

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในส่วนของบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการถ่ายเทความร้อน การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ในการลดความชื้น โดยใช้คลื่น ไมโครเวฟ หลักการทำงานของเครื่องอบลมร้อน นอกจากนี้ยังได้อธิบายในเรื่องของไขมันและน้ำมัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของไขมัน ความคงตัวและการเสื่อมสภาพของไขมันอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิทยานิพนธ์นี้

2.2 การถ่ายเทความร้อน

ไพบูลย์ (2532) อธิบายว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้น ณ จุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเพื่อลดความชื้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการดังนี้

การนำความร้อน เป็นวิธีการถ่ายเทความร้อน โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งกับโมเลกุลข้างเคียง สภาพนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นสมบัติของสารที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัสดุมีค่าแตกต่างกัน สภาพการนำความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความร้อน ค่าการนำความร้อนของน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าของวัตถุแห้งที่เป็นอาหาร

การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอมและโมเลกุลของสารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและแก๊ส การพาความร้อนจึงมักเกิดขึ้นในบรรยากาศ และมหาสมุทร รวมทั้งภายในโลก การถ่ายเทความร้อนในวัตถุที่บะจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนทั้งสิ้น แต่สำหรับของเหลวและแก๊ส การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเกิดขึ้นน้อยมาก

การแผ่รังสี การถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นเพียงส่วนน้อยในกระบวนการลดความชื้นอาหาร แต่ในกรณีของการลดความชื้นแบบสุญญากาศและการลดความชื้นแบบแช่เยือกแข็ง จะมีการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีเป็นหลัก นอกจากนั้นการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสียังใช้กับกระบวนการลดความชื้นอาหารอื่นๆ และการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น

ในทางปฏิบัติ การถ่ายเทความร้อนทั้งสามวิธีจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันได้ ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุหรือชนิดอาหารมีลักษณะอย่างไร เช่น วัตถุที่มีรูพรุนขนาดเล็กๆ ซึ่งภายในช่องว่างเต็มไปด้วยของเหลวหรือไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนภายในที่เกิดขึ้นจะเป็นการนำความร้อน แต่ถ้าช่องว่างภายในมีขนาดใหญ่และมีของเหลวอยู่ด้วย การถ่ายเทความร้อนในของเหลวจะเป็นการพาความร้อน และจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความดันอากาศรอบๆ ลดลง โดยเกิดขึ้นกับการลดความชื้นแบบสูญญากาศ การถ่ายเทความร้อนจะเป็นการแผ่รังสี

2.3 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

Fellows (2000) กล่าวถึงพลังงานไดอิเล็กทริกจากไมโครเวฟว่าเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างหนึ่ง ซึ่งส่งผ่านในรูปของคลื่นเข้าไปในอาหารและพลังงานนี้จะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้น ทั้งนี้การเกิดความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางไฟฟ้าหรือสมบัติไดอิเล็กทริกของอาหารชนิดนั้นๆ อาหารที่ประกอบด้วยสารประกอบที่มีขั้ว เช่น น้ำที่อยู่ในรูปอิสระและเกลือชนิดแตกตัว เช่น นม ผลไม้ต่างๆ จะมีสมบัติไดอิเล็กทริกมากกว่าอาหารที่สารประกอบที่ไม่มีขั้วเป็นส่วนใหญ่องค์ประกอบ เช่น เนื้อหมู อาหารแห้งต่างๆ ทั้งนี้ Singh and Heldman (2001) ได้กล่าวถึงสมบัติไดอิเล็กทริกของอาหารสามารถแสดงเป็นค่าตัวเลขต่างๆ 3 ค่าคือ

(1) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, ϵ') คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารประกอบที่สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้เมื่อนำสารประกอบนั้นไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ สารหรืออาหารชนิดใดที่มีค่า ϵ' สูงจะสามารถกักเก็บพลังงานได้สูง ค่า ϵ' จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิและปริมาณของความชื้นของอาหารนั้นๆ

(2) แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss factor, ϵ'') คือค่าของพลังงานที่สูญเสียไปหรือแพร่กระจายไปในสารไดอิเล็กทริกเมื่อนำไปวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ โดยพลังงานไฟฟ้าจะสูญเสียไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในชิ้นอาหารนั้นๆ ถ้าค่า ϵ'' สูงแสดงว่าเกิดความร้อนขึ้นสูง แต่พลังงานก็จะถูกดูดซับไปอย่างรวดเร็วเมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารนั้นเพียงระยะสั้นๆ แล้วความร้อนนั้นจะลดลงโดยกระบวนการนำ และการพาความร้อนที่เข้าสู่ภายในชิ้นอาหาร ดังนั้นถ้าอาหารมีความหนาและมีขนาดใหญ่หลายๆ การดูดซับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดขึ้นได้เฉพาะผิวหน้าของชิ้นอาหาร แล้วความร้อนจะเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ทั่วถึงด้วยกระบวนการนำและการพาความร้อน ซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าอาหารที่มีขนาดเล็กและบาง

(3) loss tangent ($\tan \delta$) หรือ dissipation factor หมายถึง ลักษณะของการสูญเสียพลังงานของสารนั้นซึ่งคิดออกมาในรูปของมุมที่ต่างไปจาก 90 องศา ในสภาพปกติทั่วไปของกระแสไฟฟ้า ค่านี้จะมีส่วนสัมพันธ์กับค่า ϵ' และ ϵ'' คือ

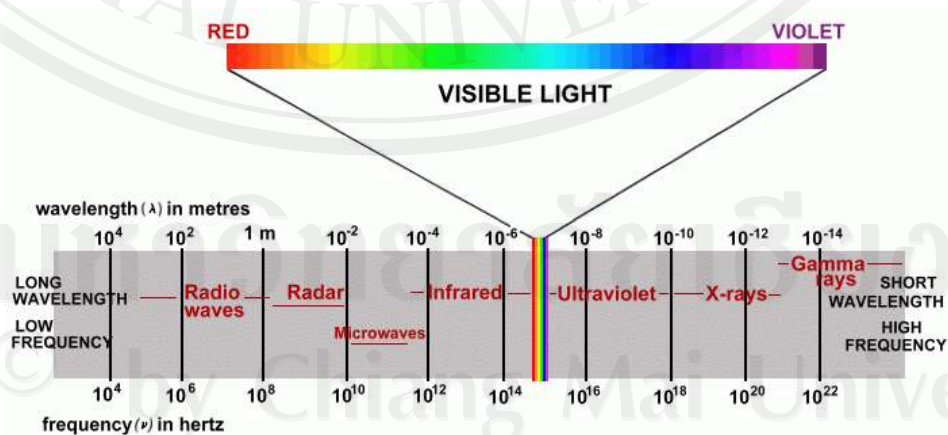
$$\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$$

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta$$

2.4 เครื่องอปไมโครเวฟ

2.4.1 หลักการพื้นฐานของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 75 เซนติเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นระหว่าง 300 MHz ถึง 300 GHz ดังภาพที่ 2.1 ความถี่ช่วงคลื่นดังกล่าวใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุและบางส่วนอาจจะเข้าไปคาบเกี่ยวในคลื่นของการติดต่อคมนาคม หรือใช้ในการควบคุมการเดินทางของเครื่องบิน ดังนั้นจึงมีการจัดตั้งสถาบันระหว่างชาติขึ้นมาเพื่อดูแลและควบคุมการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน สถาบันดังกล่าวคือ International Telecommunication Union (ITU) ซึ่งได้กำหนดระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะใช้ประโยชน์ด้านเครื่องมือในงานอุตสาหกรรม งานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และการแพทย์ที่เรียกย่อๆ ว่า ISM frequencies ซึ่งได้กำหนดความถี่ไว้ที่ 915 ± 25 MHz $2,450 \pm 50$ MHz $5,000 \pm 75$ MHz $22,125 \pm 125$ MHz และได้กำหนดให้ใช้ความถี่ของไมโครเวฟที่ 915 MHz สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมและความถี่ 2,450 MHz สำหรับการใช้ในบ้านเรือน ส่วนระดับความถี่ที่เหลือสงวนไว้ใช้ในการวิจัยและงานอื่น (สายสนม, 2546; Singh and Heldman, 2001)



