสมกับอาหารสัตว์ เป็นแหล่งโปรตีนได้
3. ไข่ไหมอี่รีเพาะเลี้ยงแตนเบียนซึ่งเป็นแมลงศัตรูธรรมชาติที่จะไปทำลายหรือลดประชากรของแมลงศัตรูพืชในแปลงปลูก เช่น หนอนเจาะสมอฝ้าย หนอนกระทู้หอม หนอนกระทู้ผัก เพลี้ยอ่อน เป็นต้น
4. การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือทิ้ง เช่น เศษหนอนไหมและดักแด้คัดทิ้ง มูลไหม ผีเสื้อที่ตายแล้ว สามารถใช้เลี้ยงปลา หรือนำไปผสมกับรำ ปลายข้าวทำให้สุก นำไปเลี้ยงสุกร เป็นการใช้ประโยชน์อย่างครบวงจร(ทิพยวดี, 2545)

ในแง่ของการใช้ประโยชน์ตัวหนอนและดักแด้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดักแด้ไหมอี่รีโดย พิลาณี และคณะ (2548) พบว่า ดักแด้ไหมอี่รีมีไขมันร้อยละ 33.82 โปรตีนร้อยละ 55.34 และไฟเบอร์ละ 4.96 และได้ทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของดักแด้ไหมชนิดต่างๆ พบว่าดักแด้ไหมอี่รีมีความชื้นและโปรตีนสูงที่สุด

โดยมีกรดอะมิโนที่พบมากที่สุดคือ กรดกลูตามิก ร้อยละ 1.408 รองลงมาคือ กรดแอสปาร์ติก ร้อยละ 1.001 และลูซีน ร้อยละ 0.892

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดในรังไหมชนิดต่างๆ และดักแด้ไหมไหมอیری

ชนิดของกรดอะมิโน	จำนวนกรัมกรดอะมิโนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง			
	ดักแด้ไหมอیری	รังไหมอیری	รังไหมหม่อน	รังไหมป่า
กรดแอสปาร์ติก	1.001	4.912	4.607	5.809
ซีรีน	0.633	7.653	16.142	8.391
กรดกลูตามิก	1.408	1.411	2.277	1.768
กลัยซีน	0.615	22.065	32.140	23.963
ฮีสติดีน	0.433	2.625	0.447	1.556
อาร์จินีน	0.806	3.244	2.071	3.339
ทรีโอนีน	0.445	0.819	2.351	1.359
อะลานีน	0.871	30.329	21.887	45.538
โพรลีน	0.457	0.518	0.157	0.395
ซีสตีน	0.055	-	0.048	-
ทัยโรซีน	0.715	8.363	9.042	9.834
วาลีน	0.674	0.445	2.665	0.502
เมทไทโอนีน	0.304	-	-	-
ไลซีน	0.820	0.708	1.302	0.909
ไอโซลูซีน	0.555	0.529	0.408	0.786
ลูซีน	0.892	0.388	0.476	0.451
เฟนิลอะลานีน	0.539	0.407	0.542	0.237

ที่มา : พิลาณี (2548)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของดักแด้ชนิดต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	ดักแด้ไหมอีรี่	ดักแด้ไหมหม่อน	ดักแด้ไหมป่า
		<i>Bombyx mori</i>	<i>Samia cynthia ricini</i>
ความชื้น	74.66	65.13	70.14
เถ้า	1.58	0.79	1.36
โปรตีน	18.44	11.99	15.97
ไขมัน	4.24	20.10	11.09

ที่มา : พิลาณี (2548)

Mishra *et al.* (2003) รายงานถึงคุณค่าทางโภชนาการของดักแด้ไหมที่กินใบหม่อนและไม้กินใบหม่อน และการบริโภคในเขต Assam ประเทศอินเดีย พบว่า มีการบริโภคดักแด้ไหมอยู่ 3 ชนิดคือ ดักแด้กลุ่มไม้กินใบหม่อนได้แก่ Eri (*Attacus ricinii*) และ Muga (*Antheraea assama*) และกลุ่มกินใบหม่อน (*Bombyx mori*) โดยมีการบริโภคดักแด้ Eri มากที่สุด และได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดักแด้ทั้ง 3 ชนิด พบว่าจะได้ปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 12 – 16 ไขมันร้อยละ 11 – 20 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.2 – 1.8 ความชื้นร้อยละ 65 – 70 และเถ้าร้อยละ 0.8 – 1.4 โดยมีปริมาณพลังงานที่ได้รับ 706 – 988 กิโลจูล ซึ่งจะเป็แหล่งของโปรตีนและไขมันที่ดี

นอกจากนี้มึรายงานองค์ประกอบทางเคมี กรดอะมิโน และแร่ธาตุของดักแด้ไหม *Antheraea pernyi* (Muga) ในประเทศจีน โดย Zhou *et al.* (2006) ว่า *Antheraea pernyi* เป็นไหมป่าที่ไม้กินใบหม่อน ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกับไหมอีรี่ โปรตีน(Crude protein) ร้อยละ 71.9 ไขมันร้อยละ 20.1 และเถ้าร้อยละ 4.0 คำนวณโดยใช้ฐานน้ำหนักแห้ง เป็นแหล่งที่มีโปรแตสเซียสูง แต่อัตราส่วน Na/K อยู่ต่ำ ในดักแด้จะมีปริมาณกรดอะมิโนจำนวน 18 ชนิดทั้งที่จำเป็นและ sulphur-containing amino acids และเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบกับ FAO/WHO พบว่าดักแด้มีคุณภาพโปรตีนที่ดีและมีคุณภาพสูงมากในส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็น ซึ่งทำให้มีการพัฒนาและแปรรูปดักแด้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น

สำหรับในประเทศไทยมึรายงานการวิจัยของ อมรรัตน์ และคณะ (2550) ศึกษาปริมาณของไซยาไนด์ตกค้างและเลซินินจากไหมป่าอีรี่ พบว่าปริมาณของไซยาไนด์ในตัวหนอน ดักแด้และฝัเสื้อของไหมอีรี่ อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการนำไปบริโภค คือมีปริมาณต่ำกว่า 10 ส่วนในล้านส่วน(ppm) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไซยาไนด์มีค่าใกล้เคียงกับในไหมบ้านที่กินใบหม่อนและใบละหู่ ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงานได้เป็นอย่างดี และสามารถสกัดน้ำมันดิบจาก

ผีเสื้อ และดักแด้ไหมอีรี่ด้วยตัวทำละลายผสมของคลอโรฟอร์ม:เมทานอล 2:1 ได้ปริมาณต่อ น้ำหนักแห้งที่ร้อยละ 17.54 - 31.62

## 2.2 ไขมันและกรดไขมัน

### 2.2.1 ไขมัน (lipid)

ไขมันเป็นสารชีวโมเลกุล (Biomecule) ที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกระดับ มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ (ประหยัด, 2542) มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว (nonpolar) หรือเรียกว่าตัวทำละลายไขมัน (Fat solvent) ซึ่งได้แก่ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ ปิโตรเลียมอีเทอร์ และชนิดที่มีขั้ว หรือโพลาร์(polar) ได้เล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และอะซิโตน ยกเว้นกรดไขมันที่มีน้ำมัน โมเลกุลต่ำสามารถละลายน้ำได้ มีข้อยกเว้นสำหรับฟอสโฟลิปิดบางตัวที่สามารถละลายในน้ำได้แต่ไม่ละลายในอะซิโตน สำหรับสฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelin) และซีรีโบรไซด์ (Cerebroside) ไม่ละลายในตัวทำละลายไขมันยกเว้น ไดเอทิลอีเทอร์ แต่ถือว่าเป็นลิปิด ส่วนสารพวกฟีนอล (phenolic compound) ที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมันไม่ถือว่าเป็นลิปิด (นิธิยา, 2548)

โครงสร้างโมเลกุลของลิปิดที่พบตามธรรมชาติค่อนข้างหลากหลายขึ้นอยู่กับหน้าที่ทางชีวภาพ ซึ่งลิปิดทุกชนิดมีส่วนโมเลกุลที่เป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีลักษณะไม่มีขั้ว (non-polar) แสดงสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) อยู่ในโครงสร้าง บางชนิดจะมีหมู่มขั้ว (polar) ที่ชอบน้ำ (Hydrophilicity) ต่อกับส่วนไม่มีขั้ว ทำให้ลิปิดนั้นมีสมบัติเป็น Amphipathic molecule หรือเรียกว่า แอมฟิฟิลล์ (Amphiphile) คือสามารถอยู่กับน้ำและไม่สามารถรวมตัวกับลิปิดที่ไม่มีขั้วอื่นๆ ได้ องค์ประกอบทางเคมีของไขมันประกอบด้วยแร่ธาตุพื้นฐานสำคัญ 3 ชนิดคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรต แต่มีอัตราส่วนของออกซิเจนน้อยกว่า และส่วนองค์ประกอบอื่นๆ จะแตกต่างกันไปตามชนิดของกรดไขมัน (สรรเสริญ, 2531)

