

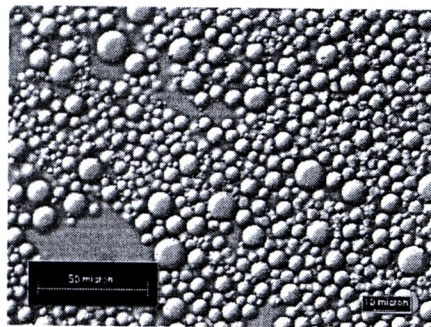
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิมัลชัน

2.1.1 ความหมาย

อิมัลชัน (emulsion) หมายถึง ระบบการกระจายของอาหารที่มีของเหลวอย่างน้อยสองชนิดที่ไม่รวมตัวกัน (immiscible liquids) โดยมีของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัว (dispersed phase) อยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง (continuous phase) ในรูปของอนุภาคทรงกลมขนาดเล็ก (spherical droplets) (ภาพที่ 2.1) โดยทั่วไป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (droplets) ในอิมัลชันที่เป็นผลิตภัณฑ์อาหาร จะมีขนาดเฉลี่ยตั้งแต่ 0.1-100 ไมครอน (μm) (Dickinson, 1992; Friberg และ Larrson, 1997) และสามารถแบ่งชนิดของอิมัลชันตามชนิดของเฟสกระจายตัว เช่น อิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil-and-water emulsion, O/W) ก็จะพบเฟสน้ำมันกระจายตัวในเฟสน้ำ ในทางกลับกันอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมัน (water-and-oil emulsion, W/O) จะพบการกระจายตัวของเฟสน้ำในเฟสของน้ำมัน (McClements, 2005) นอกจากนี้ ยังพบระบบอิมัลชันที่มีความซับซ้อนในผลิตภัณฑ์ยา และเครื่องสำอาง ดังเช่น อิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (O/W/O) หรือ อิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W) (Garti และ Benichou, 2004)



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (น้ำสลัด) ที่มีการกระจายตัวของหยดน้ำมันในน้ำ
ที่มา: McClements (2005)

ลักษณะปรากฏของอิมัลชัน มีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคของเฟสกระจายตัว โดยอิมัลชันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.15-100 ไมครอน มีลักษณะปรากฏคล้ายนม มีสีขาวขุ่น เนื่องจาก ค่าดัชนีการหักเหแสงในเฟสทั้งสองมีความแตกต่างกันและเกิดการกระจายแสงทำให้มองดูขุ่นขาว ถ้าอิมัลชันมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.0015-0.15 ไมครอน พบว่ามีลักษณะโปร่งใส เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กมาก จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจึงทะลุผ่านได้ (พิมพา สีสภาพพิสิฐ, 2540) โดย ณรงค์ นิยมวิทย์ (2538) ได้รวบรวมลักษณะปรากฏของอิมัลชันที่มีอนุภาคของเฟสกระจายตัวขนาดต่างๆ เอาไว้ แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะปรากฏของอิมัลชันที่มีขนาดหยดของเฟสกระจายตัวต่างกัน

ขนาดหยดของเฟสกระจายตัว	ลักษณะปรากฏของอิมัลชัน
หยดขนาดใหญ่ (macroglobules)	แยกเป็น 2 ชั้น
ขนาดมากกว่า 1 ไมครอน	มีสีขาวขุ่น
ขนาด 0.1-1 ไมครอน	มีสีน้ำเงิน
ขนาด 0.1-0.15 ไมครอน	มีสีค่อนข้างใส สีเทา ไม่มีประกาย
ขนาดน้อยกว่า 0.05 ไมครอน	มีประกาย

ที่มา: ดัดแปลงจาก ณรงค์ นิยมวิทย์ (2538)

2.1.2 ความคงตัวของอิมัลชัน

การเตรียมอิมัลชัน มีกลไกหลัก 2 ประการ โดยในขั้นแรก จำเป็นต้องมีการลดขนาดอนุภาคของเฟสกระจายตัว (droplet disruption) ให้สามารถกระจายอยู่ในอีกเฟสหนึ่งได้ อาจใช้การให้ความร้อน การคน การเขย่า การสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง (Ultrasonic vibration) และการโฮโมจีไนซ์ (Homogenization) เป็นต้น ส่วนขั้นต่อไป เป็นการรักษาสภาพการกระจายตัว (droplet coalescence) โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เนื่องจาก อิมัลซิไฟเออร์มีโครงสร้างทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว จึงสามารถเกาะบนพื้นผิวของอนุภาคที่กระจายอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคของเฟสทั้งสองเข้ามาอยู่ใกล้กันจนเกิดการรวมตัวกันได้ (Coupland และ McClements, 1996) การรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันสามารถทำได้หลายวิธี (McClements, 2005) มีรายละเอียดดังนี้

1) การรักษาความคงตัวโดยประจุบนพื้นผิว (charge stabilization)

การรักษาความคงตัวของอิมัลชันด้วยวิธีนี้ อาศัยแรงผลักระหว่างประจุเหมือนกัน (electric repulsion) ทำให้เกิดชั้นทางไฟฟ้าสถิตสองชั้น (electrically double layer) ในการป้องกันการรวมตัวของอนุภาค โดยเฉพาะกลุ่มโมเลกุลที่มีประจุ (electrically charged groups) ซึ่งอยู่รอบๆพื้นผิวของเฟสกระจายตัว แรงผลักระหว่างไอออนชนิดเดียวกัน ส่งผลให้เฟสกระจายตัวไม่เข้ามารวมตัวกัน จึงช่วยรักษาความคงตัวของระบบได้

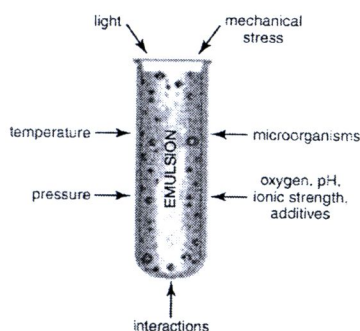
2) การรักษาความคงตัวโดยโมเลกุลที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟสทั้งสอง (steric stabilization)

การใช้อิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถละลายได้ทั้งในเฟสกระจายตัวและเฟสต่อเนื่อง หรือ มีสมบัติเป็น amphiphilic โดยอิมัลซิไฟเออร์ต้องมีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะกีดขวางการรวมตัวของเฟสทั้งสอง รวมถึงต้องเกิดชั้นฟิล์มที่แข็งแรงรอบอนุภาคของเฟสกระจายตัว โดยลักษณะการเรียงตัวของชั้นฟิล์มจะมีลักษณะเฉพาะตัวไปตามชนิดของอิมัลซิไฟเออร์และความเข้มข้นที่ใช้ เช่น การใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่เรียงตัวเป็นโมเลกุลเดี่ยว (monomolecular film) โดยหันด้านที่มีประจุเข้าหาส่วนที่เป็นน้ำ และหันส่วนที่ไม่มีประจุเข้าหาน้ำมัน ส่วนการใช้คอลลอยด์ (colloids) ทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่มีความซับซ้อน เกิดการเรียงตัวได้หลายรูปแบบ หรือ การใช้โปรตีนซึ่งเป็นของแข็งดูดซับที่พื้นผิวของเฟสทั้งสอง ในลักษณะของชั้นฟิล์ม (solid partial film) เป็นต้น

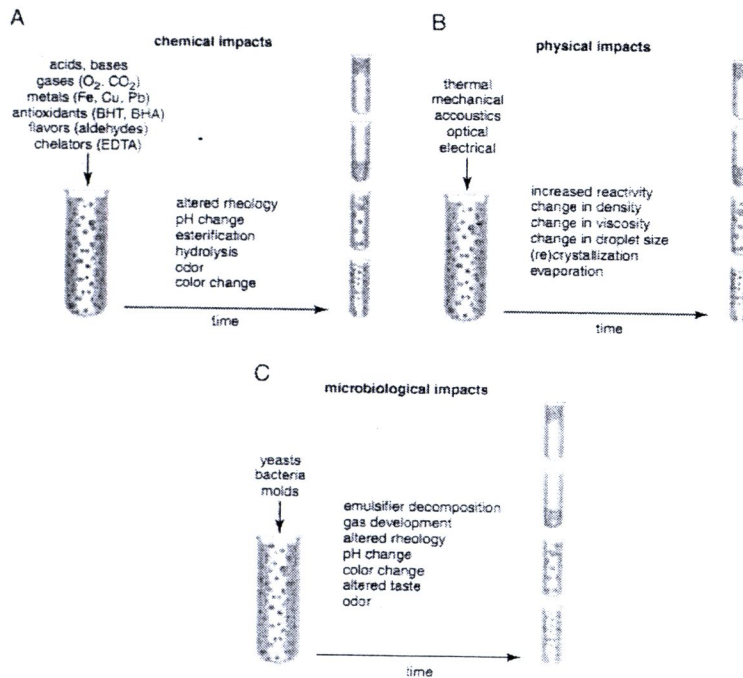
3) การรักษาความคงตัวโดยอนุภาคที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟสทั้งสอง (partical stabilization)