ภาพที่ 2.1 ช่วงสเปกตรัมความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

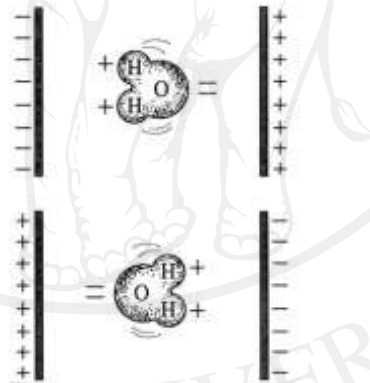
ที่มา: ยุทธ (ไม่ระบุปีที่ตีพิมพ์)

2.4.2 การเกิดความร้อนจากไมโครเวฟ

ไพบูลย์ (2532) รายงานว่า เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าสู่อาหารจะเกิดความร้อนขึ้นสองแบบร่วมกัน ได้แก่

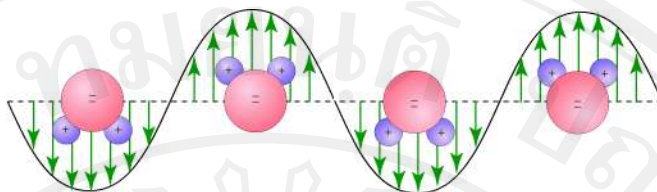
(1) ionic polarization เป็นความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าจะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่และทำให้เกิดการเสียดสีกันกับไอออนอื่นๆ จากนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อน แล้วจึงกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่นๆ ต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้เกิดได้ในของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย

(2) dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (polar) ได้แก่ น้ำที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร โดยในสภาพปกติสารประกอบนั้นจะเรียงตัวประจุบวกและลบอย่างไม่เป็นระบบ (random oriented) เมื่อเข้าสู่สนามไฟฟ้า ประจุบวก และประจุลบของสารนั้นจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวเป็นระเบียบดังภาพที่ 2.2 และ 2.3



ภาพที่ 2.2 การสั่นสลับขั้วของโมเลกุลในคลื่นไมโครเวฟ

ที่มา: ยุทธ (ไม่ระบุปีที่ตีพิมพ์)



ภาพที่ 2.3 การสั่นสลับข้างของโมเลกุลตามทิศทางของคลื่นไมโครเวฟ
ที่มา: ปรีมเจนีชน (2012)

การเคลื่อนที่ที่หมุนตัวกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟคือ 915 และ 2450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของแรงเสียดทานจากการหมุนตัวและการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น โดยความร้อนที่เกิดจากทั้งสองรูปแบบดังกล่าวที่ตำแหน่งซึ่งอาหารสัมผัสกับไมโครเวฟแล้วจึงค่อยกระจายตัวออกไปในส่วนอื่นๆ เนื่องจากผลของการเดือดของน้ำโดยการนำความร้อน และเป็นไปอย่างต่อเนื่อง การเกิดความร้อนจากสาเหตุต่างๆ ดังกล่าวนี้นี้ ทำให้เกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

2.4.3 ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ

วิลด์ (2543) และ Schubert and Regier (2005) กล่าวว่า คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะเด่น 3 ประการคือ

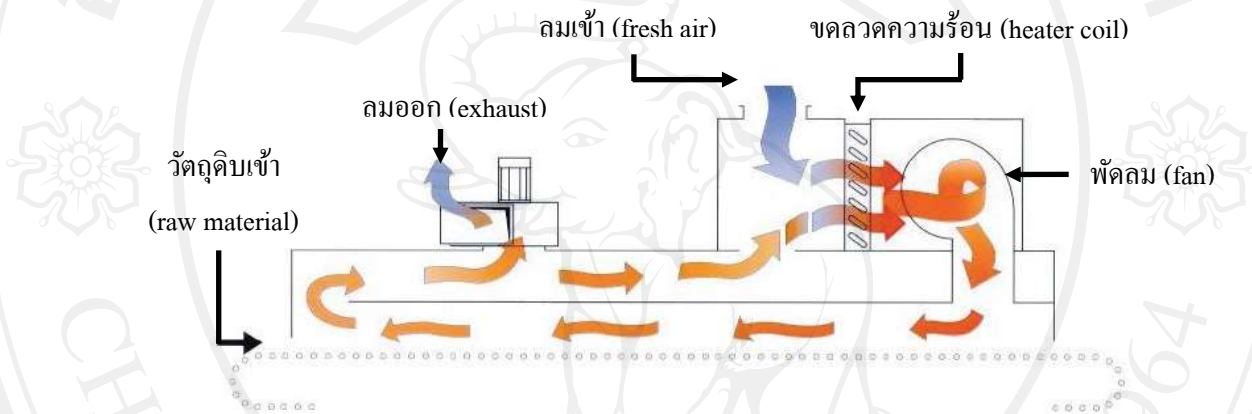
(1) สะท้อนกลับ (reflection) เมื่อคลื่นไมโครเวฟไปกระทบกับภาชนะที่เป็น โลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถผ่านทะลุภาชนะดังกล่าวได้และจะสะท้อนกลับหมด ดังนั้นอาหารที่ใส่ในภาชนะดังกล่าวก็จะไม่สุก

(2) การส่งผ่าน (transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ ไม้ และพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะที่ใช้ได้ดีในเครื่องอบไมโครเวฟ

(3) การดูดซับ (absorption) ปกติอาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหารที่จะดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็วและอีกนัยหนึ่งเมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันทีโดยไม่สะสมในอาหาร

2.5 กลไกการลดความชื้นของเครื่องอบลมร้อน

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ใอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มของอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสุงและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นของอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แบบการทำงานของเครื่องอบลมร้อน

ที่มา: ดัดแปลงจาก พิไลรัก (2541)

2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับงาขี้ม้อน

งาขี้ม้อนส่วนใหญ่สามารถเพาะปลูกได้ในพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยพบมากในจังหวัดเชียงราย น่าน พะเยา แม่ฮ่องสอนและเชียงใหม่ รวมพื้นที่ปลูกประมาณ 3,400 ไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 80 กิโลกรัมต่อไร่ งาขี้ม้อนมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 40-50 โดยประมาณ โดยน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนประกอบด้วย กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 82 นอกจากนี้ยังพบว่า งาขี้ม้อนมีน้ำมันกลุ่มโอเมก้า 3 สูงกว่าน้ำมันปลาถึง 2 เท่า (ธัญญา, ไม่ระบุปี; Gunstone, 2002)

2.6.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

งาจี้ม้วนเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในหลายประเทศที่มีสภาพอากาศหนาวเย็น ดังนั้นการเรียกชื่อจึงแตกต่างกันไปตามประเทศนั้นๆ การกำหนดชื่อทางวิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญต่อลักษณะจำเพาะของพืชและเพื่อให้ความเข้าใจตรงกัน จึงได้กำหนดข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของงาจี้ม้วนไว้ดังนี้ (Brenner, No date; Asif and Kumar, 2010)