การจำแนกชนิดของลิปิด(นิธิยา 2548) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. ไขมันธรรมดา (Simple lipid) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้แก่

1.1 ไขมัน (Fat) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) หรือ ไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) หากมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า ไขมัน หากมีสถานะเป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมัน

1.2 ขี้ผึ้ง (Waxes) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และเป็นแอลกอฮอล์ที่มีไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียว (monohydric alcohol)

2. Compound lipid เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ และมีสารประกอบอื่นๆ รวมอยู่ด้วย

2.1 ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล ในโมเลกุลประกอบด้วย กลีเซอรอล กรดไขมัน กรดฟอสฟอริก ต่างที่มีใน โตรเจน และอาจจะมี สารประกอบอื่นๆ ด้วย

2.2 สฟิงโกฟอสโฟลิปิด (sphingolipids) ชนิดของแอลกอฮอล์ในโมเลกุลเป็นสฟิงโกซีน (sphingosine) ในโมเลกุลประกอบด้วย กรดไขมัน ต่างที่มีใน โตรเจน และหมู่ ที่เป็นฟอสฟอริก

2.3 ไกลโคลิปิด (glycolipid) เป็นกลุ่มของลิปิดที่โมเลกุลประกอบด้วย กรดไขมัน คาร์โบไฮเดรต และต่างที่มีใน โตรเจน แต่ไม่มีกรดฟอสฟอริก

2.4 Compound lipids ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ลิพิดโปรตีน ซัลโฟลิปิด และอะมิโนลิปิด เป็นต้น

3. Derived Lipids เป็นสารประกอบอื่นจากการไฮโดรไลซิสของลิปิด 2 กลุ่มแรก เช่นกรดไขมันแอลกอฮอล์ คอเลสเตอรอล วิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามินเอ ดี อีและเค) แคลโรทีนอยด์ เป็นต้น

ไขมันในความหมายเชิงชีวเคมี หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อยแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายต่างๆ และเป็นสารที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ประโยชน์ได้ (อูษณีย์, 2535) เป็นสารประกอบที่เป็นกลาง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเอสเทอร์ของกลุ่มแอลกอฮอล์กับกรดไขมัน (สรรเสริญ, 2531) ไขมันและน้ำมันทุกชนิดประกอบด้วยประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลมากมายหลายชนิดผสมรวมกันอยู่ ยังประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ อาจจะมีทั้งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวอยู่ โดยชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันและน้ำมัน จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดให้แตกต่างกัน (นิธิยา, 2548)

### 2.2.2 กรดไขมัน (Fatty acids)

กรดไขมันเป็นโครงสร้างหลักของไขมันในร่างกายและในอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายไขมัน ทำให้ได้สายโซ่ตรงของไฮโดรคาร์บอนและหมู่คาร์บอกซิลิก (ศิริรัตน์, 2528) มีสูตรโมเลกุล R-COOH องค์ประกอบในโมเลกุลของกรดไขมันประกอบด้วยสองส่วนคือ หมู่แอลคิล (alkyl : R-) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก จึงทำให้กรดไขมันสามารถแตกตัวออกได้เป็นประจุ (anionic carboxylate) และหมู่ R- มีสมบัติเป็น hydrophobic ซอบละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีขั้ว จึงทำให้กรดไขมันมีทั้งส่วนที่ละลายได้ใน

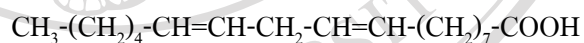
น้ำและน้ำมัน ในการสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่เอซิล ซึ่งมีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น จึงทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ โดยกรดไขมันสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่โดยแบ่งตามชนิดของพันธะ

1. กรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n}O_2$  ในพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดคือ กรดบิวทีริก (คาร์บอน 4 อะตอม)
2. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล โดยสามารถแบ่งแยกย่อยออกไปได้อีกเป็นสองกลุ่มใหญ่คือ

2.1 Monounsaturated Fatty Acid (MUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-1}COOH$  ตัวอย่างเช่น กรดโอเลอิก (oleic acid,  $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$ ) กรดปาล์มิโตเลอิก (palmitoleic acid,  $CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$ )

2.2 Polyunsaturated Fatty acid (PUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 อัน พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา ตัวอย่าง

- พันธะคู่ 2 อัน ( $C_nH_{2n-3}COOH$ ) เช่น กรดลิโนเลอิก มีคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 9 และ 12



(9,12-octadecadienoic acid (18:2))

มักพบในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง เป็นต้น

- พันธะคู่ 3 อัน ( $C_nH_{2n-5}COOH$ ) เช่น กรดลิโนเลนิก มีคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 9,12 และ 15



(9,12,15-octadecatrienoic acid (18:3))

มักพบในน้ำมันถั่วเหลือง และพบเล็กน้อยในน้ำมันลินสีด น้ำมันตับปลา และน้ำมันจากปลาทะเล

- พันธะคู่ 4 อัน ( $C_nH_{2n-7}COOH$ ) เช่น กรดอะราคิโดนิก มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 20 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5,8,11 และ 14





มักพบเป็นจำนวนน้อยในน้ำมันถั่วลิสง แต่พบมากในน้ำมันตับปลาและน้ำมันจากปลาทะเลต่างๆ (นิธิยา, 2548)

การเปลี่ยนแปลงจำนวนคาร์บอนอะตอมและการเกิดพันธะคู่ในสายโซ่กรดไขมันที่อิ่มตัวทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปไม่ว่าจะเป็นในด้าน โครงสร้าง สมบัติทางกายภาพ เช่น จุดหลอมเหลว สมบัติทางเคมี ด้านความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน สารกลุ่มไฮดรอกซิล และสารกลุ่มไฟลิด การทำปฏิกิริยากับแสงสว่างเป็นต้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีความคงตัวน้อยกว่าชนิดอิ่มตัว ดังนั้นจึงมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) การเกิดพันธะคู่ในสายโซ่ของกรดไขมันสามารถเกิดในตำแหน่งใดก็ได้ซึ่งแตกต่างกันไปตามแหล่งไขมันพืชและสัตว์ที่ต่างชนิดกัน (สรเสรีญ, 2531)

### 2.2.3 สมบัติของลิปิด

#### (1) สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน

นิธิยา (2548) กล่าวว่า สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันนั้นๆ จึงใช้ประโยชน์ของสมบัติทางกายภาพในการจำแนกและชี้บ่งชนิดของไขมันและน้ำมัน

1. จุดหลอมเหลว (Melting point) คืออุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวทั้งหมด โดยไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นองค์ประกอบของไขมัน

2. การเรียงตัวของรูปผลึก (Crystalline arrangements) ไขมันซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะการเรียงตัวเป็นรูปผลึกได้หลายรูป (polymorphism) ส่วนใหญ่มี 3 รูปคือ  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$

3. จุดแข็งตัว (Solidifying point) คืออุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็ง เรียกว่าเกิด Solidification และเรียกจุดนี้ว่า solidifying point อุณหภูมินี้มักต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2-3 องศาเซลเซียส

4. การละลาย (solubility) ไขมันและน้ำมันทุกชนิดไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน ซึ่งพบว่า การละลายของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นในตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรโฟบิกสูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้น มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น และยังขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะคู่ที่เป็น ซีสไอโซเมอร์ด้วย

5. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) นิยมวัดที่ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นในกรณีไขมันอาจวัดที่ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส พบว่าถ้าไขมันหรือน้ำมันมีพันธะคู่ในโมเลกุลเพิ่ม หรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ความถ่วงจำเพาะเพิ่มด้วย

6. การหักเหของแสง (Refractive index) เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง มีประโยชน์ในการชี้บ่งและตรวจสอบชนิดคุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน ค่าการหักเหของแสงขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอน พันธะคู่ และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบ

7. ความหนืด (viscosity) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิล-กลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น

#### 8. Smoke point, Flash point และ Fire point

8.1 Smoke point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น

8.2 Flash point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศเกิดติดไฟขึ้น

8.3 Fire point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันเกิดการเผาไหม้

9. สี (Colour) เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมัน น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารสีที่ปนมาอยู่ในวัตถุดิบ และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี โดยพบว่าน้ำมันสีอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

10. Solid Fat Index เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ของไขมันหรือน้ำมันที่เปลี่ยนเป็นของแข็งหรืออยู่ในสภาพแข็งตัวที่เป็นผลึกที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งการเกิดผลึกวัดได้จากปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป วิธีการวัดเรียกว่า dilatometry