การล้อมรอบเฟสกระจายตัวด้วยอนุภาค มีส่วนช่วยกีดขวางการรวมตัวกันของเฟสดังกล่าวเมื่อมีการชนกัน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้การใช้อนุภาครักษาความคงตัวของอิมัลชันเป็นผลสำเร็จคือ ชนิดของอนุภาคและมุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างพื้นผิวของอนุภาคกับพื้นผิวของเฟสทั้งสอง โดยอนุภาคที่ละลายได้ในเฟสทั้งสองเท่าๆกัน จะรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ดีที่สุด เนื่องจากมีมุมสัมผัสเท่ากับ 90 ส่วน ส่วนอนุภาคที่ละลายได้ในน้ำมันมากกว่าน้ำ จะมีมุมสัมผัสน้อยกว่า 90 ในทางกลับกัน อนุภาคที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าน้ำมัน ก็จะมีมุมสัมผัสมากกว่า 90 ซึ่งมุมสัมผัสที่น้อยกว่าหรือมากกว่า 90 นี้ ความคงตัวของอิมัลชันจะไม่ดี เนื่องจากอนุภาคสามารถเกาะกับส่วนที่เป็นน้ำมันได้น้อย

อย่างไรก็ดี ระบบอิมัลชันนั้น เป็นระบบที่ไม่สมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ มีพลังงานอิสระในระบบ ซึ่งมีผลในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างเฟสน้ำและเฟสน้ำมันให้รวมตัวกันมากขึ้นแทนที่จะกระจายตัวอยู่ในระบบ จึงเกิดการแยกชั้นเป็นชั้นน้ำมันอยู่ด้านบนซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ ส่วนน้ำจะอยู่ด้านล่างเนื่องจากมีความหนาแน่นสูงกว่า ดังนั้น ความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability) จึงหมายถึง ความสามารถของอิมัลชันในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยภาพที่ 2.2 แสดงปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน นอกจากนี้ ในระหว่างการเก็บรักษาอิมัลชัน ย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางกายภาพและทางจุลินทรีย์ ซึ่งล้วนแต่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของอิมัลชันด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.2 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน
ที่มา: Weiss (2001)



ภาพที่ 2.3 การเสถียรภาพของอิมัลชันอันเนื่องมาจาก (A) ปัจจัยด้านเคมี (B) ปัจจัยด้านกายภาพ (C) ปัจจัยด้านจุลินทรีย์
ที่มา: Weiss (2001)

การเสถียรภาพของอิมัลชัน มีสาเหตุหลักๆมาจากแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคระหว่างอนุภาค (droplet-droplet interaction) ของเฟสทั้งสอง ทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคขนาดเล็กกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ จนในที่สุดเกิดการแยกชั้นของเฟสแต่ละเฟสออกจากกัน ซึ่งถือเป็นการเสถียรภาพของอิมัลชันอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม Weiss (1999) รายงานว่า การเสถียรภาพของอิมัลชันมักเกิดจากกลไกการถ่ายเทมวลในระดับซูพราโมเลกุล (supramolecular mass transport mechanisms) พบได้ในการเสถียรภาพแบบการเกิดครีม sedimentation, flocculation, coalescence, partial coalescence และการเปลี่ยนเฟส (phase inversion) อีกทั้งยังพบการเสถียรภาพจากกลไกอื่นๆ ดังเช่น การเสถียรภาพแบบ ostwald ripening ที่เฟสกระจายตัวสามารถรวมตัวกันเป็นหยดขนาดใหญ่โดยอาศัยการแพร่ผ่านส่วนของเหลวรอบๆ (continuous phase) การเสถียรภาพที่พบในอิมัลชันสามารถแบ่งออกเป็น 6 รูปแบบใหญ่ๆ (McClements, 2005) ดังนี้

1) การเกิดครีม (Creaming)

การเสถียรภาพแบบนี้ มีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำมัน (oil droplets) ภายใต้แรงโน้มถ่วง หรือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกชั้นกันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาค โดยทั่วไป อนุภาคของเฟสทั้งสองจะมีความหนาแน่นต่างกัน ถ้าอนุภาคของเฟสกระจายตัวมีความหนาแน่นต่ำกว่าของเหลวรอบๆ อนุภาคจะลอยขึ้นด้านบน เกิดการแยกเป็นชั้นครีม มักพบในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (O/W) แต่ในกรณีที่เฟสกระจายมีความหนาแน่นสูงกว่า เช่น อิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (W/O) เฟส

กระจายจะรวมกันตกตะกอนอยู่ด้านล่าง ซึ่งจะเรียกการเสียสภาพแบบนี้ว่า sedimentation (McClements, 2005)

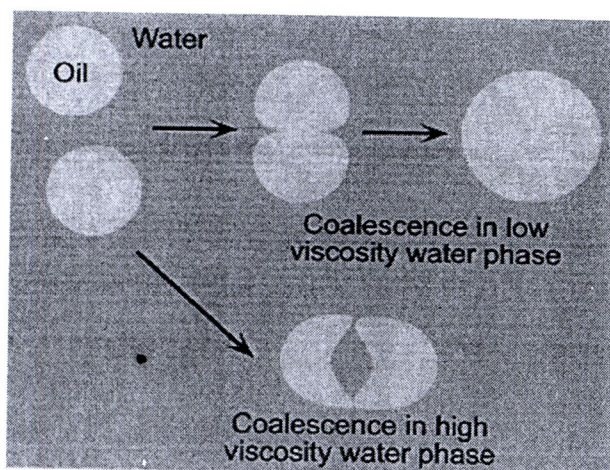
การเกิดคริมเป็นการเสียสภาพเริ่มต้นที่มักนำไปสู่การเสียสภาพขั้นอื่นๆที่มีความรุนแรงมากขึ้น ทั้ง flocculation หรือ coalescence (Dalgleish, 1997) อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อการยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย เนื่องจาก ผู้บริโภคต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การเกิดคริมนี้เป็นการเสียสภาพแบบผันกลับได้ โดยให้แรงกวนผสมแก่ระบบ (Dickinson, 1992)

2) Flocculation

การเสียสภาพแบบ flocculation เป็นผลมาจากพลังงานความร้อน แรงแม่เหล็ก หรือแรงทางกล ทำให้อนุภาคมีการชนกัน แล้วเกิดการแยกตัวออกจากกันหรือรวมตัวกันตามแรงผลักหรือแรงดึงดูดที่มีอยู่ในแต่ละอนุภาค ซึ่ง flocculation เป็นกระบวนการที่อนุภาคหลายอนุภาคเคลื่อนที่มาอยู่เป็นกลุ่มใกล้เคียงกัน โดยแต่ละอนุภาคยังคงลักษณะของหยดน้ำมันเอาไว้ (individual integrity) การเกิด flocculation ยังเป็นการเร่งการแยกชั้นอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง (gravitational separation) ทำให้การแยกชั้นคริม รวมถึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงขึ้นและอาจเกิดเจลได้ (Demetriades และ คณะ, 1997) อย่างไรก็ตาม การเสียสภาพแบบนี้สามารถผันกลับได้เมื่อผสมโดยใช้แรงเฉือนต่ำ (low shear force) (Serra และ Casamitjana, 1998)

3) Coalescence

การเกิด coalescence เป็นการเสียสภาพที่มีความรุนแรงและไม่สามารถผันกลับได้ โดยมีสาเหตุมาจากชั้นฟิล์มบางๆ (lamella) ระหว่างอนุภาคที่อยู่ใกล้กันเกิดการแตก ทำให้อนุภาครวมตัวกันกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีรูเล็กๆ เกิดขึ้นในฟิล์มดังกล่าว อนุภาคจะรวมตัวกันทันที แต่การเสียสภาพแบบนี้ จะเกิดขึ้นได้เมื่ออนุภาคทั้งสองอยู่ใกล้กันและฟิล์มระหว่างอนุภาคเกิดการแตกออกจากกันเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.4 นอกจากนี้ อิมัลชันที่เสียสภาพแบบ coalescence ยังเร่งให้เกิดคริมหรือตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการเพิ่มขนาดของอนุภาคน้ำมันในอิมัลชัน นำไปสู่การเกิดชั้นของน้ำมันในส่วนผิวหน้าที่ เรียกว่า oiling off ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ไม่สามารถผันกลับได้

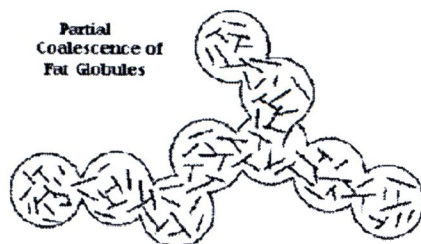


ภาพที่ 2.4 การเสียสภาพแบบ coalescence

ที่มา: <http://itacanet.org/eng/misc/cola/cola1.htm> (2011)