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Perilla frutescens</i> (Linn.) Britt
ชื่อวงศ์	Lamiaceae
ชื่อสามัญ	Perilla หรือ Beef Steak Plant (อังกฤษ) Chi-ssu (จีน) Shiso (ญี่ปุ่น) Bhanjira (อินเดีย) Khaennip namul (เกาหลี) งาจี้ม้วน งาหอม งาเจียง (ไทย)
ลักษณะ	งาจี้ม้วนมีลักษณะลำต้นเป็นไม้พุ่มสูง 1-2 เมตร ลำต้นตั้งตรง เป็นสันสี่เหลี่ยม มีร่องตามยาว ใบเดี่ยวเรียงตรงข้าม กว้างประมาณ 3-5 เซนติเมตร ยาว 6-10 เซนติเมตร แผ่นใบมีขนนุ่มสีขาวทั้งสองด้าน ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อย ออกช่อแยกเป็นสองปากไม่แตก เมล็ดดอวบ ขนาดเล็กสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม
การปลูก	ต้นงาจี้ม้วนชอบความชุ่มชื้นและทนความแห้งแล้งได้ดี เกษตรกรมักจะปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป ในฤดูฝนต้นงาจี้ม้วนจะเติบโตและให้ผลผลิตดีกว่าฤดูกาลอื่น ใช้เวลาปลูกประมาณ 4-6 เดือน ก็สามารถเก็บผลผลิตได้
การใช้ประโยชน์	ทางภาคเหนือนิยมนำข้าวเหนียวมาคลุกกับงาจี้ม้วนเพื่อนำมารับประทานแทนข้าว ที่เรียกว่าข้าวหนุกงา สีน้าแปรรูปจากงาจี้ม้วนมีหลายรูปแบบ เช่น ขนมงา งาคั่ว เครื่องสำอางบำรุงผิวที่มีส่วนผสมของสารสกัดงาจี้ม้วน รวมถึงน้ำมันงาจี้ม้วนด้วย
สรรพคุณของงาจี้ม้วน	งาจี้ม้วนมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง กรดนี้ช่วยควบคุมระดับคอเลสเตอรอลไม่ให้มีมากเกินไป ป้องกันไม่ให้หลอดเลือดแข็งตัว ป้องกันโรคหัวใจและโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดบางชนิด

2.6.2 น้ำมันจากเมล็ดงาเขียว

น้ำมันจากเมล็ดงาเขียวอุดมไปด้วยกรดพาราอะมิโน วิตามินบี เช่น บี 1, บี 2, บี 3, บี 5, บี 6 และบี 9 มีแร่ธาตุที่สำคัญคือ ธาตุเหล็ก สังกะสี แคลเซียม และฟอสฟอรัส ทั้งนี้ น้ำมันงาเขียวประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงของการเกาะตัวของไขมันในเส้นเลือด นอกจากนี้ วิตามินอีและสารเซซามอนในน้ำมันงายังมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Gunstone, 2002; Asif and Kumar, 2010)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและชนิดของกรดไขมันในน้ำมันจากเมล็ดงาเขียวให้ค่าดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 โดยในตารางที่ 2.2 พบว่า ในน้ำมันจากเมล็ดงาเขียวมีไขมันชนิด alpha linolenic acid ($\omega 3$) สูงถึงร้อยละ 62.5 ของกรดไขมันทั้งหมด โดยประโยชน์ของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 มีส่วนช่วยบำรุงสมองและป้องกันภาวะเสื่อมของสมอง ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ และป้องกันการเสื่อมสภาพของเซลล์ผิว สำหรับกรดไขมันชนิด โอเมก้า 6 ที่มีอยู่ร้อยละ 14.3 ยังช่วยให้ระบบสืบพันธุ์ของร่างกายทำงานเป็นปกติ (Talbot and Hughes, 2006)

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาเขียว

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ค่า
Relative density (20°C)	0.930
Refractive index (20°C)	1.482
Acid value (mgNaOH/g)	3.56
Iodine value (%)	200
Saponification value (mgKOH/g)	192
Peroxide value (Meq.O ₂ /kg)	ไม่ระบุ
Color (Gardner)	8.0

ที่มา: Kermer (No date)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม่อน

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณของกรดไขมัน (%)
<C16:0	<0.05
C16:0	6.3
C16:1	0.1
C18:0	1.8
C18:1	14.7
C18:2	14.3
C18:3 alpha	62.5
C20:0	0.1
C20:1	<0.05
C20:2	<0.05
C24:0	<0.05
other	0.2

ที่มา: Kermer (No date)

2.7 ลิพิด

ลิพิดเป็นชีวโมเลกุลที่ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 3 ชนิด คือ คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยมีอัตราส่วนของออกซิเจนน้อยมาก บางครั้งมีการพบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วย ลักษณะทั่วไปเป็นไขมัน (fat) น้ำมัน (oil) และไข (waxes) ลิพิดนับเป็นชีวโมเลกุลชนิดเดียวที่ไม่ได้ใช้โครงสร้างเคมีของโมเลกุลสำหรับจำแนกออกจากชีวโมเลกุลอื่นๆ แต่อาศัยสมบัติในการละลายแทน ทั้งนี้เพราะสมบัติของลิพิดที่สำคัญคือ เกือบไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์ แอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น ดังนั้นในการแยกหรือการสกัดลิพิดออกจากเซลล์หรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตสามารถทำได้โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เหล่านี้ (ดาวัลย์, 2548; อภัสสร, 2543)

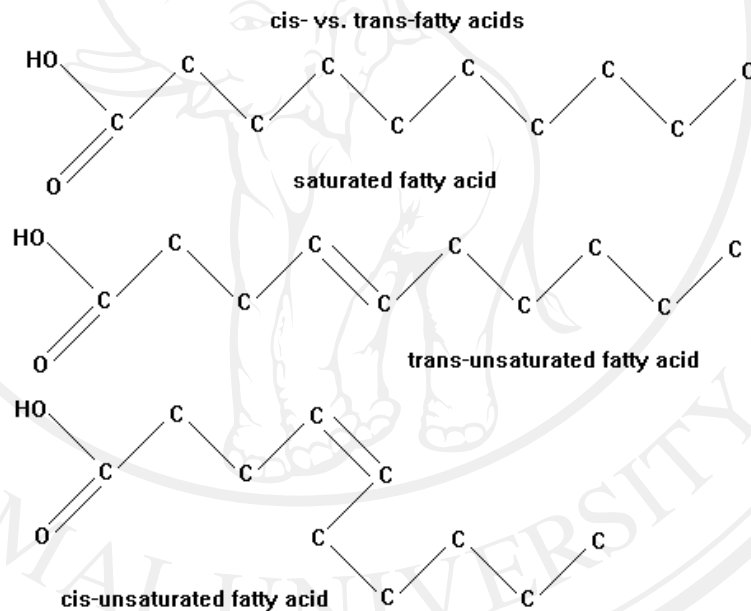
2.7.1 กรดไขมัน

Vaclavik และ Christian (2003) รายงานว่า กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl) 1 หมู่ (ภาพที่ 2.5) เฉพาะส่วนของไฮโดรคาร์บอนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าหมู่เอซิล (acyl group) โดยทั่วไปแล้วหมู่เอซิลที่

พบเป็นพวกอะลิฟาติก แต่สิ่งมีชีวิตบางชนิดสามารถสังเคราะห์กรดไขมันที่มีหมู่เอซิลเป็นอะโรมาติกได้ ตัวอย่างเช่น กรดชาลโมกริก (chaulmoogric acid) เป็นกรดไขมันในเมล็ดพืช ในธรรมชาติพบกรดไขมันที่เป็นอิสระน้อย ส่วนใหญ่พบรวมกับสารอื่นเป็นลิพิดเชิงซ้อน

ดังได้กล่าวแล้วว่าหมู่เอซิลที่พบส่วนใหญ่เป็นพวกอะลิฟาติก ดังนั้นจึงอาศัยสมบัติของสายไฮโดรคาร์บอนสามารถแบ่งกรดไขมันเป็น 2 กลุ่ม (ดูตัวอย่างกรดไขมัน ภาพที่ 2.5) ดังนี้

1. เป็นกลุ่มที่มีสายไฮโดรคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid)
2. เป็นกลุ่มที่มีสายไฮโดรคาร์บอนมีพันธะคู่ในโมเลกุล เรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของกรดไขมัน

ที่มา: Cain *et al.* (2004)

กรดไขมันชนิดอิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีหมู่เอซิลเป็นอัลเคน ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่เชื่อมกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันชนิดอิ่มตัวส่วนมากมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ระหว่าง 14-24 อะตอม พบมากในไขมันสัตว์ ชนิดที่พบมากที่สุด คือ กรดปาล์มมีติกมีคาร์บอน 16 อะตอม (C_{16}) และกรดสเตียริกมีคาร์บอน 18 อะตอม (C_{18}) กรดไขมันชนิด