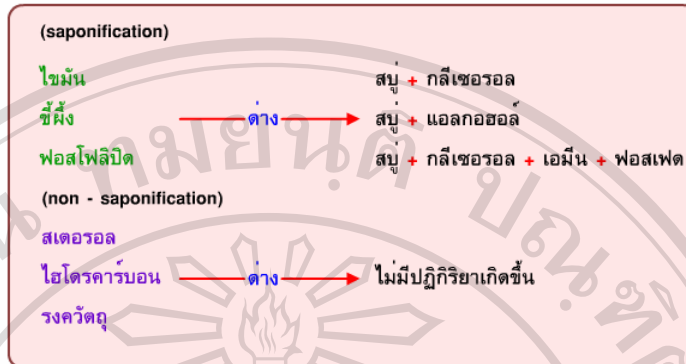
#### (2) ปฏิกริยาและสมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมัน

อัญชลินทร์ และทศพร (2544) รายงานว่า เนื่องจากลิปิดแต่ละชนิดมีส่วนประกอบ และโครงสร้างของโมเลกุลแตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติทางเคมี และเกิดปฏิกิริยากับสารต่างๆ แตกต่าง

##### (2.1) ปฏิกริยาทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ที่สำคัญ ได้แก่

1. การไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ลิปิดบางชนิดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด ค่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซิสลิปิดด้วยค่างเรียกว่า ซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ลิปิดที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยค่างเรียกว่า ซาปอนนิฟิเคชัน แมทเทอร์ (saponifiable matter) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด และซีฟี่ เป็นต้น ส่วนลิปิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยค่าง เรียกว่า อันซาปอนนิฟิเคชันแมทเทอร์ (unsaponifiable matter หรือ non-saponifiable matter)

ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสด้วยด่างของลิพิดชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยด่างของลิพิดชนิดต่างๆ (อัญชลินทร์ และทศพร, 2544)

สารสaponifiายไม่ได้ (Unsaponifiable matter) หมายถึง สารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการทำซาปอนิฟิเคชัน ได้แก่ สารประกอบจำพวก ไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุล และสเตอรอล โคลเอสเตอรอล และไฟโตสเตอรอล (phytosterol) เป็นต้น โดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมี สารสaponifiายไม่ได้ปนอยู่ไม่เกิน ร้อยละ 2 ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิส อาจเกิดขึ้นจากการที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น การทอดอาหาร ไขมันหรือน้ำมันจะไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น กลีเซอรอลจะสลายตัวได้สารพวกอโครลีน (acrolein) ซึ่งจะระเหยกลายเป็นควัน และมีกลิ่นเหม็น เป็นต้น ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืช หรือสัตว์แต่ละชนิดมักมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นปริมาณด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อไขมันหรือน้ำมันจำนวนหนึ่งจะมีค่าแน่นอน และเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งสมบัติเฉพาะของไขมันหรือน้ำมัน แต่ละชนิดได้ เรียกค่านี้ว่า ค่าซาปอนิฟิเคชัน (saponification number หรือ Saponification value) (S.N. หรือ S.V.)

2. ฮาโลเจเนชัน (halogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน (halogen) เข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในโมเลกุลของลิพิด ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวชี้บ่งปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่าค่าไอโอดีน (Iodine number หรือ Iodine value ; I.N. หรือ I.V.)

3. การเกิดกลิ่นหืน การเกิดกลิ่นเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน จึงทำให้มีกลิ่น และสมบัติบางประการเปลี่ยนไป ไขมันและน้ำมันบางชนิด เมื่อเกิดการหืนแบบมีความชื้นอยู่ในปฏิกิริยาแล้วไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า หรือชิมรสจึงต้องทำการตรวจ

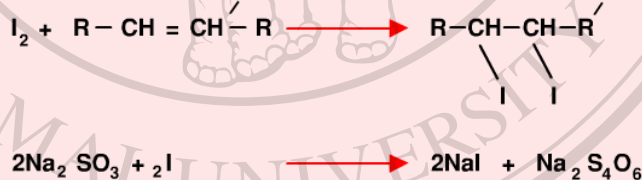
วิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี คือ วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นค่าที่ได้เรียกว่า ค่าของกรด (Acid value ; A.V.)

## (2.2) สมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมัน

สมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมัน แสดงได้ในค่าต่างๆ ดังนี้

1. ค่าไอโอดีน (Iodine number หรือ Iodine value ; I.N. หรือ I.V.) คือ จำนวนกรัมของ ไอโอดีน ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบใน โมเลกุลของไขมัน หรือน้ำมัน 100 กรัม ค่า I.N. เป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมัน มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า I.N. สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมาก และจะเกิดการหืนชนิด ที่เกิดจากการมีออกซิเจนในปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น น้ำมันพืชที่มีค่า I.N. สูงซึ่งแสดงว่ามีปริมาณไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่เป็นปริมาณมากนั้น ยังเป็นตัวชี้บ่งคุณค่าทางโภชนาการของไขมัน หรือน้ำมันชนิดนั้น ๆ ด้วยน้ำมันที่มีค่า I.N. สูงจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีปริมาณของกรดไขมันจำเป็น ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากด้วย

การหาค่า Iodine number มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



รูปที่ 2.3 การหาค่า Iodine number (อัญชลินทร์ และทศพร, 2544)

การหาค่า I.N. มี 2 วิธี คือ ใช้สารละลายของวิจ (wiji solution) ซึ่งเป็นสารละลายไอโอดีนละลายอยู่ในกรดอะซิติก และมีไอโอดีนโมโนคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนอีกวิธีหนึ่งใช้สารละลายฮานูส (Hanus reagent) เป็นสารละลายไอโอดีนละลายอยู่ในกรดอะซิติกและมีไอโอดีนโมโนโปรไมด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาต้องเติมสารละลายไอโอดีนให้มากเกินไป ปริมาณไอโอดีนที่เหลือหาได้ โดยการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมาตรฐาน โดยใช้น้ำแ่งเป็นอินดิเคเตอร์

2. ค่าของกรด (Acid value ; A.V.) ของไขมัน หรือน้ำมัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมัน หรือน้ำมันจำนวน 1 กรัมเป็นกลาง ซึ่งนิยมเทียบเป็น ร้อยละของกรดโอเลอิก ดังนั้นค่า A.V. จะเป็นตัวชี้บ่งภาวการณ์หืนของไขมัน และน้ำมัน ถ้าค่า A.V. สูง แสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่าเกิดการหืนมาก แสดงว่าเกิดการหืนเนื่องจาก hydrolytic acidity มาก วิธีการชะลอการเกิดไฮโดรไลซิสของไขมันและน้ำมันทำได้โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือในตู้เย็น ทำให้ปราศจากน้ำและ จุลินทรีย์

3. ค่าซาปอนิฟิเคชัน คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมัน หรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่ และกลีเซอรอล ค่า S.N. ใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมัน หรือน้ำมันนั้น ๆ ไขมัน หรือน้ำมันที่มีค่า S.N. สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ทำนองเดียวกันถ้าค่า S.N. ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ค่าน้อยในการไฮโดรไลซิส สำหรับการไฮโดรไลซิสไขมัน หรือน้ำมันด้วยกรด และเอนไซม์ จะได้กรดไขมันและกลีเซอรอล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ลิพอลิซิส (lipolysis) และจะทำให้เกิด hydrolytic rancidity

4. ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value ; P.V.) หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรต ไขมัน หรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิลิตรสมบูรณ์ของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนที่มีในไขมัน หรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า P.V. สูง แสดงว่าไขมัน หรือน้ำมันเกิด oxidative rancidity มาก

5. ค่าไรเอิทไมเซล (Reichert Meissel number, R.M.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และสามารถละลายได้ในน้ำ (volatile water soluble fatty acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในโมเลกุล 4-6 อะตอม คือ กรดบิวทิริก และกรดคาโปรอิก ตามลำดับ

ค่า R.M.N. หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายต่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้ และละลายในน้ำ ออกมาจากไขมัน หรือน้ำมันจำนวน 5 กรัม เป็นกลาง ค่า R.M.N. นิยมใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อทดสอบการปนปลอมของเนย ซึ่งในการผลิตเนยอาจใช้น้ำมันชนิดอื่นมาทดแทนไขมันนม

6. ค่าโพแลนสเก (Plenske number; P.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และไม่สามารถละลายในน้ำ (volatile water insoluble fatty acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในโมเลกุลระหว่าง 8 ถึง 11 อะตอม ได้แก่ กรดคาปริลิก คาพริก ลอริก และไมริสติก เป็นต้น สำหรับกรดคาปริลิก และคาพริกละลายในน้ำได้บ้างเล็กน้อย ดังนั้นอาจพบกรดเหล่านี้อยู่ในส่วนที่ละลายได้ในน้ำด้วย ซึ่งจะมีผลต่อทั้งค่า R.M.N. และ P.N.