4) Partial coalescence

การเกิด partial coalescence สามารถพบได้ในกรณีที่อุณหภูมิของระบบอิมัลชันมีค่าต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมัน (Rousseau, 2000) เมื่ออนุภาคน้ำมันที่เป็นผลึกบางส่วนอย่างน้อย 2 อนุภาคเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน จะเกิดการรวมตัวและจัดเรียงตัวเป็นรูปร่างที่ผิดปกติ แต่การเกาะตัวกันยังคงรูปร่างของอนุภาคไว้ได้ (ภาพที่ 2.5) เนื่องมาจากโครงร่างของของผลึกไขมันภายในอนุภาคจะป้องกันการรวมตัวอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 2.5 การรวมตัวกันแบบ partial coalescence ในนม
ที่มา: Chang และคณะ (2002)

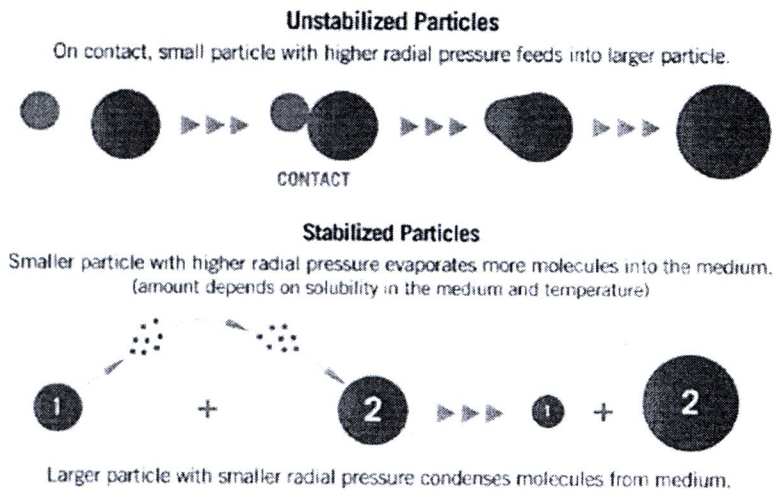
การเสียสภาพแบบนี้ มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ต่างๆ แตกต่างกัน เช่น ถ้าพบลักษณะดังกล่าวในนม จะถือเป็นการเสียสภาพ แต่ในการผลิตวิปครีม ไอศกรีม จำเป็นต้องทำให้เกิด partial coalescence บางส่วน (Dickinson และ Stainsby, 1982; McClements, 2005) โดย อิมัลชันถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำจนตกผลึกบางส่วน แล้วจึงให้แรงเฉือนแก่ระบบ อนุภาคจึงรวมตัวกันเป็น partial coalescence โดยอนุภาคไขมันที่รวมตัวกัน ทำให้เกิดโครงสร้างที่ล้อมรอบเซลล์อากาศ ผลิตภัณฑ์จึงมีความคงตัวและเนื้อสัมผัสที่ดี

5) การเปลี่ยนเฟส (Phase inversion)

การเปลี่ยนเฟส หมายถึง การเปลี่ยนชนิดของระบบอิมัลชันจากระบบหนึ่งเป็นอีกระบบหนึ่ง เช่น ระบบอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (O/W) เปลี่ยนเป็นประเภทน้ำในน้ำมัน (W/O) หรืออาจเปลี่ยนเป็นระบบอื่นๆ การเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นได้เนื่องจาก องค์ประกอบของระบบ หรือ ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่างๆ ทั้งปริมาณของเฟสกระจายตัว อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ หรือ ชนิดของแรงที่ให้แก่ระบบ การเปลี่ยนเฟสจึงเป็นการร่วมกันระหว่างกลไกที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวกัน ทั้ง flocculation, coalescence และการเกิดลักษณะอิมัลชัน (emulsion formation) มักใช้ในการเตรียมระบบอิมัลชันเชิงซ้อน (multiple systems) นอกจากนี้ การเปลี่ยนเฟสยังเป็นกระบวนการจำเป็นในการผลิตเนยและมาร์การีน แต่ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ ลักษณะดังกล่าวไม่เป็นที่ต้องการ เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส ความคงตัวและรสชาติเปลี่ยนไป (McClements, 2002)

6) ostwald ripening

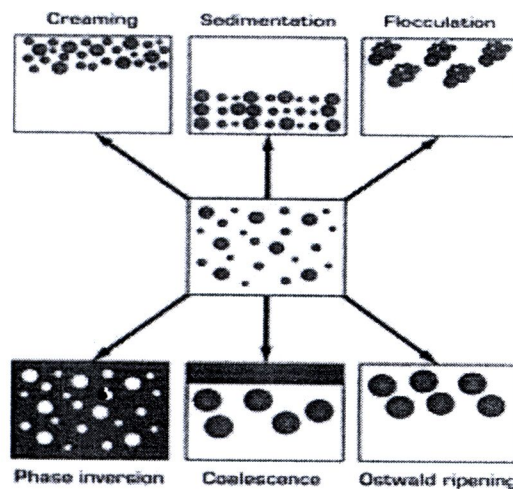
การเสถียรภาพแบบ ostwald ripening จะพบการถ่ายเทมวล กล่าวคือ เกิดการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กจนกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ โดยอาศัยการแพร่ของเฟสกระจายตัวผ่านของเหลวรอบๆ ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การเกิด ostwald ripening ในอิมัลชัน
ที่มา: Gwozdz (2009)

อย่างไรก็ดี ในผลิตภัณฑ์อาหารพบการเสถียรภาพ ostwald ripening ได้น้อยมาก เนื่องจาก ความสามารถของทั้ง triacylglycerols และน้ำต่ำมาก (Dickinson และ Stainsby, 1982) อัตราการส่งถ่ายมวลจึงเกิดขึ้นได้น้อยตามไปด้วย (McClements, 2002)

การเสถียรภาพของอิมัลชันทั้ง 6 แบบ สามารถแสดงภาพจำลองได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ภาพจำลองการเสถียรภาพแบบต่างๆในอิมัลชัน
ที่มา: http://imk209.wikispaces.com/Emulsions_csm (2011)

2.1.3 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) หรือ สารลดแรงตึงผิว (surfactants) หมายถึง สารที่มีสมบัติละลายได้ทั้งส่วนที่ไม่มีขั้ว (non-polar) และส่วนที่มีขั้ว (polar) ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่อรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชัน อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมักเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น tweens, spans และเกลือของกรดไขมัน รวมไปถึง ฟอสโฟลิปิด เช่น เลซิติน เป็นต้น โครงสร้างของอิมัลซิไฟเออร์จะประกอบด้วย 2 ส่วนที่มีหมู่ตรงข้ามกันใน 1 โมเลกุล เช่น มีขั้วกับไม่มีขั้ว (polar/non-polar) ไม่ชอบน้ำกับชอบน้ำ (hydrophobic/hydrophilic) ไม่ชอบไขมันกับชอบไขมัน (lipophobic/lipophilic) และ lyophobic/lyophilic (St. Angelo, 1989) นอกจากนี้ อิมัลซิไฟเออร์ที่จะนำมาใช้ในอาหารต้องไม่เป็นพิษ (nontoxic) ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง (noncarcinogenic) และไม่เป็นสารก่อการเกิดอาการแพ้ (nonallergenic)

อิมัลซิไฟเออร์ สามารถเพิ่มความคงตัวแก่ระบบอิมัลชันได้ เนื่องจาก เมื่ออิมัลซิไฟเออร์ละลายในเฟสทั้งสองแล้ว จะเกิดการรวมตัวกัน และจัดเรียงโครงสร้างใหม่ในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้มีความเสถียรทางเทอร์โมไดนามิกมากขึ้น ลักษณะของการเรียงตัวที่เกิดขึ้นนี้ ช่วยลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำของเฟสกระจายตัวกับส่วนของเหลวรอบๆ ซึ่งจะเรียกว่า association colloids โดยเกิดได้หลายลักษณะ เช่น micelles, bilayers, vesicles และ reverse micelles เป็นต้น ซึ่งการเรียงตัวนั้นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสาร ขึ้นอยู่กับความมีขั้วและรูปร่างของโมเลกุล (McClements, 2005)

อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในอิมัลชันมีหลายชนิด โดยโครงสร้างส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักเป็นกรด สเตอริก ปาล์มิติก และ ลิโนเลอิก ในขณะที่ส่วนชอบน้ำประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) หรือคาร์บอกซิล (carboxyl) อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้รับอนุญาตและนิยมใช้อาหาร ประกอบด้วย กลุ่มแรกเป็นกลุ่มอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่มีประจุ ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ซอร์บิแทนเอสเทอร์ โพลีซอร์เบตและซูโครเอสเทอร์ กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มอิมัลซิไฟเออร์ที่มีประจุลบ ได้แก่ โซเดียมและแคลเซียม สเตียโรอิล-2-แลคทิลเลท ซัคซินิเลท โมโนกลีเซอไรด์ เป็นต้น กลุ่มที่สามเป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดแอมโฟเทอริก (amphoteric) เช่น ฟอสฟาติดีลโคลีน (phosphatidylcholine) หรือ เลซิติน ซึ่งมีสมบัติเป็น zwitterionic ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ภายใต้สภาวะกรดต่างที่เป็นกลาง (Dickinson, 1992)

การเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัว โดยดัชนีสำคัญที่นำมาใช้คัดเลือก คือ ค่า HLB (hydrophilic-lipophilic balance) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และหมู่ที่ชอบน้ำมัน (lipophilic) ของอิมัลซิไฟเออร์ โดย ค่า HLB จะแปรผันตามอัตราส่วนของหมู่ที่ชอบน้ำต่อหมู่ที่ชอบน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของอิมัลซิไฟเออร์ (Beltz และ Grosch, 1999; McClements, 2005) โดย Beltz และ Grosch (1999) ได้สรุปค่า HLB ที่เหมาะสมต่อการเตรียมอิมัลชันในผลิตภัณฑ์อาหารได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่า HLB ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ค่า HLB	การนำไปใช้
3-6	อิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน
7-9	สาร humectants
8-18	อิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ
15-18	รักษาความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์

ที่มา: Beltiz และ Grosch (1999)

นอกเหนือจาก การเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสม ความคงตัวของอิมัลชันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมต่างๆ ทั้งค่าพีเอชหรือค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชัน อุณหภูมิและระยะเวลาในการผสม รวมถึงสภาวะการเก็บรักษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) พีเอชของอิมัลชัน

พีเอช หรือ ความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชัน ส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชันได้เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิด จะทนต่อสภาพพีเอชต่างๆ ได้แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3 ด้วยเหตุนี้ การเลือกชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ จำเป็นต้องคำนึงถึงค่าพีเอชของระบบ เพื่อให้อิมัลซิไฟเออร์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดซึ่งจะทำให้อิมัลชันที่ได้มีความคงตัวมากที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 2.3 ผลของพีเอชและชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของอิมัลชัน

สภาวะทดสอบ	ชนิดอิมัลซิไฟเออร์		
	anionic	Onionic	cationic
pH>7	/	/	-
pH=7, ไม่มีเกลือ	/	/	/
pH=7, มีเกลือโพสิทีฟ	-	/	-
pH<7	-	/	/

หมายเหตุ เครื่องหมาย (/) หมายถึง อิมัลชันมีความคงตัวดี, เครื่องหมาย (-) หมายถึง อิมัลชันเสถียรภาพ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Balsam และ Sagarin (1974)

นอกจากนี้ Aoki และ คณะ (2005) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชส่งผลต่อ ζ -potential ของอนุภาคน้ำมัน อีกทั้งยังเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันของหยดน้ำมันซึ่งจะนำไปสู่การเสถียรภาพในที่สุด

2) อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม

การใช้อุณหภูมิผสมสูงประมาณ 70-75 องศาเซลเซียส มีส่วนช่วยในการหลอมละลายน้ำมันเพื่อให้เหมาะสมต่อการเตรียมอิมัลชัน แต่ในทางกลับกัน การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความหนืดและแรงตึงผิวของเฟสกระจายตัวลดลง การดูดซับอิมัลซิไฟเออร์ที่พื้นผิวสัมผัสจึงต่ำลง ย่อมส่งผลให้อิมัลชันมีความคงตัวลดลง

ตามไปด้วย รวมถึง ยังพบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอิมัลซิไฟเออร์ทำให้ประสิทธิภาพลดลง และการใช้อุณหภูมิสูงเกินกว่า 85 องศาเซลเซียส จะเร่งการเกิดไฮโดรไลซิสของอิมัลซิไฟเออร์ได้อีกด้วย (Sherman, 1968) การใช้อุณหภูมิผสมสูงทำให้อิมัลชันมีความคงตัวลดลง

3) ระยะเวลาในการผสม

ในขั้นตอนการเตรียมอิมัลชัน การปั่นผสมจะทำให้เฟสทั้งสองกระจายตัวออกจากกัน โดยเฟสกระจายตัวจะมีขนาดอนุภาคลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วินาทีแรก ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อปั่นผสมเป็นเวลาไม่เกิน 5 นาที แต่เมื่ออนุภาคของเฟสทั้งสองกระจายตัวในระดับสูงสุดแล้ว มีแนวโน้มว่าอนุภาคบางส่วนจะกลับมารวมตัวกัน ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้น ระยะเวลาในการผสมนานเกินไป ย่อมทำให้ความคงตัวของอิมัลชันลดลง (Sherman, 1968)

4) สภาพการเก็บรักษาอิมัลชัน

การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทั้งการให้ความร้อน การให้ความเย็น หรือการสัมผัสเยือกจากการขนส่ง ล้วนแต่ส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชันให้มีค่าลดลงทั้งสิ้น ดังที่มีรายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระแก่ระบบ ส่งผลให้อัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในระบบเพิ่มมากขึ้น ทำให้หยดนํ้ามันมีแนวโน้มรวมตัวกันมากขึ้น การเสถียรภาพจึงเกิดได้เร็วขึ้น (Frankel, 1993; Guzey และ McClements, 2006)

2.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

ไขมัน เป็นองค์ประกอบที่พบได้ทั่วไปในอาหาร นอกเหนือจากการเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย และแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นแล้ว ยังช่วยส่งเสริมลักษณะทางประสาทสัมผัสของกลิ่นรสในอาหาร โดยเฉพาะความรู้สึกในปาก (mouth feel) ได้อีกด้วย ไขมันเหล่านี้ จะง่ายต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอิสระ หรือกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในอาหารประเภทไขมันและนํ้ามัน ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพมีกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค รวมถึงอาจก่อให้เกิดอันตรายในการบริโภค

2.2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไขมันกับออกซิเจน (oxygen-active species) ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง หรือที่เรียกว่า ออโตออกซิเดชัน (auto-oxidation) โดยภายหลังจากการที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวแล้ว ได้เป็นกลุ่มของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นต่างๆ เช่น ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และสารประกอบที่ระเหยได้ เป็นต้น ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน (Nawar, 1996; Frankel, 1998; Min, 1998)

1) ขั้นเริ่มต้น (initiation)

ในขั้นเริ่มต้นเป็นขั้นที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น อาจเกิดจากเกิดการสลายพันธะไฮโดรเจนที่พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันภายใต้สภาวะแรงต่างๆ เช่น โลหะ แสง ความร้อน ดังสมการ (1)



ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในขั้นนี้ คือ อนุมูลอิสระของกรดไขมัน ($L_1^\bullet$) ที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวในโครงสร้างและอยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียร โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ เพื่อดึงไฮโดรเจนอะตอม นอกจากนี้ยังพบว่า อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl, $^\bullet OH$) เป็นอนุมูลที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ในระดับสูง เมื่อกรดไขมันทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล และอนุมูลไฮโดรเปอร์ออกซิล (hydroperoxyl, $^\bullet OOH$) จะได้เป็น อนุมูลอัลคอกซิล (alkoxyl, $LO^\bullet$) และอนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl, $LOO^\bullet$) ซึ่งมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาสูง (Laguerre และ คณะ, 2007)

2) ขั้นปฏิกิริยาต่อเนื่อง (propagation)

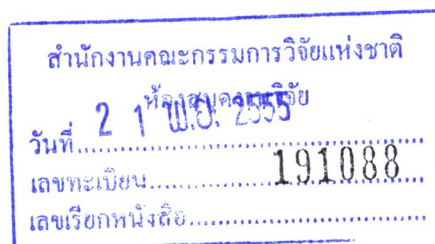
ในขั้นนี้ อนุมูลอิสระของกรดไขมัน ($L_1^\bullet$) ที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซิล ($L_1OO^\bullet$) (สมการ (2)) ซึ่งอนุมูลที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวอื่น โดยดึงไฮโดรเจนอะตอมออก เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (L_1OOH) และอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่ไม่คงตัว ($L_2^\bullet$) ดังสมการ (3) โดยจะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ



อย่างไรก็ตาม การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ในขั้นตอนนี้ ส่งผลให้กรดไขมันต้องจัดเรียงโครงสร้างพันธะคู่ใหม่ (double bond rearrangement) เพื่อให้ความเสถียรมากที่สุด ในรูป conjugated dienes และ trienes (Laguerre และ คณะ, 2007) นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นจนมีค่ามากที่สุด สามารถบ่งชี้ถึงการเข้าสู่ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุดซึ่งเป็นปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายของการออกซิเดชันของไขมันได้อีกด้วย (Frankel, 1998)

3) ขั้นสิ้นสุด (termination)