อิ่มตัวที่มีขนาดเล็ก (C_8 - C_{14}) พบในน้ำมันม้วและสัตว์เคี้ยวเอื้องอื่นๆ ส่วนกรดไขมันขนาดใหญ่ (C_{20} - C_{28}) พบในเนื้อเยื่อสมองและในไข

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีหมู่เอซิลเป็นอัลคีน ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่เชื่อมกันด้วยพันธะคู่ ในธรรมชาติพบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว ชนิดที่พบมากที่สุดคือ กรดโอเลอิก สามารถแบ่งกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้เป็น 3 กลุ่มย่อยโดยอาศัยจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุล คือ (1) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มี 1 พันธะคู่ (monounsaturated หรือ monoenoic fatty acid) พันธะคู่นี้ส่วนมากอยู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 กับ 10 (2) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ (polyunsaturated หรือ polyenoic fatty acid)

2.7.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกรดไขมัน

Coulate (2009) ได้อธิบายโครงสร้างของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัวที่แตกต่างกัน โดยสายไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีพันธะเดี่ยวทำให้หมุนได้อย่างอิสระจึงมีได้หลายโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม โครงสร้างที่พบมากที่สุดของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีเพียงแบบเดียวคือ แบบที่มีพลังงานต่ำสุด (minimum energy form) สำหรับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีโครงสร้างที่ค่อนข้างแข็งกระด้าง (rigid) กว่า เพราะมีพันธะคู่อยู่ด้วย โดยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบบ *cis*- มีการหักมุมทางสายไฮโดรคาร์บอนตรงพันธะคู่ไปประมาณ 30 องศา ส่วน *trans*- มีลักษณะคล้ายกรดไขมันชนิดอิ่มตัว

สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน

Weslake (2008) กล่าวว่า สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันนั้นๆ ดังนั้นจึงสามารถใช้สมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันในการบ่งชี้ถึงชนิดของไขมันและน้ำมันได้ ทั้งนี้รวมถึงการนำไขมันและน้ำมันชนิดนั้นๆ ไปใช้ประโยชน์ สามารถที่จะพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพด้วย สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันที่สำคัญ ได้แก่

(1) จุดหลอมเหลว ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจเป็นช่วงกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยกว่า 10 อะตอม จะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและเมื่อมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะมีสถานะเป็นของแข็งมากขึ้น ดังนั้นจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจึงเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลง เมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น โมเลกุลของไขมันและน้ำมันที่มีไตรเอซิลกลีเซ-

รอลและกรดไขมันชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบ แต่มีการเรียงตัวในตำแหน่งที่แตกต่างกันมีผลทำให้จุดหลอมเหลวแตกต่างกันด้วย

(2) **การเรียงตัวของรูปผลึก** ลักษณะโครงสร้างผลึกของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการแยกทางฟิสิกส์และเคมี อาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้าง 3 มิติของโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอล การจัดเรียงตัวนี้สามารถแบ่งได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ตัวทำละลาย อัตราการเกิดผลึกและสารเจือปน อย่างไรก็ตาม การจัดเรียงตัวของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่พบโดยทั่วไปมี 3 รูปแบบ คือ แบบแอลฟา (α) แบบเบตา (β) และแบบเบตาไพรม์ (β') โดยแบบแอลฟาเป็นรูปผลึกที่มีโมเลกุลเกาะกันแบบหลวมๆ มีความเสถียรต่ำสุด แบบเบตา เป็นผลึกที่มีโมเลกุลเกาะกันแน่นขึ้น และแบบเบตาไพรม์เป็นการจัดเรียงรูปผลึกแบบบิดไปมา ทำให้มีจุดหลอมเหลวสูงและยังมีความเสถียรมากที่สุด

(3) **จุดแข็งตัว** คืออุณหภูมิที่มีผลทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัว เรียกว่าเกิด solidification และเรียกจุดนี้ว่า solidifying point อุณหภูมินี้มักจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2-3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลหลายๆ ชนิดแตกต่างกันจะมีผลทำให้มีจุดแข็งตัวต่างกัน

(4) **การละลาย** ไขมันและน้ำมันทุกชนิดไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์ อะซิโตน คาร์บอนไดซัลไฟด์ ไซโคลเฮกเซน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น พวกที่เป็น unsymmetrical mixed triacylglycerol ละลายได้ดีกว่าพวกที่เป็น symmetrical mixed triacylglycerol แต่กรดบิวทริกมีจำนวนคาร์บอนน้อยที่สุดเพียง 4 อะตอม จึงละลายได้ดีในน้ำ ซึ่งเป็นตัวทำละลายชนิดไฮโดรฟิลิก

(5) **ความถ่วงจำเพาะ** โดยมากนิยมวัดความถ่วงจำเพาะของไขมันหรือน้ำมันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ในกรณีที่ไขมันเป็นของแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูง จะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ที่โมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างไปจากเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรของน้ำมันเพิ่มขึ้น

(6) **การหักเหของแสง** เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการบ่งชี้และตรวจสอบชนิดคุณภาพและความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงโดยทั่วไปนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอน

ในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่และชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของพันธะคู่ จะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วยและถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

(7) ความหนืด ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นและความหนืดจะลดลง เมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น

(8) จุดเกิดควัน จุดวาบไฟและจุดติดไฟ

จุดเกิดควัน (smoke point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น

จุดวาบไฟ (flash point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นไอและเกิดติดไฟขึ้น

จุดติดไฟ (fire point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันเกิดการเผาไหม้

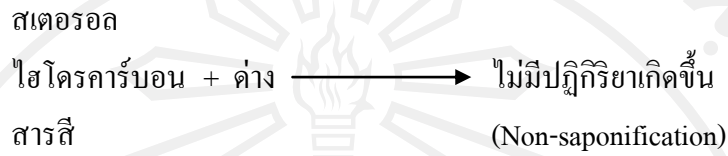
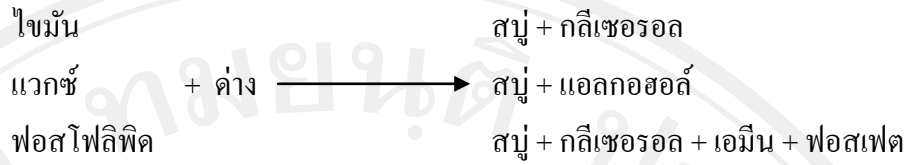
ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมันมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้จุดเกิดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น จุดเกิดควันจะลดลง ทั้งนี้รวมทั้งจุดวาบไฟและจุดติดไฟด้วย

(9) สี เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารสีที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมันและวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

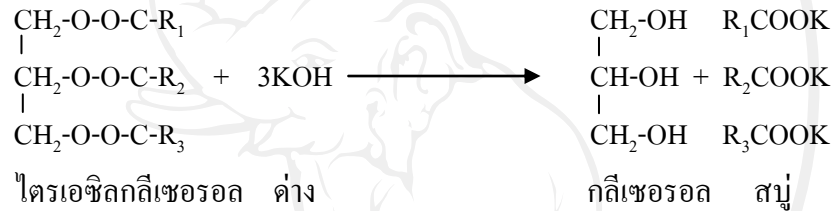
สมบัติทางเคมีของลิพิด

เนื่องจากลิพิดแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลแตกต่างกัน จึงมีผลทำให้มีสมบัติทางเคมีและการเกิดปฏิกิริยากับสารต่างๆ แตกต่างกัน สมบัติทางเคมีที่สำคัญ (นิธิยา, 2548; Akoh and Min, 2008) ได้แก่