ค่า P.N. หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายคาร์บอนเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้แต่ไม่สามารถละลายในน้ำได้ออกมาจากไขมันหรือน้ำมันจำนวน 5 กรัม เป็นกลาง ค่า P.N. ใช้ชี้แจงความแตกต่างระหว่างเนย และน้ำมันมะพร้าว ค่า P.N. ของเนยประมาณ 1.6-3.5 ส่วนของน้ำมันมะพร้าวประมาณ 12-18

7. ค่าเฮเนอร์ (Hehner) หมายถึง ร้อยละของกรดไขมันที่ไม่ละลาย (insoluble fatty acid) ที่มีอยู่ในไขมันนั้น ๆ ค่าเฮเนอร์ นอกจากเป็นค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ไขมันทั่ว ๆ ไป ยังใช้ตรวจในการสอบความบริสุทธิ์ของเนยได้ เช่นเดียวกับค่าไรเอท-ไมเซล และค่าโพแลนสเก

#### 2.2.4 สมบัติของลิปิดที่มีผลต่อคุณภาพอาหาร

โดย จันทนา (2539) กล่าวว่า ไขมัน และน้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหาร นอกจากจะเป็นสิ่งที่ช่วยเพิ่มรสชาติของอาหารให้ดีขึ้นแล้ว ยังเป็นตัวนำความร้อนที่ทำให้อาหารสุก ช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดภาชนะที่ใช้ทอด และช่วยทำให้อาหารมีสีสวยด้วย ไขมันและน้ำมันต่างชนิดกัน จะทำให้อาหารมีรสชาติต่างกัน

ไขมันหรือน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร อาจทำมาจากสัตว์ ที่นิยมใช้กันมาก คือ น้ำมันหมูหรือทำมาจาก น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันงา ส่วนใหญ่มักเป็นน้ำมันพืชผสม ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำมันรำข้าว หรือผสมกับน้ำมันเมล็ดคนุน เป็นต้น (นิธิยา, 2548)

สมบัติของไขมัน หรือน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่ดีต้องมีความคงตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำ ทนทานต่อความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 162-190 องศาเซลเซียส และต้องมีคุณสมบัติสัมพันธ์กับอาหารที่ใช้ทอด เพราะกลิ่นรสของไขมัน หรือน้ำมันจะติดไปกับอาหารด้วย ไขมันหรือน้ำมันที่มีโมโน หรือไดกลีเซอไรด์ หรือกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบ จะทำให้เกิดควันได้ง่าย และเป็นสาเหตุทำให้อาหารที่ทอดมีกลิ่นที่ไม่ต้องการติดมาด้วย ไขมันหรือน้ำมันที่ผ่านขบวนการเติมไฮโดรเจนจะมีความคงตัวเพิ่มขึ้น แต่ทำให้จุดหลอมเหลวสูงขึ้นด้วย ไขมันหรือน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารในโมเลกุลควรประกอบด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย เพื่อให้มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความคงตัวดีโดยไม่ต้องผ่านขบวนการเติมไฮโดรเจน ส่วนน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นคือมีปริมาณของกรดไขมันอิสระมากขึ้น ค่าไอโอดีนลดต่ำลง รวมทั้งจุดที่เป็นควัน และจุดหลอมเหลวก็ลดต่ำลงเช่นกัน ในขณะที่ สีของน้ำมันดำขึ้น และน้ำมันจะเหนียวขึ้น

น้ำมันที่ใช้แล้วจึงควรกรองเศษอาหารเล็ก ๆ ออก และเก็บน้ำมันไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ ปราศจากอากาศ แสง ทั้งนี้เพื่อช่วยยืดอายุของน้ำมันให้เก็บได้นานขึ้น (จันทนา, 2539)

ไขมันหรือน้ำมันที่ใช้ในการทอดผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น โดนัท และพายทอด เป็นต้น ควรจะมีจุดเกิดควันที่อุณหภูมิสูง และมีความคงตัวต่อการเกิดไฮโดรไลซิส และออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิของการทอด และควรจะมีกลิ่นติดผลิตภัณฑ์ที่ทอดเพียงเล็กน้อย ไขมันที่นิยมใช้ในการทอด คือ ไขมันหมู และน้ำมันจากเมล็ดฝ้ายที่ผ่านขบวนการเติมไฮโดรเจน โดยอุณหภูมิที่ใช้ทอดควรอยู่ระหว่าง 117-201 องศาเซลเซียส เมื่อทอดได้ที่แล้วผลิตภัณฑ์ที่ทอดจะมีสีน้ำตาล จากกระบวนการเกิดสีน้ำตาลทั้งแบบคาราเมลไลเซชัน (caramelization) จากน้ำตาล และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard) ของน้ำตาลรีดิวซ์กับโปรตีน นอกจากนี้ยังทำให้ผิวกรอบอีกด้วย ในขณะที่น้ำมันร้อนทำให้อาหารเปลี่ยนสภาพ ตัวน้ำมันเองก็เปลี่ยนแปลงเช่นกัน กล่าวคือ สีของน้ำมันจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีน้ำตาลเข้ม จุดเกิดควันที่อุณหภูมิต่ำลง มีลักษณะขุ่นหนืด และเป็นฟอง และอาหารจะดูดซับน้ำมันได้น้อยลง นอกจากนี้แล้วถ้าให้ความร้อนแก่น้ำมันมากเกินไป กลีเซอรอลที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสจะเกิดการระเหยน้ำจากโมเลกุล ได้สารอัลดีไฮด์ที่ไม่อิ่มตัว คือ อโครลิน ซึ่งให้กลิ่นรสที่ไม่ดี (ไพจิตร, 2530)

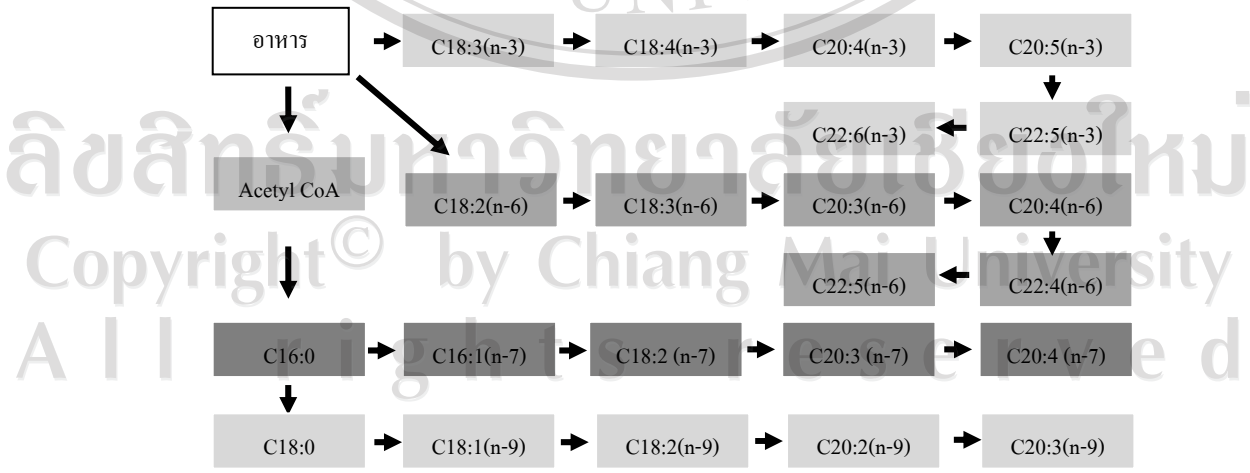
สมบัติของไขมันอีกประการหนึ่งคือ ทำให้เป็งนุ่ม และร่วนเป็นชิ้น อาหารที่ทำด้วยเป็ง เช่น เค้ก โรตีส และพาย เป็นต้น ถ้าไม่ใส่ไขมัน เส้นใยกลูเตน ซึ่งเกิดจากโปรตีนในเป็งกับน้ำจะเกาะกันเหนียว และแน่น แต่ถ้าใส่ไขมันแล้ว ไขมันจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยกลูเตน และบางส่วนจะทำให้เส้นใยกลูเตนขาด ทำให้เนื้อขนมไม่แน่น ในเค้กไขมันถูกตีเป็นหยดเล็ก ๆ แทรกอยู่ทั่วไปทำให้ขนมนุ่ม ส่วนในผลิตภัณฑ์ประเภทพาย ไขมันที่แทรกอยู่เป็นหยดใหญ่อยู่ระหว่างชั้นของเส้นใยกลูเตน จึงทำให้ขนมนุ่ม (Mattil, 1964)