ปฏิกิริยาในขั้นนี้ อนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นอาจรวมตัวกันเองในรูปแบบต่างๆ กลายเป็นสารที่มีความคงตัว และทำให้ปฏิกิริยาลับดับลงตามสมการ (4)-(9) โดยทั่วไปแล้ว ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (secondary nonradical oxidation compounds) และยังพบว่า การสลายไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่พันธะคู่ใกล้หมู่ไฮดรอกซิล จะได้ผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิในกลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ และคีโตนที่ระเหยได้ เป็นต้น (Laguerre และ คณะ, 2007)

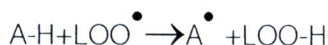


นอกจากนี้ อัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมัน กรดไขมันอิสระ ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ แสง พื้นที่ผิวสัมผัส ปริมาณเกลือความเป็นขี้ว ลักษณะทางกายภาพ (ของแข็ง ของเหลว หรืออิมัลชัน) สภาพการเกิดออกซิเดชัน ตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา (prooxidation) เอนไซม์ ความชื้น และสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (McClements และ Decker, 2000)

2.2.2 การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นนิยมใช้สารต้านออกซิเดชันชนิดต่างๆ โดยกลไกการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การป้องกันไขมันไม่ให้ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นในสภาวะเร่งต่างๆ และการชะลอปฏิกิริยาในขั้นปฏิกิริยาต่อเนื่อง (propagation) สารต้านออกซิเดชันที่สมบัตินี้สามารถต้านออกซิเดชันแบบแรก มีความสามารถในการป้องกันการเกิดอนุมูลที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาต่างๆ (reactive oxygen species, ROS) หรือ เป็นกลุ่มที่สามารถทำลายอนุมูลอิสระที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นเริ่มต้นได้ ซึ่งกลไกการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการคีเลตโลหะ ทำลาย singlet oxygen ยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอนุมูลที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรออกซิแดนซ์ เป็นต้น โดยมีรายงานว่า กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีสมบัติในการคีเลตโลหะที่ดี เนื่องจากมีโครงสร้างแบบ o-diphenolic ที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันจึงสูงมาก (Rice-Evans และคณะ, 1997) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งดังกล่าวของฟลาโวนอยด์จะส่งผลให้ความสามารถในการคีเลตโลหะลดลง แม้ว่าการยับยั้งการออกซิเดชันของไขมันผ่านกลไกนี้ เกิดขึ้นน้อยกว่าการทำลายอนุมูลที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาโดยตรง แต่ก็มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการทำลาย DNA (Sestili และคณะ, 1998; Van Acker และคณะ, 1998)

ส่วนสารต้านออกซิเดชันที่ทำลายปฏิกิริยาลูกโซ่ได้นั้น ต้องมีสมบัติให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลเปอร์ออกซิล ($\text{LOO}^\bullet$) และอนุมูลที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ($\text{A}^\bullet$) ต้องมีความเสถียร ไม่มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาอีก ดังสมการ



กลุ่มของสารต้านออกซิเดชัน ที่มีบทบาทสำคัญในการต้านออกซิเดชันผ่านกลไกชนิดนี้ ได้แก่ โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก เบต้า-แคโรทีน และสตีลบิน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารต้านออกซิเดชันแต่ละชนิด เช่นเดียวกับที่พบในกลุ่มที่สามารถทำลายอนุมูลอิสระได้ (Laguerre และ คณะ, 2007)

นอกเหนือจาก สารต้านออกซิเดชัน จะมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่ดีแล้ว สมบัติการเป็นสารโปร-ออกซิแดนซ์ ก็ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาเนื่องจาก ในสภาวะที่เหมาะสมบางประการ เช่น มีโลหะ มีออกซิเจนจำนวนมาก เป็นต้น สารต้านออกซิเดชันอาจมีสมบัติเป็นสารโปร-ออกซิแดนซ์หรือเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ดังเช่น การใช้ฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านออกซิเดชันโดยในสภาวะที่มีโลหะ Cu^{2+} เนื่องจาก โลหะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โปรตีน β -phycoerythrin ทำให้มีสมบัติเร่งการเกิดอนุมูล ไฮดรอกซิลได้ (Cao และคณะ, 1997) นอกจากนี้ ในสภาวะที่มีโลหะยังเหนี่ยวนำให้สารต้านออกซิเดชันหลายชนิดในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น เควอซีติน ไมริซิติน และ เคมฟารอล มี

สมบัติโปร-ออกซิแดนซ์ในระดับ DNA ได้ (Sahu และคณะ, 1993) ส่วนการใช้เบต้า-แคโรทีนมีรายงานว่า การเพิ่มปริมาณออกซิเจนสูงกว่า 150 ทอร์ (torr) ทำให้เบต้า-แคโรทีนสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชันและแสดงสมบัติเป็นสารโปร-ออกซิแดนซ์ อีกทั้ง อัตราการออกซิเดชันยังเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่ใช้อีกด้วย (Burton และ Ingold, 1984)

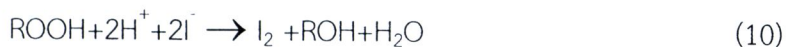
2.2.3 การวิเคราะห์การออกซิเดชันของไขมัน

การประเมินความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไขมัน ของสารต้านออกซิเดชันทั้งที่สังเคราะห์ขึ้นหรือได้จากธรรมชาติ สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลการทดลอง ที่ได้มีความน่าเชื่อถือได้ คือ วิธีการทดสอบนั้นต้องมีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันและแสดงถึงกลไกในการต้านออกซิเดชันที่แท้จริง โดยสามารถแบ่งแยกวิธีวิเคราะห์การออกซิเดชันของไขมันที่สารต้านออกซิเดชันเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันโดยตรง ออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ คือ วัดการลดลงของออกซิเจน วัดการลดลงของสารตั้งต้น วัดปริมาณผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิและวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิที่เกิดขึ้น (Laguerre และ คณะ, 2007)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยการวัดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งในขั้นปฐมภูมิและขั้นทุติยภูมิล้วนได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก พบการประยุกต์ใช้ทั้งในโมเดลทดสอบ อาหาร หรือแม้แต่ตัวอย่างทางชีวภาพ อีกทั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่มีสร้างผลิตภัณฑ์ทั้งสองกลุ่มขึ้นมา ยังพบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้อีกด้วย (Laguerre และ คณะ, 2007) โดยวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV)

การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นการวัดปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิ (primary oxidation products) ที่ได้จากการออกซิเดชันของไขมัน และวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง คือ iodometric assay โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเปอร์ออกไซด์กับไอโอไดต์ไอออน (iodide ion, I^-) ในสภาวะที่เป็นกรดได้เป็นไอโอดีน (I_2) ตามสมการที่ (10)-(11) จากนั้นนำไปไตเตรตหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยใช้สารละลายแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ดังสมการที่ (12) (Laguerre และ คณะ, 2007)



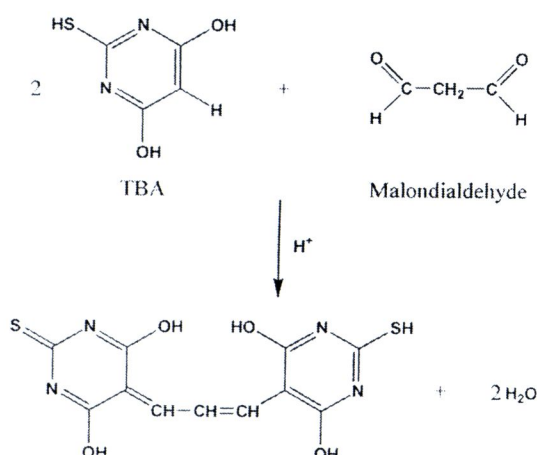
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV) แสดงถึง ปริมาณออกซิเจนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาที่พบในไขมัน 1 กรัม โดยปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะพบมากที่สุดในขั้นปฏิกิริยาต่อเนื่อง จากนั้นมีค่าลดลงจนกระทั่งเข้าสู่ขั้นสิ้นสุด ซึ่งพบว่า อัตราการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์มีค่าสูงกว่าอัตราการสร้างไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Laguerre และ คณะ, 2007) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อจำกัดในด้านสภาวะในการทดสอบ เนื่องจาก ไฮโดรเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง อีกทั้งในสภาวะที่มีแสงและออกซิเจนจะรบกวนการวิเคราะห์ ทำให้ปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นอาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงได้ (Frankel, 1998)

นอกจากนี้ ระบบการทดสอบที่มีสภาวะเป็นกรดจะเหมาะสมต่อการทดสอบน้ำมัน แต่ไม่

เหมาะกับระบบบัลลัน อาหาร หรือตัวอย่างทางชีวภาพที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการสกัดตัวอย่างหรือทำลายระบบอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อนำส่วนน้ำมันออกมาทดสอบ (Laguerre และ คณะ, 2007)

2) ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Thiobarbutyric acid reactive substances (TBARS)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS เป็นการหาปริมาณผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิที่ได้จากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ได้แก่ สารในกลุ่มอัลดีไฮด์ คีโตน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งสารในกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ (Gray, 1978; Hawrysh, 1990) การวิเคราะห์จะอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) กับกรดไทโอบาร์บิวริก (thiobarbutyric acid, TBA) ในสถานะที่เป็นกรด เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีชมพู เรียกว่า Thiobarbutyric acid reactive substances (TBARS) ที่สามารถวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร การต้านออกซิเดชันของไขมันเป็นผลจากกลไกหลายกลไกร่วมกัน เช่น การเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนอะตอมจากสารต้านออกซิเดชันไปยังอนุมูลเปอร์ออกซิล หรือ อัลคอกซิล เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมัน จากนั้นปฏิกิริยาระหว่าง MDA ที่เกิดขึ้นกับ TBA จะใช้ทดสอบปริมาณการออกซิเดชันของไขมัน (ภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) และกรดไทโอบาร์บิวริก (TBA)
ที่มา : Antolovich และ คณะ (2001)

ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน อาจแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (% antioxidant activity, AOA) หรือ เปอร์เซ็นต์ การยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% inhibition) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน เช่น BHT วิตามินเอ หรือ วิตามินซี เป็นต้น วิธีนี้นิยมใช้วัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจาก ไขมันเป็นชีวโมเลกุลที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (โอภา วัชรคุปต์, 2549) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ เป็นวิธีที่ไม่เฉพาะเจาะจงกับผลผลิตทั้งหมดที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน อีกทั้ง กรดไทโอบาร์บิวริกยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน น้ำตาล เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีได้เช่นเดียวกัน (Antolovich และ คณะ,

2001) จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ให้มีเจาะจงมากยิ่งขึ้น โดยวิเคราะห์ร่วมกับการวัดแสงฟลูออเรสเซนส์ หรือ เครื่อง LC-MS

3) ค่า p -Anisidine (p -Anisidine Value, p -AV)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิ (secondary oxidation products) อีกวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยาม คือ การหาค่า p -Anisidine (p -AV) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลของอัลดีไฮด์กับหมู่เอมีนของ p -Anisidine สามารถติดตามการเกิด Schiff base ได้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไปที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์สารประกอบอัลดีไฮด์ที่ไม่ระเหยในกลุ่ม 2- อัลคีนัล และ 2,4 แอลคาไดอีนัล (Shahidi และ Wanasundara, 2007) รวมถึงยังเป็นการวัดปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ทั้งหมด เนื่องจากการทำปฏิกิริยาโครงสร้างของหมู่อัลดีไฮด์โดยตรง สามารถเรียงลำดับความจำเพาะของ p -Anisidine กับโครงสร้างของอัลดีไฮด์จากมากไปน้อยได้ ดังนี้ อัลดีไฮด์ที่มีพันธะคู่ 2 คู่, อัลดีไฮด์ที่มีพันธะคู่ 1 คู่และอัลดีไฮด์อิ่มตัว (Laguerre และ คณะ, 2007) นอกจากนี้ ค่า p -AV ยังมีความสัมพันธ์กันดีกับปริมาณออกซิเดชันทั้งหมด (Totox V) อีกด้วย

อย่างไรก็ดี ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ สารประกอบฟีนอลบางชนิดอาจรบกวนการวิเคราะห์ได้ เช่น decarboxymethyl oleuropein dialdehyde ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะกอก

2.2.4 การเกิดออกซิเดชันของไขมันในระบบอิมัลชัน

ถึงแม้ว่า ระบบอิมัลชันจะมีหลายชนิดทั้งประเภทน้ำในน้ำมัน (W/O) และ น้ำในน้ำมัน (W/O) แต่การเกิดออกซิเดชันของไขมันในระบบอิมัลชันก็มีความคล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสทั้งสอง ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากสารต้านออกซิเดชัน สารโปร-ออกซิแดนซ์ และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะสะสมอยู่ที่บริเวณดังกล่าว ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงสมบัติของพื้นที่ผิวสัมผัสดังกล่าว เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์และความเข้มข้นที่ใช้ ขนาดของอนุภาค อุณหภูมิ การใช้สารเพิ่มคงตัวจากโปรตีน กรดอะมิโน หรือ โพลีแซคคาไรด์ เป็นต้น ล้วนส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันทั้งสิ้น (McClements และ Decker, 2000) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า อัตราการออกซิเดชันของอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมัน (W/O) มีค่าใกล้เคียงกับการออกซิเดชันของน้ำมันมาก เนื่องมาจากน้ำมันในอิมัลชันเป็นส่วนที่สัมผัสกับอากาศโดยตรง (Fritsch, 1994)

สำหรับกลไกที่สำคัญของการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ เกิดขึ้นจากสารโปร-ออกซิแดนซ์ เช่น โลหะ ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งนำไปสู่การเกิดอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิล (peroxyl radical) และ อัลออกซิล (alkoxyl radical) จากนั้น อนุมูลอิสระเหล่านี้จะเร่งการตัดโมเลกุลของไขมัน ส่งผลให้เกิดสารระเหยที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ (Nawar, 1996) ดังนั้น การเติมสารต้านออกซิเดชันที่สามารถทำลายอนุมูลอิสระ จึงเป็นกลไกที่สำคัญและมีประสิทธิภาพสูงในการรบกวนหรือยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระในขั้นปฏิกิริยาต่อเนื่อง ซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร (Halliwell, 1990)

นอกจากนี้ สารต้านออกซิเดชันยังมีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันเป็นไปตามทฤษฎี antioxidant polar paradox hypothesis ที่ได้กล่าวไว้ว่า ประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการแบ่งส่วน (partition behavior) ในอาหาร โดยสารต้านออกซิเดชันประเภทที่ชอบน้ำ

(hydrophilic antioxidant) จะมีประสิทธิภาพดี เมื่อใช้น้ำมันมากกว่าการใช้สารต้านออกซิเดชันประเภทที่ชอบน้ำมัน (lipophilic antioxidant) ซึ่งประสิทธิภาพดังกล่าวเป็นผลพวง เนื่องมาจาก สารต้านออกซิเดชันที่รวมตัวในตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะป้องกันการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวในระบบอิมัลชันได้ดีกว่า (Frankel, 1996)

2.3 การประยุกต์ใช้สารสกัดจากพืชเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

อุตสาหกรรมอาหาร ได้หันมาสนใจประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชันธรรมชาติที่พบในอาหาร ซึ่งสารสกัดจากพืชนั้นมีสมบัติที่ดีในการต้านอนุมูลอิสระ และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เนื่องจากประกอบด้วยสารพฤกษเคมีต่างๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น อีกทั้งกระแสการบริโภคในปัจจุบัน ไม่นิยมการใช้สารกันเสีย สารกันหืน หรือสารเติมแต่งอาหารที่สังเคราะห์ขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้พืชหรือสารสกัดจากพืชในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยพืชทั้ง 10 ชนิดที่ใช้การศึกษานี้ มีข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับชื่อและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ รวมถึง สรรพคุณและการใช้ประโยชน์ ตามรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 ราชวटीปา (Buddleia asiatica Lour วงศ์ BUDDLEJACEAE)

ราชวटीปาเป็นยากลางบ้าน โดยใช้ทั้งต้นแก่โรคมวิหน่ง ขับระดู และทำให้แท้ง ส่วนชาวเขาเผ่าต่างๆ เช่น ปะหล่อง กะเหรี่ยง ม้ง อีเก้อ และมุเซอ ใช้ส่วนต่างๆของแก่โรคมวิหน่ง ผดผื่นคัน แก้เชื้อราตามตัว นอกจากนี้ ในประเทศฟิลิปปินส์และเวียดนาม ก็ใช้ราชวटीปาในการ แก้โรคมวิหน่งเช่นเดียวกัน ส่วนจีนใช้รากแห้งแก่โรคมวิหน่ง รพม่าใช้ต้มน้ำดื่มเป็นยาบำรุงกำลัง (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ก)

Lemmens และ Bunyapraphatsara (2003) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคหลอดลมและปอด โดยมีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ β -caryophyllene eposide, citaonellol และ β -caryophyllene เป็นต้น

2.3.2 ตั้วเกลี้ยง (Cratoxylum cochinchinense (Lour.) Blume วงศ์ CLUSIACEAE)

โดยทั่วไป กินยอดและใบอ่อนของตั้วเกลี้ยงเป็นผัก นอกจากนี้ ยังใช้ใบบดผสมกับน้ำมันมะพร้าวแก้โรคมวิหน่งได้อีกด้วย ส่วนชาวเขากินยอดอ่อนเป็นผักสด ผักจิ้ม หรือปรุงเป็นแกงต่างๆ เผ่ามุเซอใช้รากต้มน้ำดื่มเป็นยาบำรุงกำลัง แก้อ่อนเพลีย แก่ภาวะโลหิตจาง ซีดผอม (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ก)