(1) ไฮโดรไลซิส ลิพิดบางชนิดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด ต่างและเอนไซม์ การไฮโดรไลซีสลิพิดด้วยด่าง เรียกว่า ซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ลิพิดที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยด่าง เรียกว่า ซาปอนนิฟิเคชัน แมทเทอร์ (saponifiable matter) เช่น ไตรเอซิลกลีเซอรอล ฟอสโฟลิพิด และแว็กซ์ ส่วนลิพิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า อัลซซาปอนนิฟิเคชัน แมทเทอร์ (unsaponifiable matter) เช่น ไฮโดรคาร์บอนและสเตอรอล ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของลิพิดชนิดต่างๆ ด้วยด่างสรุปได้ดังนี้

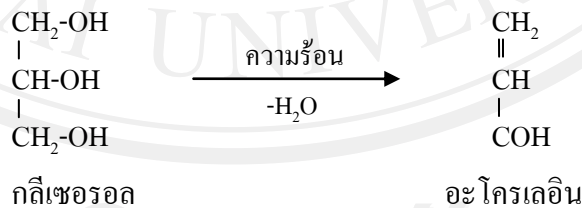


ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสไขมันด้วยด่าง เป็นดังนี้



ถ้าด่างที่ใช้เป็น โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สบู่ที่เกิดขึ้นจะละลายในน้ำ แต่ถ้าเป็นเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียมหรือแบเรียมจะไม่ละลายในน้ำ

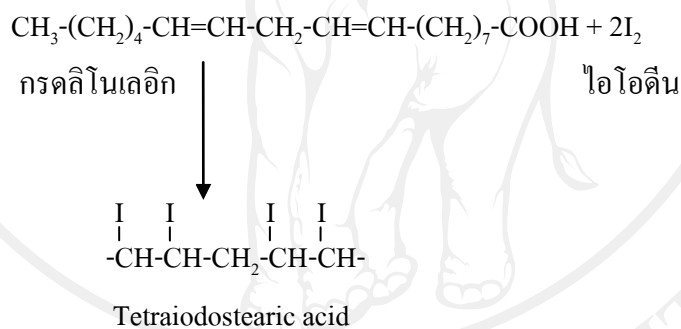
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดจากการที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูง โดยน้ำมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น กลีเซอรอลจะสลายตัวได้สารพวกอะโครลีน (acrolein) ระเหยกลายเป็นควันและมีกลิ่นเหม็นของควาปลา



ในน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์แต่ละชนิด มักมีไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่ค่อนข้างแน่นอน ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสมบัติเฉพาะของไขมัน หรือชนิดของน้ำมันได้ คำนี้เรียกว่า ค่าซาปอนนิฟิเคชัน (saponification number หรือ saponification value) ใช้ตัวย่อว่า S.N. หรือ S.V. ดังนั้น S.N. คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล

ค่าซาปอนิฟิเคชันใช้เป็นตัวบ่งชี้ขนาดของโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมันหรือน้ำมัน ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่า S.N. สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและถ้าค่า S.N. ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ต่างในการไฮโดรไลซิสย่อย สำหรับการไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันด้วยกรดและเอนไซม์ จะได้กรดไขมันและกลีเซอรอล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ลิพอลิซิส (lipolysis) และจะทำให้เกิดไฮโดรไลติกแรนซิดิตี (hydrolytic rancidity) ด้วย

(2) ฮาโลจีเนชัน เป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน (halogen) เข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวคือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าไอโอดีน (iodine number หรือ iodine value; I.N. หรือ I.V.)

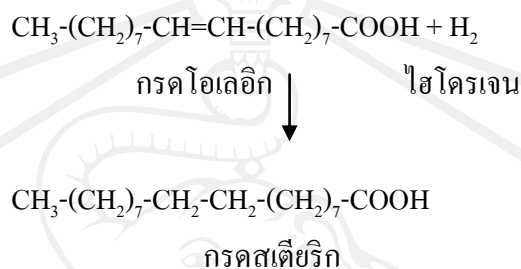


ค่าไอโอดีน คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม ค่า I.N. เป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า I.N. สูง แสดงว่า มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนชนิดไฮโดรไลติกแรนซิดิตีได้ง่ายด้วย

น้ำมันพืชที่มีค่า I.N. สูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่เป็นปริมาณมากนั้นยังเป็นตัวบ่งชี้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันหรือน้ำมันชนิดนั้นๆ ด้วย น้ำมันที่มีค่า I.N. สูงจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมาก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย

(3) ไฮโดรจีเนชัน เป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมัน โดยใช้ निकเกิลเป็นตัวเร่ง อาจเรียก

ปฏิกิริยานี้ว่า “hardening” ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารในการผลิตเนยเทียมและเนยขาว การทำไฮโดรจิเนชันจะทำให้ไขมันซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ความแข็ง-อ่อนของไขมันที่ได้ขึ้นอยู่กับ degree of hydrogenation เช่น การทำเนยเทียมลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ของเนยเทียมที่ได้ต้องสามารถแผ่ออก (spread) ได้ เป็นต้น ตัวอย่างของปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันมีดังนี้



(4) การหืน การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ มีผลทำให้สมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้

ลิพอลิซิส เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเกิดการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด ด่าง หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ ก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ลิพอลิซิสหรือ lipolytic rancidity หรือ hydrolytic rancidity ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิพอลิซิสยังมีผลทำให้จุดเกิดควันของน้ำมันลดต่ำลง น้ำมันจะเกิดควันได้ง่ายขณะทอดอาหาร

ไฮโดรไลติกแรนซิดิตี (hydrolytic rancidity) เป็นการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสไขมันและน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเปสและความชื้น อันมีสาเหตุมาจากการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้นและจุลินทรีย์จะหลั่งเอนไซม์ไลเปสออกมา มีผลทำให้ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นไดเอซิลกลีเซอรอล โมโนเอซิลกลีเซอรอล กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยมีจำนวนคาร์บอน 4-12 อะตอม จะมีกลิ่นหืนเกิดขึ้นมาก

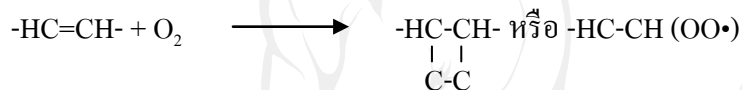
อย่างไรก็ตาม ไขมันและน้ำมันบางชนิดเมื่อเกิดไฮโดรไลติกแรนซิดิตีแล้วไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการดมกลิ่นหรือชิมรส ต้องตรวจวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี คือ วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าของกรด (acid value หรือ A.V.)

ค่า A.V. ของไขมันหรือน้ำมัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันจำนวน 1 กรัมเป็นกลางพอดี ซึ่งนิยม

เปรียบเทียบเป็นร้อยละของกรดโอเลอิก ดังนั้นจึงใช้ค่า A.V. ในการบ่งชี้ถึงภาวะหรือระดับการหืนของไขมันและน้ำมัน ถ้าค่า A.V. สูงแสดงว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกไฮโดรไลซ์ของไขมันสูง ดังนั้นการลดการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันและน้ำมันทำได้โดยเก็บรักษาไขมันและน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือในตู้เย็น และควรทำให้ปราศจากน้ำและจุลินทรีย์

ออกซิเดชันแรนซิดิตี (oxidation rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดพันธะเปอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ขึ้นที่หมู่ α -methylene การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้ยังเกิดขึ้นกับอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่วจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย

ปฏิกิริยาการเกิดพันธะเปอร์ออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้



การหืนโดยวิธีออกซิเดชันนี้ยังอาจเกิดขึ้นได้โดยมีเอนไซม์ไลพอกซิเดส (lipoxidase) ช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะเป็นออกซิเดชันที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic oxidation)

ไขมันและน้ำมันที่เกิดออกซิเดชันแรนซิดิตีจะมีค่า I.N. ลดต่ำลง การตรวจวิเคราะห์ว่าไขมันและน้ำมันเกิดออกซิเดชันแรนซิดิตีมากน้อยเท่าใด ทำได้โดยการหาค่า เปอร์ออกไซด์ (peroxide value หรือ P.V.) คือ การหาปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมันนั้น

ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value; P.V.) หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียม-ไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม หรือ หมายถึง จำนวนมิลลิสมมูลของ peroxide oxygen ที่มีในน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า P.V. สูง แสดงว่าน้ำมันหรือไขมันเกิดออกซิเดชันแรนซิดิตีมาก และค่า I.N. ที่วิเคราะห์ได้จะเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่เป็นจริง

กลไกการเกิดออกซิเดชัน (mechanism of oxidation)

Shahidi *et al.* (2006) อธิบายการเกิดออกซิเดชันว่า เป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของลิพิดหรืออาหารที่มีลิพิด ทำให้

อาหารเสื่อมสภาพ (deterioration) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อลิพิดหรืออาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง (free-radical chain reaction) ซึ่งกลไกที่เกิดขึ้นแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- (1) ขั้นเริ่มต้น (initiation) เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ
- (2) ขั้นเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง
- (3) ขั้นยุติ (termination) เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิดสารที่ไม่เป็นอนุมูล (non-radical products)

ขั้นเริ่มต้นหรือปฏิกิริยาเริ่มต้นของออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว จะทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) โดยคาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะคู่จะสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ และออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่เกิดเป็น diradical ดังนี้

ขั้นเพิ่มจำนวนเป็นปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจน และมีปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical, ROO·) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon radical, R·) อนุมูลที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) ก็แตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ ทำให้มีจำนวนอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นในน้ำมันและดูดซึมเอาออกซิเจนจากอากาศ จึงเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปเรื่อยๆ การสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้เป็นอนุมูลไฮโดรเปอร์ออกซีและแอลคอกซี

ขั้นยุติเป็นขั้นที่อนุมูลอิสระมีจำนวนมากและมาทำปฏิกิริยากันเองจะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่ใช้อนุมูลอิสระและมีความคงตัว ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาต่อเนื่องดังกล่าวยุติลงได้

เมื่อไม่มีอนุมูลอิสระเหลือสำหรับทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากยังมีออกซิเจนเหลืออยู่มาก ก็จะเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (initiation reaction) ใหม่อีก เพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานในการทำลายพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน ปริมาณพลังงานที่ใช้ประมาณ 80 กิโลแคลอรี และยังต้องใช้พลังงานอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งน้อยกว่าในการเติมออกซิเจนเข้าไปที่พันธะคู่เพื่อให้เกิดเป็น diradical อย่างไรก็ตาม พลังงานที่ใช้จะลดน้อยลงในภาวะที่มีโลหะ เอนไซม์หรือแสงช่วยเร่งให้เกิดออกซิเดชัน (photo-oxidation) ได้

(5) รีเชิร์ต มิซล นัมเบอร์ (Reichert Meissl number; R.M.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้และละลายได้ในน้ำ (volatile water soluble fatty acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4 และ 6 อะตอม คือ กรดบิวทีริก และกรดคาโปรอิก ตามลำดับ

ค่า R.M.N. หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายต่าง เช่น โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้และละลายได้ในน้ำ ซึ่งกลั่นออกมาจากไขมันหรือน้ำมันจำนวน 5 กรัม เป็นกลางพอดี เนยมีค่า R.M.N. สูงที่สุด จึงใช้ค่า R.M.N. เพื่อทดสอบการปลอมปนน้ำมันอื่นลงในเนย เช่น การใช้น้ำมันชนิดอื่นแทนไขมันนมจะทำให้ค่า R.M.N. ของเนยลดต่ำลง

2.7.3 ความคงตัวของน้ำมัน

นิธิยา (2548) และ Weselake (2008) กล่าวว่า น้ำมันมีความแตกต่างกันที่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ดังนั้นชนิดของกรดไขมันจึงเป็นตัวบ่งชี้ค่าความคงตัวของน้ำมัน ดังนั้นการพิจารณาถึงความคงตัวของน้ำมันจึงพิจารณาเกี่ยวกับความคงตัวของกรดไขมันเป็นหลัก

น้ำมันที่ได้จากธรรมชาติทุกชนิดเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลหลายๆ ชนิดผสมกันและไตรเอซิลกลีเซอรอลทุกชนิดเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล กรดไขมันอาจมีความแตกต่างกันที่ความยาวของสายหรือจำนวนคาร์บอน จำนวนของพันธะคู่ในโมเลกุล ความแตกต่างของ geometric isomers ความแตกต่างของ positional isomers และในน้ำมันบางชนิดยังมีปริมาณของกรดไฮดรอกซีและกรดอีพอกซีแตกต่างกันด้วย

ความคงตัวของน้ำมันเป็นผลของปฏิกิริยาทางเคมีที่สลับซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ หลายชนิด นอกจากนี้ ความคงตัวของน้ำมันต่อปฏิกิริยาทางเคมีแต่ละชนิดยังมีผลต่อสมบัติของน้ำมันแตกต่างกันด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์ เช่น ความคงตัวของกลิ่นและรสชาติ มีความสำคัญมากต่อการนำน้ำมันไปทำน้ำมันสลัดและเนยขาว แต่จะไม่มีมีความสำคัญมากนัก หากนำน้ำมันไปใช้ในรูป drying oil ในอุตสาหกรรมผลิตสีทาผนังหรือความคงตัวของน้ำมันต่อความร้อน (heat stability) จะมีความจำเป็นสำหรับน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร แต่ไม่มีความจำเป็นสำหรับน้ำมันที่นำไปใช้ทำเนยเทียม

ความคงตัวของน้ำมันที่สำคัญเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ก. ความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ข. ความคงตัวต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
- ค. ความคงตัวต่อความร้อน

ความคงตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ความคงตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งจะเกิดออกซิไดซ์ที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอล และจะสลายตัวในสารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนสั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันก่อนที่ถูกออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับความคงตัวของออกซิเดชันเป็นได้ทั้งปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ แต่เอนไซม์ทั้งหมดจะถูกทำลายในขั้นตอนการทำให้ไขมันบริสุทธิ์และการกำจัดกลิ่น ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจึงมักจะเกิดขึ้นก่อนที่น้ำมันจะถูกสกัดออกมาหรือเกิดขึ้นกับวัตถุดิบที่จะนำมาสกัดน้ำมัน

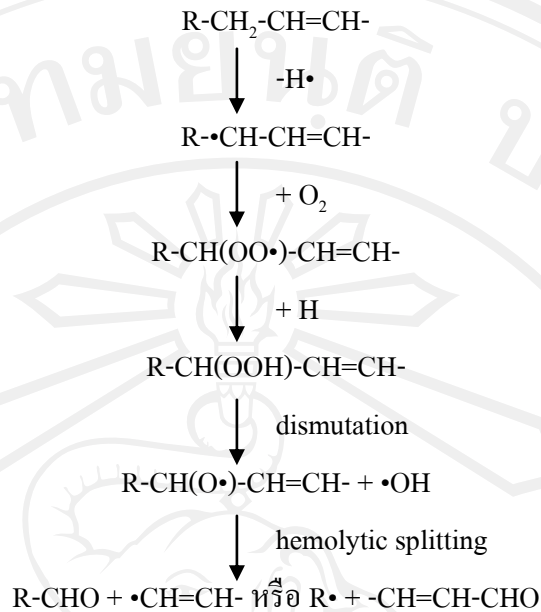
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอาศัยเอนไซม์ไลพอกซิเดส จำเป็นต้องประกอบด้วยปัจจัยสำคัญ 3 ประการ ได้แก่

- (1) ต้องมีเอนไซม์ไลพอกซิเดสในสภาพที่ทำงานได้ (active)
- (2) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่จะถูกออกซิไดซ์ต้องอยู่ในรูป *cis*-ไอโซเมอร์
- (3) ต้องมีออกซิเจน