### 2.2.5 ประโยชน์ของไขมัน

ในด้านอาหาร ไขมัน และน้ำมันทั้งที่สกัดได้จากพืช และจากสัตว์ เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะถูกนำมาใช้บริโภคโดยตรงในรูปไขมัน หรือน้ำมัน และอาจแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เนย มาการีน ครีม เนยขาว และส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ไขมันจัดเป็นอาหารหมู่หนึ่ง ไขมันเป็นอาหารที่ให้พลังงานมากที่สุด โดยจะเก็บในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) และฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปส (Lipase) และฟอสโฟไลเปส (phospholipase) จะได้เป็นกรดไขมัน การสลายตัวของกรดไขมันจะให้พลังงานจำนวนมาก (นิธิยา, 2548) ไขมัน 1 กรัมให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี นอกจากนี้ยังทำให้อาหารมีกลิ่นรสน่าบริโภค ช่วยชะลอความหิว เนื่องจากต้องใช้เวลาในการย่อย เป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) คือ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid ; C18:2 cis 9, 12) และกรดลิโนเลนิก

(linolenic acid ; C18:1 cis9,12) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acid C18:3 cis9,12,15) ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้ เนื่องจากกรด fatty acid synthetase complex จะสังเคราะห์กรดไขมันที่มีสายคาร์บอนยาวที่สุดได้ 16 อะตอม และถ้าต้องการกรดไขมันที่มีจำนวนสายคาร์บอนยาวกว่านี้จะได้จากการ elongation และ desaturation การทำงานของเอนไซม์ elongase และ desatrase ในสัตว์ และพืชจะแตกต่างกันมากโดยหากเริ่มจากกรดสเตียริกทั้งสัตว์และพืชจะสามารถเปลี่ยนเป็นกรดโอเลอิกได้

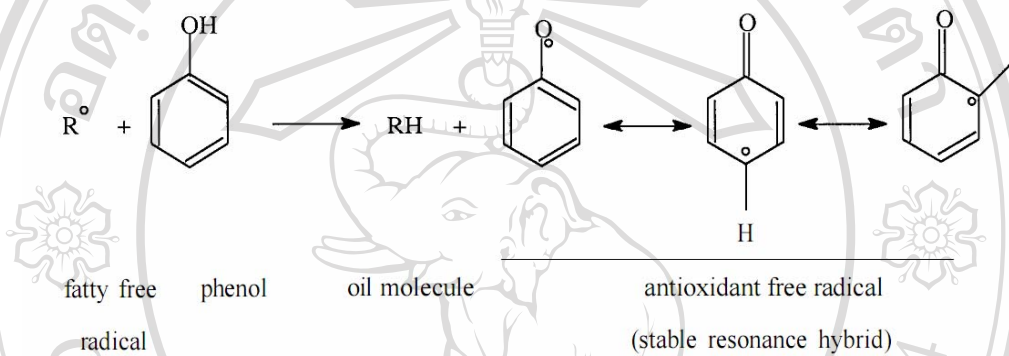
พืชจะสร้างพันธะคู่ต่อไปที่ตำแหน่ง 12 และ 15 หรือสร้างไปทางหมู่เมทิล และพืชบางชนิดจะสร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่งที่ 6 ได้ (สร้างไปทางหมู่คาร์บอกซิลิก) แต่ในสัตว์จะไม่มีเอนไซม์ 9,6,5,4 desaturase ซึ่งสามารถสร้างพันธะคู่ไปทางหมู่คาร์บอกซิลิก เท่านั้น จึงทำให้ในสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดลิโนเลนิก (C18:2,9,12) และกรดลิโนเลนิก (18:3, 9,12,15) ได้ ดังนั้นปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายพันธะคู่ในเยื่อเซลล์จึงปรับเปลี่ยนได้ง่ายขึ้นกับปริมาณของกรดไขมันทั้งสองในอาหาร กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายพันธะคู่ที่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสังเคราะห์ได้ (มนตรี, 2530) แสดงในรูปที่ 2.4 กรดไขมันที่จำเป็น ถ้าขาดจะเกิดความผิดปกติบางอย่างทางร่างกาย เช่น ทำให้เส้นเลือดฝอยเปราะ การตั้งครรภ์ และการหลั่งน้ำนมไม่ดี ถ้าเกิดในทารกจะทำให้ผิวหนังเกิดอาการคัน และอักเสบ กรดลิโนเลนิก และกรดอะราคิโดนิก (arachidonic acid) เป็นกรดไขมันที่มีฤทธิ์ในการรักษา หรือบรรเทาอาการต่างๆ ได้ดีที่สุด รองลงมาคือกรดลิโนเลนิก กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงอื่นๆ จะมีฤทธิ์ในการรักษาน้อยจนถึงปานกลาง ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวจะไม่มีผลในการรักษาเลย น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันข้าวโพด จะมีกรดลิโนเลนิกอยู่มาก ไขมันสัตว์เช่น น้ำมันหมู ไขมันจากเนื้อวัว เนยเหลว จะเป็นแหล่งของกรดอะราคิโดนิก (ด้วง, 2534)



รูปที่ 2.4 แสดงการสังเคราะห์กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายพันธะคู่ (polyunsaturated fatty acid) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (มนตรี, 2530)



วิตามินเอ ดี อี และเค เป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน และมีอยู่ในอาหารจำพวกไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินดังกล่าว วิตามินอีหรือโทโคฟีรอล (tocopherols) ซึ่งพบในน้ำมันพืชหลายชนิด (ไพจิตร, 2530) วิตามินอีเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidation) ที่ดี โดยมีคุณสมบัติในการดักอนุมูลอิสระซึ่งเป็นต้นเหตุของปฏิกิริยาที่ทำให้ไขมันเหม็นหืน สารป้องกันการเกิดออกซิเดชันที่มีในน้ำมันพืชตามธรรมชาติส่วนใหญ่จะถูกทำลายไประหว่างกระบวนการผลิต น้ำมันจึงมีการเติมสารเคมีซึ่งเป็นตัวระงับการเกิดออกซิเดชัน ได้แก่ BHA, BHT, TBHQ เพื่อช่วยป้องกันการกลั่นหืนของน้ำมันซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Sherwin, 1978)



รูปที่ 2.5 กลไกการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของสารกันหืนในน้ำมันพืช (Sherwin, 1978)

การเหม็นหืนของน้ำมันเกิดจากสารที่เป็นผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน หรือกลีเซอไรด์ในน้ำมันด้วยออกซิเจนในอากาศซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยมีอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากเป็นตัวเร่ง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิปิดในร่างกายเรียกว่า ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ซึ่งเชื่อว่าส่วนสำคัญต่อการเกิดโรคเส้นเลือดอุดตัน เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง และเป็นอันตรายต่อไมอีลิน (myelin) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเกี่ยวกับระบบประสาท (Jacob, 1994) จากการศึกษาการเกิดออกซิเดชันของเมทิลเอสเทอร์ของกรดโอเลอิก กรดลิโนลิก และกรดลิโนเลนิก พบว่าอัตราเร็วในการเกิดออกซิเดชันของกรดโอเลอิกต่อกรดลิโนเลนิก ต่อกรดลิโนเลนิกมีค่าเท่ากับ 1:12:25 (Gunstone, 1995) และเนื่องจากกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงจะเกิดออกซิเดชันได้เร็วซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ ในขณะที่การบริโภคน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนโลหิต จึงมีการแนะนำให้บริโภคน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งพันธะคู่ (monounsaturated fatty acid) สูงเพื่อให้เกิดสมดุลของระดับคอเรสเตอรอลที่ต่ำ และลดความไวของอันตรายที่เกิดจากลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (Sherwin, 1978 และ Jacob, 1994)

ไขมัน และน้ำมันทั้งที่สกัดได้จากพืชและสัตว์ เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะถูกนำมาใช้บริโภคโดยตรงในรูปไขมัน หรือน้ำมัน และอาจแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เนย มาการีน ครีม เนยขาว และส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ในการนำน้ำมันพืชมาผลิตเป็นน้ำมันบริโภคจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่นในการนำน้ำมันพืชมาใช้ผลิตน้ำมันสลัด น้ำมันพืชที่เลือกต้องมีจุดหลอมเหลวต่ำ และเมื่อเก็บไว้ในตู้เย็นจะต้องยังคงสภาพเป็นของเหลว น้ำมันพืชที่นิยมใช้ผลิตน้ำมันสลัดได้แก่ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย และน้ำมันข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการกำจัดไข (dewaxing) โดยน้ำมันสลัดที่มีส่วนประกอบของกรดลิโนลินิกไม่ว่าจะเป็นน้ำมันพืชที่ผ่านการเติมไฮโดรจิเนตหรือไม่ก็ตาม จะมีอายุการเก็บสั้นกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น (Krishnamurthy, 1982)