แซนโทน เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มักพบในส่วนต่างๆ ของตั้วเกลี้ยง เช่น ในเปลือกพบบแซนโทนและไตรเทอร์พีนอยด์ (Hao Dieu Nguyen และ Harrison, 1998) ส่วนรากประกอบด้วยแซนโทนและอนุพันธ์ คือ cochinchinones A-D (Mahabusarakam และ คณะ, 2006) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

2.3.3 ส้มกุ่ม (Embelia sessiliflora Kurtz วงศ์ MYRSINACEAE)

ชาวเขาแทบทุกเผ่ากินผลสุกและใช้ยอดอ่อน ดอกอ่อน และใบอ่อน กินเป็นผักสดหรือปรุงใส่แกง ปะหล่องใช้น้ำจากลำต้นหยอดตาแก้ตาแดง ม้งใช้รากต้มน้ำดื่ม แก้ท้องเสีย จีนฮ่อใช้ใบอ่อนคั่วกับเหล้าขง



เป็นชาติภูมิบำรุงกำลัง ภูเขาใช้รากต้มน้ำดื่มเป็นยาเร่งน้ำนมสำหรับสตรีคลอดบุตร แต่ยังไม่พบรายงานวิจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ก)

2.3.4 ตะไคร้ตัน (*Litsea cubeba* Pers. วงศ์ LAURACEAE)

ตะไคร้ตันเป็นยากลางบ้าน โดยใช้รากแก้ขัดเบา แก้ปัสสาวะพิการ ขับลมในลำไส้ ส่วนชาวเขาทุกเผ่า ใช้ผลดิบเป็นเครื่องเทศ ดองน้ำปลาหรือน้ำเกลือกินเป็นกับแกล้ม หรือใส่ในแกง จีนฮ่อใช้กิ่งต้มน้ำอาบและดื่มแก้โรคเกี่ยวกับมดลูก ในอินโดนีเซียใช้ผลดิบกินเป็นเครื่องเคียงและ ใช้แทนพริกหาง (*Piper cubeba*) เวียดนามผสมดอกในชาเพื่อให้มีกลิ่นหอม จีน ญี่ปุ่นและไต้หวันสกัดน้ำมันหอมระเหยมาใช้ทำน้ำหอมและเครื่องหอม (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ข)

น้ำมันหอมระเหยของตะไคร้ตันมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นคล้ายส้มสด หรือ มะนาวสด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ซิตรัล (citral) และพลิมอนีน อัลฟา-ไพเนน (α -pinene) เบตา-ไพเนน (β -pinene) methyl-heptenone และ linalool เป็นต้น (Oyen และ Dung, 1999)

Hwang และ คณะ (2005) รายงานว่า สารสกัดเมทานอลจากเปลือกของตะไคร้ตัน มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้สูงกว่ากรดแอสคอร์บิก และ α -tocopherol อีกทั้งยังสามารถทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดี นอกจากนี้ สารสกัดจากเปลือกตะไคร้ตันยังมีฤทธิ์ต้านการอักเสบอีกด้วย (Choi และ Hwang, 2004)

2.3.5 หมีเหม็น (*Litsea glutinosa* (Lour.) C.B. Rob. วงศ์ LAURACEAE)

หมีเหม็นเป็นยากลางบ้าน โดยใช้รากแก้ปวดกล้ามเนื้อ เปลือกลำต้นแก้ท้องเสีย ภูมิแพ้ หิด ใบตำพอกแก้ฝี ส่วนชาวเขาแทบทุกเผ่าใช้ผลดิบเป็นเครื่องเทศ นำเปลือกและใบมาตำพอกบริเวณที่ปวดกระดูกหรือแก้กระดูกหัก กระเทียมและมูเซอใช้เปลือกและใบตำพอกหรือต้มน้ำอาบ แก้แผลพุพอง ขจัดเชื้อราตามร่างกาย รวมถึง เห็บและเหา (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ข)

น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกหมีเหม็น มีฤทธิ์ต้านเชื้อรา และแบคทีเรียบางชนิด โดยองค์ประกอบสำคัญที่พบในเปลือกและยางจากลำต้น ได้แก่ แอลคาลอยด์หลายชนิด เช่น laurelliptine, laurotetanine, irriodenene และ litseferine เป็นต้น (นันทวัน บุญยะประภัศร และ คณะ, 2543ข; ก่องกานดา ชยามฤต, 2540) นอกจากนี้ เปลือกของหมีเหม็น ยังให้ผลบวกในการทดสอบเบื้องต้นของสารในกลุ่มต่างๆ ได้แก่ สเตอรอยด์ ไตรเทอร์พีนอยด์ ซาโปนิน และแทนนิน (Mandal และ คณะ, 2000)

2.3.6 ผักสมุย (*Micromelum minutum* Wight & Arn วงศ์ RUTACEAE)

โดยทั่วไป กินยอดอ่อนเป็นผักสดหรือเครื่องเคียง และสามารถใช้เป็นยากลางบ้านเพื่อ ขับเลือดลม บำรุงธาตุ แก้นอนใน ส่วนชาวเขาโดยทั่วไปใช้ยอดอ่อนและใบอ่อน กินเป็นผักสดหรือผักจิ้ม กระเทียมไทยใหญ่ และพม่าใช้รากต้มน้ำดื่มแก้ท้องเสีย ท้องเดิน และใช้รากผสมใบต้มน้ำดื่มเป็นยาแก้ไข้ ปะหล่องใช้ทุกส่วนของต้นต้มน้ำอาบสำหรับผู้สูงอายุ ในมาเลเซียใช้ใบ ตำพอกแก้ผื่นคันและโรคผิวหนัง ในฟิลิปปินส์ใช้ใบและรากเป็นยาแก้ไข้ ส่วนฟิลิปปินส์และเปลือกในการแก้ไข้ ล้นแตก เจ็บลิ้น ปากอักเสบด้วยเชื้อรา ปวดหัว ปวดท้อง ใช้ใบต้มน้ำดื่มเป็นยาบำรุงเสริมสุขภาพ (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ข)

ในผักสมุย มีสาร micromilin และ microminutin ที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด P-388 lymphocytic leukemia (van Valkenburg และ Bunyaprapatsara, 2001) นอกจากนี้ ผักสมุยยังมีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ คูมารินอย่างน้อย 12 ชนิด เช่น micromarin A, B, C, F, G และ H, murrangatin, osthol และ murralongin เป็นต้น รวมทั้งสารอื่นๆ เช่น เบตา-ซิโตสเตอรอล hentriacontane, imperatorin, limettin และ melin A เป็นต้น (นันทวัน บุญยะประสงค์ และ คณะ, 2543 ข) ส่วน Sohrab และ คณะ (2004) รายงานว่า สามารถแยก 5,7-dihydroxy-3,4',6,8'-tetramethoxyflavone และ อนุพันธ์ของกรดไดไฮโดรซินนามิก (dihydrocinnamic acid) จากผักสมุยในประเทศไทย รวมถึง ยังพบรายงานการแยกแอลคาลอยด์จากใบ คือ 2',2'-dimethyl-pyrano-(5',6',-3,4)-2-quinolone ในใบผักสมุยด้วยเทคนิคThin layer chromatography (วิศรา วัยศิริโรจน์, 2523) และคาร์บาโซล แอลคาลอยด์ (carbazole alkaloid) ในกิ่งผักสมุยด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี (Nakahara และ คณะ, 2002) ตลอดจน การแยกสเตอรอล (sterol) จากเปลือกต้นของผักสมุยอีกด้วย (วิมล ตันติไชยากุล, 2528)

2.3.7 ผักฮั่นน้ำ (*Mosia dianthera* (Buch-Ham. ex Roxb.) Maxim. วงศ์ LABIATAE)

โดยทั่วไป ใ้ยอดอ่อนเป็นเครื่องเทศใส่ในแกงต่างๆ ส่วนชาวเขาแทบทุกเผ่าใ้ยอดอ่อนเป็นเครื่องเทศเช่นเดียวกัน ปะหล่องใช้ทั้งต้นต้มอาบให้เด็กที่หายไข้ใหม่ๆ เพื่อช่วยฟื้นไข้ ส่วนกะเหรี่ยง ใส่ใบตากแห้งลงในข้าวเปลือกเพื่อป้องกันเชื้อรา ในประเทศจีนใช้น้ำต้มจากทั้งต้นเป็นยาทาแก้โรคผิวหนังบางชนิด หรือ ต้มเป็นยาแก้ลมและแก้ปวดศีรษะ แต่ยังไม่พบรายงานวิจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ข)

2.3.8 ผักไผ่ (*Persicaria odorata* (Lour.) Soja'k วงศ์ POLYGONACEAE)