เอนไซม์ไลพอกซิเดสมีความเฉพาะเจาะจงสูงต่อการออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่หมู่ α -methylene คั่นอยู่ระหว่างพันธะคู่ที่เป็นไอโซเมอร์แบบซิส เช่น กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิกและกรดอะราคิโดนิก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเหล่านี้จะถูกออกซิไดซ์โดยมีเอนไซม์ไลพอกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราที่เท่าๆ กัน และจะเลือกออกซิไดซ์พันธะคู่ที่ตำแหน่งของคาร์บอนอะตอมที่ 9 และ 13 เท่านั้น

การเกิดออกซิเดชันที่เป็นปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดกับไขมันและน้ำมันทุกชนิดและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมี flavour threshold ต่ำ จึงทำให้น้ำมันมีกลิ่นผิดปกติ (off-flavoured oil) ถึงแม้จะมีสารเหล่านี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ตาม

กลไกการเกิดปฏิกิริยา คือ สารที่เป็นตัวเร่งจะไปดึงเอาไฮโดรเจนอะตอมออกจากหมู่เมทิลีนที่อยู่ถัดจากตำแหน่งพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน ได้เป็นอนุมูลแอลคิล (alkyl radical) และจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องไปอีกกับออกซิเจนเป็นอนุมูลเปอร์ออกซิ หลังจากนั้นอนุมูลเปอร์ออกซิ จะจับกับไฮโดรเจนอะตอมได้เป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เป็นสารต่างๆ ดังสมการต่อไปนี้



อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล่านี้ จะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องต่อไปได้อีก 3 ประการ คือ

- (1) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นอาจรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้เป็นสารประกอบที่ไม่มีสมบัติเป็นอนุมูลอีกต่อไป
- (2) ทำปฏิกิริยาต่อกับไฮโดรเจนอะตอมจากตัวกลางเกิดเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าอนุมูลอิสระจะถูกทำลายหรือทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบที่มีความคงตัว
- (3) อาจมีการย้ายไฮโดรเจนอะตอมจากอนุมูลอิสระหนึ่งไปยังอีกอนุมูลอิสระหนึ่งเกิดการรวมตัวเป็น saturated และ unsaturated molecules

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเหล่านี้ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนและแอลดีไฮด์ นอกจากนั้นยังอาจมีกรดอินทรีย์ คีโตน แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ สารประกอบอะโรมาติกและสารประกอบอีพอกซี ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะทำให้ไขมันมีกลิ่นผิดปกติ

ความคงตัวของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

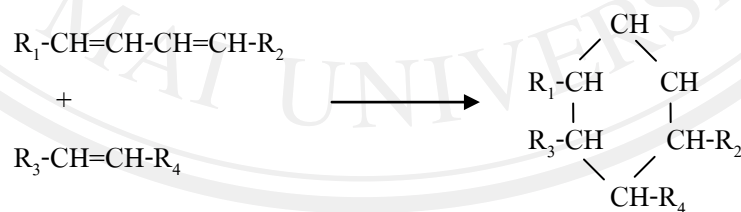
ความคงตัวของไขมันและน้ำมันต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้มีทั้งที่เป็นปฏิกิริยาทางเคมีและที่เร่งด้วยเอนไซม์เช่นเดียวกัน กรดไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หากเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยหรือเป็นกรดไขมันสายสั้นๆ เช่น กรดไขมันในไขมันนม น้ำมันมะพร้าว หรือน้ำมันปาล์มเคอร์เนลจะเกิดกลิ่นหืนได้เร็ว เนื่องจากกรดไขมันดังกล่าวระเหยได้ง่าย

ความคงตัวต่อความร้อน

น้ำมันและไขมันส่วนใหญ่จะมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการทอดอาหาร น้ำมันที่ดีจะมีความคงตัวได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการสลายตัว จึงจะจัดว่าเป็นน้ำมันที่มีความคงตัวต่อความร้อน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เป็นพอลิเมอร์ซึ่งจะทำให้น้ำมันนั้นมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันเกิดฟองได้ง่ายขณะทอด น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารบางชนิด ถ้าเกิดฟองมากขึ้นแสดงว่าอายุการใช้งานสั้นลง สารพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและความร้อน (thermal mechanism)

กลไกแรกของเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระและจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องระหว่างอนุมูลอิสระได้เป็นสารประกอบทั้งชนิดไดเมอร์และพอลิเมอร์ เช่น ได้เป็น R-O-O-R, R-O-R และ R-R เป็นต้น สารประกอบที่เกิดจากการเกิดสายพอลิเมอร์เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative polymerization) มักเป็นพันธะระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอน (-O-C-) แต่บางครั้งก็เกิดพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (-C-C-) เช่น R-R ซึ่งเกิดจากอนุมูลแอลคิลมารวมตัวกัน

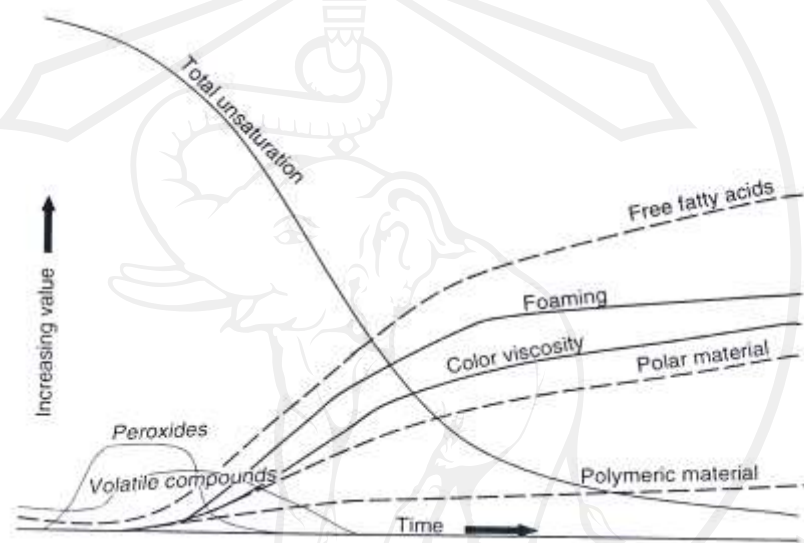
การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันภายใต้อุณหภูมิสูง (Thermal polymerization) ที่เกิดขึ้นในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จะเกิดพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (-C-C-) มากกว่าและยังเกิดการจัดตัวใหม่ระหว่างไดอินกับแอลคีนได้เป็นโครงสร้างแบบที่มีพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน 2 อัน และพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน 2 อันจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพันธะคู่ ดังสมการต่อไปนี้



2.8 สรุปผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันเนื่องจากความร้อน

จากที่ได้กล่าวข้างต้นในหัวข้อ 2.7 ถึงการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่เกิดขึ้น เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี Akoh และ Min (2008) ได้รวบรวมผลของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ซึ่งสรุปได้ว่า เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนส่งผลให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ส่งผลให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพ ทำให้น้ำมันมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ความหนืด สี การเกิดสารประกอบทั้งแบบมี

ข้าวและแบบไม่มีข้าว เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน ไฮโดรคาร์บอนสายสั้นๆ และพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เป็นต้น มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนในเวลานานขึ้น ส่วนไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น สำหรับสารเปอร์ออกไซด์และสารที่ระเหยได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบชนิดอื่นที่มีความเสถียรมากขึ้น



ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันระหว่างการให้ความร้อน

ที่มา: Akoh and Min (2008)

2.9 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการลดความชื้นในปัจจุบันมุ่งเน้นไปที่ระยะเวลาการลดความชื้นที่สั้นลงและคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์หลังการลดความชื้น โดยพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นมีผลให้ระยะเวลาการลดความชื้นของวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรสั้นลงและถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นสูงขึ้นหรือการใช้อุณหภูมิร่วมกับการใช้เทคนิคอื่นๆ เช่น การใช้อากาศร้อนและการใช้ป้อนความร้อน มีผลทำให้ระยะเวลาการลดความชื้นลดลงมากกว่าการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว (ศิวะและคณะ, 2548; อัญชลีและคณะ, 2548 และ Ibrahim *et al.*, 2009) การใช้วิธีการลดความชื้นโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั้งชิ้น การศึกษาโดยใช้ไมโครเวฟในการลดความชื้นใบตะไคร้เปรียบเทียบกับการใช้อากาศร้อนพบว่า สามารถลดระยะเวลาในการลดความชื้นได้ถึง 56 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อากาศร้อน (กาญจนา, 2552)