อนุพันธ์ของน้ำมัน และไขมันธรรมชาติยังใช้เป็นอิมัลชันในอาหารเช่นการใช้โมโนกลีเซอไรด์ และอนุพันธ์ของโมโนกลีเซอไรด์เป็นอิมัลชันในมาการีน และในการผลิตขนมปัง โดยอิมัลชันจะช่วยทำให้ขนมปังนุ่มและยืดอายุการเก็บของขนมปังได้อีกด้วย (Haften, 1976) ในปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารและคุณสมบัติของน้ำมันพืชเพิ่มมากขึ้น เช่นการเพิ่มความเข้มข้นของ EPA (eicosapentaenoic acid) และ DHA (docosahexaenoic acid) ในน้ำมันปลาโดยใช้เอ็นไซม์และการปรับปรุงตำแหน่งของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ เพื่อให้ได้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่นการใช้ไตรกลีเซอไรด์ธรรมชาติที่มีกรดโอเลอิกอยู่ในตำแหน่งที่ 2 ทำปฏิกิริยากับสเตียริก หรือไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับเนยโกโก้ และมีความคงตัวต่อความร้อนเพิ่มขึ้น ตำแหน่งของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์มีผลต่อคุณค่าทางอาหารของไขมัน เช่น ไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วย caprylic acid, capric acid และ benhenic acid ใน 1 โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์จะให้พลังงานประมาณ 5 แคลอรีต่อกรัม และ 2-oleyl-1, 3 dicaprylin จะดูดซึมได้เร็วกว่า triolein ประมาณ 2.5 เท่าและไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะถูกดูดซึมได้ยาก เนื่องจากเกิดอิมัลชันในร่างกายเป็นไปได้ยาก ทำให้การย่อยโดยเอนไซม์ไลเปสในร่างกายเกิดได้ยาก ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งให้พลังงานต่ำเหล่านี้สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน หรืออินเทอร์ฟิเคชัน โดยทางเคมี และโดยการใช้เอ็นไซม์ ซึ่งการปรับปรุงไขมัน และน้ำมันพืชด้วยวิธีการเหล่านี้มีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ต้องการใช้ไขมันที่ให้พลังงานต่ำ (Kawahara, 1993 และ จันทนา, 2539)

การใช้ไขมันและน้ำมันสำหรับบริโภค จะต้องมีการตรวจวัดสิ่งเจือปนอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของน้ำมัน และสิ่งเจือปนบางชนิดยังมีอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นน้ำมันบริโภคจึงต้องมีการตรวจคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม นอกจากในการใช้เป็นอาหารแล้ว ยังมีการใช้ไขมันและน้ำมันในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ในอุตสาหกรรมโ

ลิโอเคมีต่างๆ เช่น ใช้เป็นตัวกระจายพื้นผิว surfactants เป็นวัสดุเคลือบผิว เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติก (plasticizers) เครื่องสำอางและยา และสารฆ่าแมลง และเชื้อรา (จันทนา, 2539)

### 2.3 การสกัดน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันที่บริสุทธิ์ไม่มีในธรรมชาติ เพราะต้องทำการสกัดแยกออกมาจากวัตถุดิบที่มีปริมาณของไขมันหรือน้ำมันสูงๆ ซึ่งวิธีการสกัดแยกไขมันและน้ำมันออกมามีวิธีเฉพาะสำหรับวัตถุดิบในแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของวัตถุดิบนั้นๆ (นิธิยา, 2548) การแยกไขมันและน้ำมันจากแหล่งวัตถุดิบที่เป็นพืชหรือสัตว์นั้นได้ทำกันมาเป็นเวลานาน และได้มีการพัฒนากระบวนการแยกไขมันและน้ำมันอย่างต่อเนื่องมาจนเกิดเป็นเทคโนโลยีเกี่ยวกับไขมันที่มีลักษณะที่เฉพาะตัว ซึ่งการพัฒนากระบวนการแยกเหล่านี้เกิดจากการที่แหล่งวัตถุดิบน้ำมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป จึงต้องนำกระบวนการสกัดต่างกันมาใช้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับวัตถุดิบ เช่น การเจียว การอัด หรือการสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นต้น

โดยทั่วไปการสกัดน้ำมันหรือไขมันสามารถทำได้ โดยวิธีการหลัก 3 วิธีคือ

#### (1) การเจียว (Rending)

นิยมใช้กับเนื้อเยื่อไขมันที่มีลักษณะอ่อนและมีไขมันสูงโดยที่หลักการคือ การให้ความร้อนจนผนังเซลล์แตกและไขมันเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวไหลออกมาได้ การเจียวสามารถทำได้ 3 รูปแบบคือ

(1.1) การเจียวแบบแห้ง (Dry rendering) ทำการเจียวในภาชนะเปิด อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 104 - 110 องศาเซลเซียส โดยความร้อนจะทำให้โปรตีนในผนังเซลล์ไขมันแข็ง ไม่สามารถเก็บน้ำมันไว้ในเซลล์ได้ ทำให้ไขมันไหลออกจากกากได้ง่าย จากนั้นทำน้ำมันที่ได้ไปแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงแล้วนำกากไปปิดอัดน้ำมันที่ยังเหลืออีกเพื่อนำไปรวมกับน้ำมันที่แยกได้ส่วนแรก ส่วนที่เหลือจากการอัดจะนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ต่อไป (นิธิยา, 2548) ไขมันที่สกัดได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพไม่ค่อยดี เพราะไขมันบางส่วนได้รับความร้อนที่สูงเกินจากตัวภาชนะบรรจุโดยตรง ทำให้มีสีคล้ำเพราะเกิดออกซิเดชัน (Pigott, 1967)

(1.2) การเจียวแบบเปียก (Wet rendering) เป็นการพ่นไอน้ำลงบนเนื้อเยื่อไขมันในภาชนะปิด ภายใต้ความดันต่ำประมาณ 45 – 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้เวลาประมาณ 3-6 ชั่วโมง จะต้องทำในสถานะสุญญากาศเพื่อลดการเกิดออกซิเดชัน (นิธิยา, 2548) วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่น รส และคุณภาพการเก็บที่ดี ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการสกัดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการเจียวแบบแห้ง (Mattil et al., 1964)

(1.3) การเจียวย่อย (digestive rendering) คล้ายกับการเจียวเปียก แต่มีการเติมสารเคมี หรือ

เอนไซม์ลงไปเพื่อช่วยให้เกิดการย่อยในเนื้อเยื่อ และละลายเนื้อเยื่อเชื่อมติด ทำให้ไขมันแยกตัวออกมาได้ง่ายขึ้น เช่นการสกัดน้ำมันตับปลา

### (2) การบีบอัด (Pressing or expelling)

เป็นการใช้แรงเชิงกลบีบอัดลงในวัตถุดิบเพื่อทำให้เซลล์แตกออกแล้วทำให้ไขมันไหลออกมาจากเซลล์ได้ โดยวิธีการบีบเหมาะสำหรับวัตถุดิบพวกเมล็ดพืชน้ำมันต่างๆซึ่งเมล็ดพืชที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 เพื่อชะลอการเสื่อมคุณภาพโดยจุลินทรีย์ เอนไซม์ และการหายใจของเมล็ด

### (3) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด มักใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันต่ำใช้กับเมล็ดพืช และการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ วิธีการสกัดทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลผ่านตัวอย่างที่บดละเอียด น้ำมันจะละลายออกมากับตัวทำละลาย จากนั้นนำไปกลั่น/ระเหยแยกเอาตัวทำละลายออก สารละลายของน้ำมันในตัวทำละลายบางครั้งเรียกว่า miscella ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลาย น้ำหรือความชื้น น้ำมัน และกาก ซึ่งกากจะแยกออกได้โดยการกรอง ส่วนตัวทำละลายและน้ำแยกออกโดยการระเหย (นิธิยา, 2548) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดไขมันและน้ำมัน ได้แก่

- ก. ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ตัวทำละลายมากจะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้มาก และมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากน้อย แต่ต้องใช้เวลานานในการระเหย
- ข. ชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายหลายชนิดใช้สกัดน้ำมันได้ และตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกัน ต้องเลือกให้เหมาะสมและไม่เป็นพิษกับร่างกาย โดยตัวทำละลายที่นิยมมากที่สุดคือ เฮกเซน
- ค. อุณหภูมิในการสกัด
- ง. ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง
- จ. ความชื้นในตัวอย่าง
- ฉ. เวลาที่ใช้ในการสกัด