โดยทั่วไป กินยอด ใบ และลำต้นเป็นผักสด ผักจิ้ม เครื่องเคียง ตลอดจนใช้เป็นเครื่องเทศในแกงต่างๆ และเป็นยากลางบ้าน โดยใช้ใบตำหรือคั้นน้ำผสมเหล้าโรงทาแก้ผื่นคัน ใบใช้ขับลม แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ ส่วนชาวเขาแทบทุกเผ่ากินทั้งต้นเป็นผักสด ผักจิ้ม หรือใช้เป็นเครื่องเทศเช่นเดียวกัน ในประเทศเวียดนามใช้เป็นเครื่องเคียงในอาหารต่างๆ สามารถใช้ใบแก้อาเจียน หรือคั้นน้ำทาแก้กลาก และแผลเปื่อย หรือต้มแก้พิษงูกัด (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551ข)

น้ำมันหอมระเหยของผักไผ่ มีสารในกลุ่มอัลเคนแอลดีไฮด์ (alkane aldehydes) เป็นองค์ประกอบสำคัญ ทำให้มีกลิ่นและรสคล้ายกลิ่นของใบมะนาว ผักชี และผักกาดหัวผสมกัน นอกจากนี้ นวลศรี รักจริยะธรรม และ อัญญา เจนวิถีสุข (2546) รายงานว่า พบสารต้านออกซิเดชันในผักไผ่หลายชนิด เช่น เบตา-แคโรทีน แซนโทฟิลล์ วิตามินซี วิตามินอี แทนนิน และสารประกอบฟีนอลิก แต่จัดเป็นพืชที่มีดัชนีแอนติออกซิแดนซ์ต่ำ คือ 3.68 และยังไม่พบรายงานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

2.3.9 ทะโล้ (*Schima wallichii* (D.C.) Korth. วงศ์ THEACEAE)

ทะโล้ เป็นยากลางบ้าน โดยใช้ดอกแห้งชงน้ำแทนชาให้สตรีหรือสตรีหลังคลอดดื่มแก้โรคเกี่ยวกับมดลูก แก้โรคขัดเบา ใช้เปลือกตำพอกแผล นอกจากนี้ยังพบว่า เปลือกทะโล้ใช้เบื่อปลาและกำจัดเหา

ส่วนชาวเขาเผ่าจีนฮ่อใช้ใบอ่อนตากแห้งชงแทนชา ช่วยทำให้ชุ่มคอ แก้กระหายน้ำ กะเหรี่ยงใช้ยอดอ่อนแช่น้ำ ต้มแก้อาการปวดเมื่อย เนื่องจากอาการไข้ ใช้เปลือกลำต้นคั้นน้ำดื่ม แก้ไอ แก้ไข้ ปะหล่องใช้ยอดอ่อนคลุกเกลือ กินเป็นยาแก้ปวดท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ ส่วนมังและเฝ้ายาใช้ใบอมหรือเคี้ยวกินเป็นยาแก้ปวดฟัน แก้แผลในปาก เหงือกเป็นหนอง ต้มน้ำดื่มแก้อาการปวดภายในร่างกาย แก้ท้องร่วง ท้องเดิน และม้ามโต ในหลายประเทศใช้ ดอกเป็นยากลางบ้าน แก้ปัสสาวะผิดปกติ ปัสสาวะติดขัด และมดลูกอักเสบ (สุธรรม อารีกุล และ คณะ, 2551 ค)

สารสกัดหยาบจากใบและผลของทะเล่ ประกอบด้วย ซาโปนินที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Epidermophyton floccosum*, *Crosporum gypseum* และ *Trichophyton mentagrophytes* (พรพิพัฒน์ ณ พัทลุง และ คณะ, 2529) ส่วนดอกทะเล่มีรายงานพบว่าพบแทนนิน คือ schimawalin A และ B (Yoshida และ คณะ, 1991) แต่ยังไม่พบรายงานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

ส่วนหญ้าเอ็นเสื่อยังไม่พบการรายงานการใช้ประโยชน์ รวมถึงข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ต่างๆ ทั้งในด้านของชื่อวิทยาศาสตร์ ลักษณะของพืช รวมไปถึงฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

2.3.10 การประยุกต์ใช้สารสกัดจากพืชเพื่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในอิมัลชัน

พืชประกอบด้วยสารพฤกษเคมีต่างๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น สารเหล่านี้มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ low density lipoprotein, การลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ หรือมีสมบัติการเป็นสารต้านมะเร็ง (William และ Elliot, 1997; Dillard และ German, 2000) นอกจากความสำคัญในแง่ต่อสุขภาพแล้ว นักวิทยาศาสตร์การอาหารยังให้ความสำคัญต่อการนำพืช และสารสกัดจากพืชเหล่านี้มาใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในธรรมชาติ เพื่อยับยั้งและชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และสารอาหารอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การใช้สารสกัดจากต้น ajowan (*Carum copticum*) ในน้ำมันมะหุง (Bera และคณะ, 2006) การใช้สารสกัดจากพืชท้องถิ่นต่างๆ ในน้ำมันตับปลา (Borneo และคณะ, 2009) ได้ศึกษาพืชสมุนไพรที่ใช้รักษาโรค และการใช้สารสกัดจากใบโหระพาในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในหมูปดที่ผ่านการปรุงสุก (Juntachote และคณะ, 2006) เป็นต้น อีกทั้งกระแสการบริโภคในปัจจุบัน นิยมการใช้สารกันเสีย สารกันหืน หรือสารเติมแต่งอาหาร ที่ได้จากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อลดความเสี่ยงต่อการสะสมของสารพิษ หรือสารเมตาบอไลต์จากสารสังเคราะห์ อันอาจก่อให้เกิดต่อโรคต่างๆ ดังนั้น การนำพืช หรือสารสกัดจากพืชมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจึงมีแนวโน้มความเป็นไปได้สูง

สารประกอบฟีนอลิก เช่น กรดแกลลิก คาพิซิน และเคอซีติน สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอิมัลชันของน้ำมันมะกอกในน้ำได้ และสารประกอบฟีนอลิกทั้ง 3 ชนิดยังแสดงสมบัติการต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับความเร็วและความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารประกอบแต่ละชนิด ดังนั้น นอกเหนือจากมีตัวของสารประกอบฟีนอลิกแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่ทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีประสิทธิภาพในการต้านการหืนในอิมัลชันที่แตกต่างกัน (Di Mattia และคณะ, 2009)

สารสกัดจากน้ำของดอกเก็กฮวยเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันในอิมัลชันของน้ำมันถั่วเหลืองทั้งประเภทน้ำในน้ำมัน และน้ำมันในน้ำได้ดีกว่าโทโคฟีรอล (tocopherol) และ BHA ที่ความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังไม่พบการเสริมฤทธิ์ระหว่าง สารสกัดของดอกเก็กฮวยทั้ง

4 ชนิด กับ TBHQ (Duh, 1999) นอกจากนี้ Abdalla และ Roozen (1999) ยังรายงานการใช้สารสกัดจากเครื่องเทศหลายชนิด เช่น เลมอนบาร์ม (lemon balm), ออริกาโน (oregano) เสท (sage) และไทม์ (thyme) เป็นต้น ในการยับยั้งออกซิเดชันของอิมัลชันของน้ำมันดอกทานตะวันในน้ำ โดยพบว่า สารสกัดเสทเข้มข้น 600 และ 1,200 พีพีเอ็มมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิด conjugated diene และสารระเหย เทียบเท่า BHT เข้มข้น 300 พีพีเอ็ม และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า สารสกัดของพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการยับยั้งที่แตกต่างกัน เช่น สารสกัดจากออริกาโนจะมีประสิทธิภาพในน้ำมันมากกว่าอิมัลชัน

สารสกัดจากเมล็ดแบล็คเคอร์เร็น และโรสแมรีในการยับยั้งการหืนของน้ำมันจากเมล็ดสะทู่ พบว่าสามารถยืดระยะเวลาในการหืนได้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการยับยั้งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารประกอบ โดย แอลฟา-โทโคฟีลอลจะไม่มีประสิทธิภาพในน้ำมัน และอิมัลชันของน้ำมันสะทู่ แต่จะให้ผลดีในการยับยั้งการหืนของไตรกลีเซอไรด์ (Samotyja และ Malecka, 2007) นอกจากนี้การเสริมฤทธิ์ของความสามารถในการต้านการออกซิเดชันของอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ อาจทำได้ด้วยการเติม bovine serum albumin ร่วมกับการใช้คาทิซินจากชาทำให้สามารถชะลอการเกิดเปอร์ออกไซด์และ เฮกซานอลได้ (Almajano และ คณะ, 2007)

จากแนวโน้มของผู้บริโภคในปัจจุบัน ที่ต้องการลดปริมาณการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ ทำให้นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจในการศึกษาการใช้สารจากธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น การนำองค์ความรู้ที่มีอยู่ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาสถิตภัณฑ์ เช่น การใช้ประโยชน์จากความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและรงควัตถุ ลดการเหม็นหืนในอาหารและการเปลี่ยนแปลงสี ทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น ดังนั้น การใช้สารกันหืนตามธรรมชาติ สามารถทดแทนการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังเป็นการต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันอีกด้วย