ในด้านคุณภาพของน้ำมันพบว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาในการลดความชื้น มีผลทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพมากขึ้น (Serjouie *et al.*, 2010) การพัฒนาเทคนิครวมถึงวิธีการลดความชื้นมีผลทำให้ระยะเวลาการลดความชื้นและพลังงานที่ใช้ลดลง แต่วิธีการและเทคนิคที่พัฒนาขึ้นย่อมส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของเมล็ด รวมถึงคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของเทคนิคและกระบวนการนั้นๆ ด้วย การเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดและน้ำมันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แม้ว่าการศึกษาในเมล็ดสะเดาทำให้ทราบว่า การใช้อุณหภูมิลดความชื้นเพิ่มขึ้นจะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้น (อัญชลี, 2541) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kosoko *et al.* (2009) ได้ศึกษาการอบลดความชื้นเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นส่งผลให้เชื้อหุ้มเซลล์เสื่อมสภาพ ดังนั้นน้ำมันที่อยู่ในเซลล์จึงออกมาได้มากขึ้น แต่รูปแบบวิธีการลดความชื้นยังส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของเมล็ดและน้ำมัน โดยพบว่าอุณหภูมิในการลดความชื้นสูงขึ้นมีผลทำให้อัตราการลดความชื้นมากขึ้น และยังส่งผลให้ค่าสีของเมล็ด เช่น L^* , b^* และ YI ของเมล็ดข้าวโพดเข้มมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการลดความชื้น (Shakerardekani *et al.*, 2011) ทั้งนี้ Shaw *et al.* (2007) และ Fellows (2000) ได้อธิบายสาเหตุไว้ว่า ที่ผิวของเปลือกเมล็ดมีรงควัตถุหรือสารสีพวกคลอโรฟิลล์ แคโรทีนและไฟโคบิลินส์ เมื่อผ่านขั้นตอนการลดความชื้น รงควัตถุเหล่านี้จะสลายตัวเนื่องจากความร้อนจากกระบวนการและอีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากการเกี่ยวพันของผิวส่วนเปลือกของเมล็ดระหว่างการลดความชื้น ดังนั้นค่าการหักเหของแสงและการดูดซับแสงเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ค่าสีของเมล็ดหลังลดความชื้นเพิ่มขึ้น

ทางด้านสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน พบว่าขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดน้ำมันเวลาและอุณหภูมิในการลดความชื้นส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำมัน ผลจากการศึกษาของ Kosoko *et al.* (2009) ที่ทดลองการลดความชื้นเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยอุณหภูมิและเวลาในการลดความชื้นในระดับต่างๆ พบว่า การใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิสูงในการลดความชื้นส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2548; Oomah *et al.*, 1998) ผลทางด้านสีของน้ำมันพบว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการลดความชื้นส่งผลต่อค่าสีของน้ำมัน เนื่องจากสารสีในน้ำมัน เช่น คลอโรฟิลล์และเบตา-แคโรทีนเกิดการสลายตัวเนื่องจากอุณหภูมิในการลดความชื้น (Tys *et al.*, 2002) ดังนั้นสีของน้ำมันที่จึงมีค่า L^* ลดลง และมีค่า b^* และ a^* สูงขึ้น นั่นคือ สีของน้ำมันเข้มขึ้น (Baixauli *et al.*, 2002) แต่ก็มีงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันโดยใช้วิธี การสกัดสารในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันเหนือจุดวิกฤตของสารชนิดนั้นๆ (supercritical fluid extraction) ในเมล็ด

ปาล์มน้ำมัน ซึ่งพบว่านอกจากการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นร่วมกับการใช้ความดันที่มากขึ้นมีผลทำให้สารละลายในน้ำมันมากขึ้นกว่าการใช้อุณหภูมิสูงเพียงอย่างเดียว (Wei *et al.*, 2005)

สำหรับสมบัติทางเคมีพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มระยะเวลาลดความชื้น มีผลทำให้มีปริมาณของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับการศึกษาของ Taiwo *et al.* (2010) ที่ศึกษาการลดความชื้นเมล็ดแดงโม ทั้งนี้กรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำมันมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นด้วย ค่าไอโอดีนลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในระหว่างขั้นตอนการลดความชื้น (Bouriga *et al.*, 2008; Sirisomboon and Kitchaiya, 2009; Kosoko *et al.*, 2009; Nzikou *et al.*, 2009)

การใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยเครื่องอบไมโครเวฟในการลดความชื้นแม้ว่าจะมีข้อดีในเรื่องของเวลาในการลดความชื้น แต่สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ คลื่นไมโครเวฟส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยการศึกษาของ Albi *et al.* (1997) ได้ทดลองโดยให้ความร้อนกับน้ำมันมะกอกและน้ำมันดอกทานตะวันด้วยวิธีการ 2 วิธี คือ การใช้ลมร้อนเปรียบเทียบกับใช้คลื่นไมโครเวฟ โดยการให้ความร้อนด้วยลมร้อนใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที ส่วนไมโครเวฟใช้กำลัง 500 วัตต์ เป็นระยะเวลา 120 นาที ผลการศึกษาพบว่าน้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและความหนืดของน้ำมันที่ให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีความหนืดมากกว่าการให้ความร้อนด้วยลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Oomah *et al.* (1998) ที่ใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกอบเมล็ดงุ่นแล้วสกัดน้ำมันมาวัดคุณภาพ ทั้งนี้เป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เกิดเป็นสารที่มีรูปทรงแบบวงแหวนมอนอเมอร์ ไดเมอร์และพอลิเมอร์ต่างๆ ในด้านสีของน้ำมันพบว่า การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยเครื่องอบไมโครเวฟที่กำลัง 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่า คลอโรฟิลล์และสารพวกแคโรทีนเกิดการสลายตัว (Malheiro *et al.*, 2009) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้คลื่นไมโครเวฟส่งผลให้น้ำมันมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นมากกว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน ณ เวลาที่เท่ากัน นอกจากนี้ยังเกิดการเสื่อมสภาพของสารสีมีผลทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น (Albi *et al.*, 1997; Abassy *et al.*, 2010; Malheiro *et al.*, 2009)

ผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันพบว่า ผลการศึกษาการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันมะกอก น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลืองสามารถสรุปได้ว่า การลดความชื้นโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าวิธีการลดความชื้นด้วยเทคนิคแบบลมร้อน (Malheiro *et al.*, 2009) ทั้งนี้ Tan *et al.* (2001) ได้ศึกษาการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องอบไมโครเวฟยังส่งผลให้น้ำมันมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มกำลังไฟฟ้าทำให้ความ

น้ำมันร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น แต่การลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกใช้เวลาการลดความชื้นน้อยกว่าการลดความชื้นแบบลมร้อน จึงสามารถลดปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันได้มากกว่าการลดความชื้นแบบลมร้อน ดังนั้นค่าของกรด ค่าซาปอนนิฟิเคชันและค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันจึงน้อยกว่าการลดความชื้นแบบลมร้อนเช่นกัน (Oomah *et al.*, 1998)

จากข้างต้น การศึกษาเทคนิคการลดความชื้น โดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก โดยทั่วไปจะเป็นการให้ความร้อนจะใช้วิธีการปรับกำลังไฟฟ้า ซึ่งไม่สามารถทราบถึงอุณหภูมิของวัตถุดิบระหว่างการลดความชื้นได้ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องอบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้จะเป็นการพิสูจน์ว่า การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกมีผลมากหรือน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันงาขี้ม้อน ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้ประกอบกับงานวิจัยอื่นๆ เพื่อที่จะพัฒนาและประยุกต์เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกในการลดความชื้นสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในอนาคตต่อไป