### (3.2) ขั้นตอนในการสกัดด้วยตัวทำละลาย

Golam et al. (1990) ได้อธิบายถึงขั้นตอนการสกัดน้ำมัน โดยใช้ตัวทำละลายไว้ 3 ขั้นตอน

#### 1. การเตรียมวัตถุดิบก่อนสกัด

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการสกัดแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

(1) การเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้น (Pre-drying) เพื่อลดความชื้นในวัตถุดิบ โดยเลือกทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และให้มีความชื้นที่เหมาะสมหลังการทำแห้งจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5-7

(2) การกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Decontamination) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น หิน โลหะ ทราฮ์ อาจจะใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรง แล้วผ่านแท่งแม่เหล็ก หรืออาจใช้สายพานที่ยกขึ้นทำให้เมล็ดถั่วซึ่งมีรูปกลมไหลลงจากสายพานในขณะที่เปลือกแตกติดขึ้นไปกับสายพานแยก (William, 1996)

(3) การบด (Grinding) เพื่อลดขนาดของอนุภาคเพื่อให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปได้อย่างสมบูรณ์ ในกระบวนการบดต้องทำให้รวดเร็วและไม่ทำให้เกิดความร้อนมากจนเกินไป หรือเกิดการสูญเสียไขมันหรือน้ำมันไปจากวัตถุดิบ

## 2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายทำได้โดยการใช้ตัวทำละลายชะผ่านวัตถุดิบเพื่อสกัดไขมัน และน้ำมันออกหลังจากนั้นระเหยเอาตัวทำละลายออกจากไขมันหรือน้ำมันที่สกัดได้ซึ่งเป็นน้ำมันดิบ (Crude oil) โดยปัจจัยในการเลือก คือสามารถสกัดไขมันได้ดี ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่ไม่ต้องการ ระเหยง่ายไม่ตกค้าง มีจุดเดือดต่ำ ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ ซึมเข้าอนุภาคตัวอย่างได้ดี และควรเป็นสารองค์ประกอบเดียวเพื่อป้องกันการแยกชั้นของตัวทำละลายในระหว่างการสกัด อัตราส่วนของตัวทำละลายกับวัตถุดิบที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เลือกใช้ ซึ่งค่าอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อวัตถุดิบที่เหมาะสมแต่ละวิธีการสกัดอาจได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดโดยการประมวลผลทางสถิติช่วย คุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายไว้ว่าอาจมีเศษวัตถุดิบ ความชื้น หรือสารอื่นที่ปนมากับน้ำมัน ซึ่งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้สามารถแบ่งแยกออกได้โดยกระบวนการเชิงกล เช่นการกรอง การตกตะกอน และการเหวี่ยงแยก น้ำมันที่ผ่านการแยกสิ่งปนเปื้อนเชิงกลแล้วเรียกว่าน้ำมันดิบ (William, 1966)

## 3. การทำให้บริสุทธิ์ (Refining)

หลังจากที่ได้น้ำมันแล้วการจะผลิตเป็นน้ำมันเพื่อการบริโภคจะต้องผ่านขั้นตอนที่ทำให้ น้ำมันมีความบริสุทธิ์และมีคุณภาพดีเพียงพอ โดยน้ำมันที่ดีต้องไม่มีสารอื่นปนเปื้อนอยู่นอกจาก สารไตรกลีเซอไรด์ และวิตามินอี ดังนั้นสิ่งที่มีอยู่จึงถือเป็นสิ่งปนเปื้อน ซึ่งหมายถึงกรดไขมันอิสระ โมโนและไตรกลีเซอไรด์ ฟอสฟาไทด์ สเตอรอยด์ ไฮโดรคาร์บอน รงควัตถุ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไวตามินอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะต้องถูกกำจัดออกโดยกระบวนการกำจัดที่เรียกรวมกันว่า การทำให้บริสุทธิ์ (นิธิยา, 2548) ซึ่งทำได้หลายขั้นตอนดังนี้

(1) การกำจัดสารเหนียว (Degumming) สารเหนียวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีรูปแบบ โดยการรีไฟน์ (Refining) เป็นกระบวนการแยกเอาพวกกรดไขมันอิสระและสารปนเปื้อนที่ไม่ละลายในน้ำมันออกจากน้ำมันไป

(2) การฟอกสีให้จางลง (Bleaching) เป็นกระบวนการที่ใช้แยกเอาสารประกอบที่เป็นสารสีต่างๆ และสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งติดปนอยู่กับน้ำมันออกไป หรือทำให้มีปริมาณที่น้อยลงไป สารสีเหล่านี้ อาทิเช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์

(3) การกำจัดกลิ่น (Deodorization) เป็นกระบวนการกำจัดสารที่ให้กลิ่นและรสชาติออกจากไขมันหรือน้ำมัน สารประกอบที่ถูกกำจัดออกไปจะเป็นพวกที่ระเหยได้ เช่น กรดไขมันอิสระ แอคติไฮด์ คีโตน เปอร์ออกไซด์รวมทั้ง สเตอรอล แวกซ์ และสารสีบางชนิดด้วย

(4) Winterization เป็นกระบวนการที่ทำให้ไขมันและน้ำมันมีอุณหภูมิลดต่ำลงและเกิดการแข็งตัวตกผลึกแยกออกมา เนื่องจากไขมันและน้ำมันประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลหลายๆ ชนิดรวมกัน น้ำมันที่ผ่านการทำ winterization จะนำไปใช้ทำน้ำมันสลัด เพราะจะไม่แข็งตัวตกผลึกเมื่อเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น

การสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย นิยมใช้ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันจากพืช เช่น Kanya et al (2006) ศึกษาองค์ประกอบของ wax ester, free fatty alcohol และ free fatty acid จากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (sunflower seed oil) โดยใช้วิธีการสกัดโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายพบว่า มี crude wax ได้ออกมาร้อยละ 10-12 โดยมี wax ester ประกอบอยู่ร้อยละ 66 free fatty alcohol ร้อยละ 10 และ free fatty acid ร้อยละ 16 Gunawan et al (2008) ศึกษาการสกัดและการทำบริสุทธิ์จาก soybean oil deodorizer (SODD) ในประเทศไต้หวัน พบว่ามี free fatty acid อยู่ร้อยละ 45 มี triacylglycerols อยู่ร้อยละ 20 และได้ใช้ Modified soxhlet extraction โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายร่วมกับ silica gel column chromatography เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด SODD ทำให้แยก free fatty acid ได้ร้อยละ 45.38, triacylglycerols ร้อยละ 18.45, diacylglycerols (DAGs) ร้อยละ 4.85, Squalene ร้อยละ 1.83, fatty acid sterylesters (FASEs) ร้อยละ 3.91, Tocopherols ร้อยละ 6.40, Free phytosterols ร้อยละ 5.36, อื่นๆ (Hydrocarbons, aldehydes, ketones, pesticides, herbicides and the breakdown products of tocopherols and free phytosterols) ร้อยละ 15.23 สำหรับในประเทศไทย มีรายงานวิจัยโดย พิเศษ (2549) ทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระบก โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ เฮกเซน ปีโตรเลียมอีเทอร์ และเอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าการใช้เฮกเซนและ ปีโตรเลียมอีเทอร์ที่ 4 ชั่วโมงเหมาะสมที่สุด โดยได้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ  $45.03 \pm 0.86$  และ  $44.11 \pm 0.74$  กรัมต่อ 100 กรัม โดยในน้ำมันกระบกประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ ไมริสติกร้อยละ 50.12 กรดปาล์มมิติกร้อยละ 4.52 และกรดสเตียริกร้อยละ 0.55 กรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดโนเลอิก ร้อยละ 3.12 กรดลิโนเลอิกร้อยละ 1.46 และกรดปาล์มมิโตเลอิกร้อยละ 0.12 ฤดีวรรณ (2540) ศึกษาการสกัดและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดพืช ในภาคเหนือตอนล่าง 17 ชนิด โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย และใช้เวลาในการสกัด 16 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์สมบัติทาง

เคมีของน้ำมัน พบว่า เมล็ดพืชแต่ละชนิดให้ปริมาณน้ำมันแตกต่างกัน โดยเมล็ดตะคร้อให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือ 64.45 รองลงมาคือ หูกวาง ร้อยละ 57.51 สุชีลา และคณะ (2534) ศึกษาการสกัดน้ำมันและวิเคราะห์ไขมันหรือน้ำมันจากพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเช่น เมล็ดกระบก มะกอก มะเลื่อม ลำโพง มะพอก มะรุม มะกล่ำ มะขาม ขนุน มะค่าแต้ โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย พบว่า เมล็ดกระบกให้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุด คือร้อยละ 75 รองลงมาคือ มะกอก ได้ร้อยละ 57 และพบว่า น้ำมันมะกล่ำ เป็นน้ำมันที่มีสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันและไขมันบริโภค เหมาะที่จะพัฒนาเป็น วัตถุประสงค์ในอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภคได้

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้วิธีการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายกับดักแด่ใหม่ รายงานโดย สุพนิดา และคณะ(2551) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันจากดักแด่ใหม่พันธุ์ไทยพื้นเมืองจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ เขียวสกล นางน้อยศรีสะเกษ ลำโพง นางเหลียง และโนนฤๅษี พบว่าไขมันทั้ง 5 สายพันธุ์มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ร้อยละ 72 -79 โดยมีกรดไขมันลิโนเลนิก อยู่ร้อยละ 32-44

ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำมันดักแด่จากใหม่สายพันธุ์ไทยพื้นเมือง

ค่าดัชนี	น้ำมันจากใหม่				
	นางน้อยศรีสะเกษ	ลำโพง	โนนฤๅษี	เขียวสกล	นางเหลียง
ค่า Iodine number (g Iodine/oil 100 g)	122.38±1.12	104.97±0.98	107.69±1.23	100.20±0.95	128.01±0.98
ค่า Acid Value (mg.KOH/oil 1 g)	0.83±0.51	0.95±0.25	0.99±0.28	0.47±0.67	0.65±0.23
ค่า peroxide Value (Milliequivalent/oil 1 kg)	4.44±0.04	4.51±0.06	4.52±0.10	4.47±0.09	4.49±0.11
ค่า saponification Number (mg.KOH/oil 1 g)	127.85±0.06	131.92±0.06	134.84±0.05	130.98±0.07	132.15±0.08
ค่า Unsaponifiable matters (% by weight)	0.177±0.96	0.434±1.14	0.020±0.95	0.084±1.26	0.094±1.11
การหักเหของแสง	1.4466±1.12	1.4459±1.02	1.4462±0.98	1.4458±0.97	1.4471±0.54
ความหนาแน่น	0.964±0.51	0.967±1.02	0.966±0.98	0.967±0.97	0.978±0.54

ที่มา : สุพนิดา และคณะ (2551)

อรทัย (2541) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและอายุการเก็บรักษาน้ำมันสกัดจากคอกแค้ใหม่ผ่านกรรมวิธี โดยใช้วิธีการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ จากหนอนใหม่ 2 สายพันธุ์คือ จุด 1 และจุด 5 พบว่าสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยน้ำมันที่ได้จากคอกแค้ใหม่ทั้ง 2 พันธุ์มีค่าของกรดเกินมาตรฐานน้ำมันบริโภคที่ CODEX ได้กำหนดไว้ การทดสอบอายุการเก็บรักษาโดยทำการทดสอบในสภาวะเร่งที่  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส โดยใช้ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นดัชนีชี้วัดการเสื่อมสภาพของน้ำมันพบว่าคอกแค้จุด 1 มีอายุ 3.2 วัน คอกแค้จุด 5 มีอายุ 4.6 วัน

ตารางที่ 2.4 สมบัติของน้ำมันคอกแค้จากใหม่หม่อนสายพันธุ์จุด 1 และจุด 5

ค่าดัชนี	น้ำมันจากใหม่	
	จุด 1	จุด 5
ค่า Iodine number (g Iodine/oil 100 g)	$88.08 \pm 1.47$	$82.16 \pm 2.24$
ค่า Acid Value (mg.KOH/oil 1 g)	$0.56 \pm 0.04$	$0.51 \pm 0.02$
ค่า peroxide Value (Milliequivalent/oil 1 kg)	$5.74 \pm 0.42$	$7.98 \pm 0.08$
ค่า saponification Number (mg.KOH/oil 1 g)	$201.11 \pm 0.43$	$218.01 \pm 0.54$
ค่า Unsaponifiable matters (% by weight)	$0.8478 \pm 0.0130$	$0.9021 \pm 0.0518$
น้ำและสารระเหยได้ที่ $105^{\circ}\text{ซ}$ (% by weight)	$0.007 \pm 0.002$	$0.013 \pm 0.004$
สิ่งปนเปื้อนที่ไม่ละลายในน้ำมัน Insoluble impurities (% by weight)	$0.0106 \pm 0.0032$	$0.0237 \pm 0.0100$
การหักเหของแสง	$1.5 \pm 0.1$	$1.5 \pm 0.1$
ความหนาแน่น	$0.897 \pm 0.001$	$0.886 \pm 0.003$
สี (Hunter unit)		
L	$74.87 \pm 0.04$	$72.00 \pm 0.44$
A	$-5.52 \pm 0.04$	$-5.10 \pm 0.22$
B	$53.81 \pm 0.11$	$50.88 \pm 0.81$

ที่มา : อรทัย (2541)



## 2.4 การศึกษาเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษา

อาหารมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพตั้งแต่ช่วงการผลิตไปจนกระทั่งในช่วงการเก็บรักษาเพื่อจำหน่ายหรือบริโภค การเปลี่ยนแปลงไปนี้ทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษาที่จำกัด ในขณะที่อาหารเปลี่ยนแปลงคุณภาพไปไขมันในอาหารก็มีการเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน

### 2.4.1 สาเหตุของการเสื่อมเสียในอาหาร มีหลายประการ เช่น

#### (1) สาเหตุทางชีวภาพ

การหืนที่มีสาเหตุจากการทำงานของเอนไซม์ในสภาพที่มีความชื้น เรียกว่า Hydrolytic rancidity เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปส และสภาพความชื้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันและไขมันสลายตัวได้กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ระเหยง่ายออกมาบางส่วน จึงทำให้น้ำมันมีกลิ่นหืน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการหืนมากที่สุดคือ อุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์

#### (2) สาเหตุทางเคมี

เกิดจากไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เรียกว่า Autoxidation ซึ่งเป็นสาเหตุใหญ่ของการหืนในไขมัน เกิดเนื่องจากออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปทำให้ได้สารพวก อัลดีไฮด์ คีโตน เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำมันมีกลิ่นหืน Singh (1994) ได้อธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาการหืนไว้ว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยพิจารณาจากรูปแบบทั่วไปของกลไกในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้องว่า มีการเปลี่ยนแปลงจากสารเคมีอย่างหนึ่งไปเป็นสารเคมีอีกอย่างหนึ่งได้อย่างไร อัตราการเกิดปฏิกิริยาพิจารณาจาก ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น หรือสารที่เข้าทำปฏิกิริยาที่ใช้ไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยปกติจะพิจารณาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจากการวัดความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาหรือผลิตภัณฑ์

โดยปกติอาหารไขมันที่บริโภคกันมักมีวิตามินอีโดยธรรมชาติอยู่แล้วทั้งนี้วิตามินทำหน้าที่เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidation) ที่มีเพียงพออยู่แล้วตามธรรมชาติ จะมักพบว่าปริมาณวิตามินอีที่พบในไขมันจากสัตว์จะมีน้อยกว่าที่พบในพืชไขมัน แต่เนื่องจากเมื่อนำอาหารเหล่านี้มาปรุงเพื่อรับประทาน หรือนำมาผ่านกรรมวิธีการสกัดทำให้บริสุทธิ์ จะมีผลทำให้วิตามินที่มีอยู่ตามธรรมชาติสลายตัวไป อาหารไขมันที่แปรรูปแล้วนี้จึงหืนในเวลาต่อมาไม่นานนัก วิธีการแก้ไขที่ใช้กันทั่วไปคือการเติมสารที่ช่วยป้องกันการหืนลงไป

### 2.4.2 การทดสอบอายุการเก็บรักษาน้ำมัน (shelf-storage test)

การศึกษาอายุการเก็บรักษาน้ำมันสามารถทำได้โดย การเก็บน้ำมันในขวดแก้วใสไว้บนชั้นเก็บที่สามารถถูกแสงได้ตามปกติหรืออาจเก็บในกล่องกระดาษหรือวัสดุห่อหุ้มอื่นที่ต้องการ

ทดสอบผลที่มีต่อการหีนของน้ำมัน ความคุมอุณหภูมิให้คงที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลอง เพื่อสุ่มตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส คุณสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องเป็นระยะๆ ซึ่งช่วงระยะเวลาการเก็บน้ำมันจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน หรืออาจเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของน้ำมันให้เร็วขึ้นโดยบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (อรทัย, 2541)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved