บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หม่อน (Mulberry)

ภาพ 2.1 ผลหม่อน
ที่มา : Russell (2009)

หม่อน (mulberry) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ *Moraceae* ตระกูล *Morus spp.* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเขตหนาว จัดเป็นไม้ผลในประเภทไม้เนื้อแข็ง คือ ใบจะร่วง ในฤดูใบไม้ร่วง และมีการพักตัวในฤดูหนาว ผลหม่อนไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มของ berry fruit แต่จัดอยู่ในกลุ่มของ ผลรวม (collective fruit หรือ inflorescent fruit) ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากช่อดอกทั้งช่อรวมกันเป็นผลเดียวกัน แต่สามารถมองเห็นเป็นผลเล็กๆ แยกกันอยู่บนแกนของช่อผล (ภาพ 2.1) โดยการพัฒนาการของผลหม่อนจะเริ่มจากดอกหม่อนจะแตกออกมาพร้อมกับใบ จะบานหลังจากแตกช่อใบพร้อมช่อดอกประมาณ 8-12 วัน ดอกที่บานเต็มที่ยอดเกสรตัวเมียจะมีลักษณะสีขาวใส เมื่อได้รับการผสมเกสรจะเปลี่ยนสีเป็นสีเทาภายใน 3 วัน จากนั้นจะมีการพัฒนาการของผลโดยสีของผลจะเริ่มจากสีเขียว ขาว ชมพู แดง และสีดำ รวมระยะเวลาหลังจากดอกบานประมาณ 40-45 วัน ผลจะเริ่มสุก และแก่ ลักษณะผลหม่อนจะอวบน้ำ และประกอบไปด้วยน้ำหวานเมื่อผลแก่เต็มที่ จากนั้นผลจะเริ่มนิ่มลงโดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 65 กรัมต่อลิตร แต่ปริมาณกรดจะลดลงตามระยะเวลาการสุก (วสันต์, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1 สายพันธุ์หม่อน

พันธุ์หม่อนที่พบอยู่ทั่วโลกมีหลายสายพันธุ์ มีแหล่งกำเนิดกระจายกว้างขวางมาก ส่วนใหญ่เป็นการปลูกเพื่อนำใบไปเลี้ยงไหม แต่มีอีกหลายพันธุ์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การรับประทานผล การนำไปเป็นต้นไม้สำหรับบังลม ปลูกไว้เพื่อใช้สำหรับเป็นอาหารของนก การปลูกเป็นไม้ประดับริมถนนหนทาง ได้มีการจำแนกพันธุ์หม่อนระดับ species เริ่มตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1753 เมื่อ Linneaus ได้จำแนกพันธุ์หม่อน ออกเป็น 5 species ได้แก่ *M. alba* L., *M. nigra* L., *M. rubra* L., *M. tartarica* L. และ *M. indica* L. จนถึงปี ค.ศ.1917 Koidzumi ได้จำแนกพันธุ์หม่อนออกเป็น 24 species และ 1 subspecies และต่อมานักพฤกษศาสตร์ชาวญี่ปุ่น ชื่อ Horita ได้จำแนกพันธุ์หม่อนออกเป็น 35 species (วสันต์, 2545; สุรินทร์, 2548)

2.1.2 พันธุ์หม่อนรับประทานผลที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์หม่อนที่ใช้ปลูกเพื่อเก็บผลผลิตผลหม่อน หรือเก็บผลผลิตใบหม่อนแล้วเก็บผลผลิตผลหม่อนเป็นผลพลอยได้ คือ

1. หม่อนรับประทานผลสายพันธุ์เชียงใหม่ พบว่ามีปลูกในภาคเหนือนานหลายสิบปี ขณะนี้มีการปลูกกระจายทั่วไปทางภาคเหนือตอนบน และในหมู่บ้านชาวไทยภูเขาในเขตภูเขาสูงของภาคเหนือ ต้นหม่อนจะให้ผลผลิตผลหม่อน ประมาณ 600 -700 กิโลกรัม ต่อไร่ ปี

2. พันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์หม่อนที่ปรับปรุงขึ้น โดยใช้หม่อนพื้นเมืองของไทยผสมกับหม่อนพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ คือพันธุ์ จีนเบอร์ 44 ให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ 3,500 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อปี และคาดว่าจะให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 500 กิโลกรัม ต่อไร่ปี

3. พันธุ์ศรีสะเกษ 33 เป็นหม่อนลูกผสมเปิดของหม่อนพันธุ์ Jing Mulberry จากประเทศจีน มีคุณลักษณะต้านทานต่อโรคใบด่างได้ดีกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ มีผลค่อนข้างใหญ่ สามารถนำผลมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดี และให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ ปีละ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

4. หม่อนป่า เป็นพันธุ์หม่อนที่ยังไม่มีการศึกษาในด้านจำแนกพันธุ์ พบว่ามีขึ้นอยู่กระจายทั่วไปทั้งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ เจริญเติบโตได้ที่ในที่ที่มีความชื้นสูง (วสันต์, 2545; สุรินทร์, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 การเก็บเกี่ยวผลหม่อน

การเก็บเกี่ยวผลนับเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกิจกรรมภายในสวน ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการการเก็บรักษาผล การขนส่ง และการตลาด เนื่องจากผลหม่อนมีขนาดผลเล็ก และมีระยะเวลาสุกของผลไม่พร้อมกันหมดทั้งต้น และจะต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตเป็นระยะเวลานานเป็นเดือน อีกทั้งผลหม่อนเป็นผลไม้ที่บอบช้ำได้ง่าย ดังนั้นวิธีการเก็บเกี่ยวผลหม่อนจึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง จึงขอแนะนำวิธีการเก็บเกี่ยว ดังนี้

1. การเก็บเกี่ยวผลเพื่อรับประทานผลสด เมื่อผลหม่อนเริ่มเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีแดงดำหรือสีดำ ก็เก็บผลได้โดยการใช้มือเก็บทีละลูก เนื่องจากผลหม่อนสุกไม่พร้อมกัน หากปล่อยทิ้งไว้จนผลเปลี่ยนเป็นสีดำคล้ำ ผลจะร่วงลงสู่พื้นดินทำให้เก็บเกี่ยวผลผลิตได้น้อย หลังจากเก็บผลหม่อนมาแล้วนำมาบรรจุในกล่องกระดาษโดยเรียงเป็นชั้นๆ ไม่เกิน 2 ชั้น ทำการปิดกล่องเพื่อรอการขนส่ง และจำหน่ายต่อไป หากไม่สามารถขนส่งได้ทันทีควรเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2. การเก็บเกี่ยวเพื่อการแปรรูป หากต้องการนำไปทำน้ำผลหม่อนที่มีสีแดงก็เลือกเก็บเกี่ยวในระยะผลแดง แต่หากต้องการให้น้ำผลไม้มีสีคล้ำก็เก็บผลในระยะสีดำ สามารถนำผลหม่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทันที หากไม่สามารถแปรรูปได้ทันที ควรเก็บรักษาไว้โดยบรรจุในถุงพลาสติก หรือ ตะกร้าผลไม้ ในห้องแช่แข็งที่มีอุณหภูมิ –14 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 6 เดือน (วสันต์, 2545; สุวรัตนา, 2548)

2.1.4 การแปรรูปผลหม่อน

ผลหม่อนมีคุณค่าทางอาหารหลายอย่างต่อร่างกาย ดังแสดงในตาราง 2.1 นอกจากการรับประทานผลสดแล้ว สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด อาทิ น้ำหม่อน ไวน์หม่อน เยลลี่หม่อน แยมหม่อน หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งในประเทศออสเตรเลียมีการทำไวน์หม่อนเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว นอกจากนั้น ในประเทศสหรัฐอเมริกายังมีการนำไปทำไวน์เช่นกัน และพบว่าไวน์หม่อนที่ได้ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไวน์ที่ทำมาจากผลองุ่น หรือในหลายประเทศมีการแปรรูปเป็นน้ำผลไม้ ดังนั้นเกษตรกรที่มีอาชีพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมซึ่งปลูกหม่อนที่ให้ผลผลิตใบและผลสูง ทำให้สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่ครอบครัวในการนำมาทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เพื่อเป็นการเสริมรายได้อีกทางหนึ่ง (วสันต์, 2545; สุรินทร์, 2548; สุวรัตนา, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ข้อมูลทางโภชนาการของผลหม่อนสุก (สีม่วงดำ) ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม

ส่วนประกอบ	หน่วย	ปริมาณ/100 g ผลหม่อนแห้ง
Macronutrients		
protein	g	1.68
carbohydrates	g	21.35
fiber	g	2.03
total fat	g	0.47
Micronutrients		
calcium	mg	0.21
iron	mg	0.42
phosphorus	mg	0.07
vitamin A	IU	25.00
vitamin C	mg	4.16
vitamin B1	mg	50.65
vitamin B2	mg	3.66
vitamin B6	mg	930.10

ที่มา: วสันต์ (2545)

2.2 น้ำส้มสายชู (Vinegar)

น้ำส้มสายชู (vinegar) หรือกรดอะซิติก (acetic acid) เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ผลิตขึ้นมาจากกระบวนการหมัก โดยนิยมนำมาบริโภคเป็นเครื่องปรุงรสอาหาร หรือนำมาทำเป็นเครื่องดื่ม ซึ่งวัตถุดิบที่มักจะนำมาใช้ในการหมักนั้นมีมากมายหลายชนิด เช่น ผลไม้ต่างๆ ผักที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ธัญพืช วัตถุดิบพวกน้ำตาล หรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ และไซเดอร์ การผลิตกรดอะซิติกสามารถผลิตได้ทั้งวิธีการทางเคมี และวิธีการหมัก ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารหมักจะใช้วิธีการหมักในการผลิต โดยการผลิตกรดอะซิติกนั้นมีกลไกที่เกิดขึ้นในการหมัก 2 ขั้นตอนคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ และใช้เชื้อยีสต์ในสกุล *Saccharomyces cerevisiae* โดยยีสต์จะทำการใช้ และเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้ได้ออกมาเป็นแอลกอฮอล์

2. การหมักให้เป็นกรดอะซิติก ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดได้หลายชนิด เช่นแบคทีเรียในจีนัส *Gluconobacter* และ *Acetobacter* มาทำการหมักในสภาวะที่มีอากาศ เชื้อที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตได้แก่ *A. aceti, A. pasteurianus* และ *G. oxydans* ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอะซิติกได้สูง และทนกรดได้ดี แต่ตายได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนหรือแอลกอฮอล์ โดยเชื้อจะทำการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ที่ได้จากขั้นที่หนึ่งจนกลายเป็นกรดอะซิติกออกมา (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532; สมใจ, 2547)

กระบวนการผลิตกรดอะซิติกสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบดังนี้

1. Surface process แบ่งได้เป็นอีก 2 วิธีย่อยคือ

1.1 Slow process (Orleans process) ซึ่งเป็นกระบวนการหมักแบบดั้งเดิม ทำโดยการนำไวน์บรรจุในถังบาร์เรล แล้วตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสอากาศ ทำให้จุลินทรีย์เจริญบนผิวหน้าของไวน์ ซึ่งจะใช้เวลาในการหมักนาน 1-3 เดือน และได้กรดอะซิติกที่มีกลิ่นรสดี แต่ในปัจจุบันไม่นิยมผลิตในระดับอุตสาหกรรม

1.2 Quick process (German process) เป็นกระบวนการหมักที่ ในถังหมัก จะบรรจุด้วยตัวกลาง เช่น ขี้เลื่อย เพื่อเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย โดยจะมีการสเปรย์อาหารลงทางด้านบนของถังหมัก ปล่อยให้ไหลหยดผ่านตัวกลางลงมาด้านล่าง ในระหว่างนี้แบคทีเรียที่ยึดเกาะตัวกลางจะทำการออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติก เมื่ออาหารไหลจนถึงด้านล่างก็จะถูกทำให้เย็น และสูบหมุนเวียนไปที่สเปรย์ด้านบนซ้ำอีก ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการผลิตที่เร็วมาก โดยสามารถผลิตน้ำส้มสายชูที่มีปริมาณกรดอะซิติกร้อยละ 12 ได้ภายในระยะเวลา 3 วัน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

2. Submerged process เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมนี โดยจะใช้ถังหมักแบบพิเศษที่มีระบบการกวน และการให้อากาศอยู่ด้านล่าง และมี Suction tube ติดตั้งอยู่กลางถังหมักเพื่อช่วยให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยวิธีการนี้จะเป็นวิธีที่ควบคุมระบบอย่างอัตโนมัติ (สมใจ, 2547)

ในแต่ละปีมีการผลิตกรดอะซิติกสูงถึง 2.5 ล้านตัน โดยในปี ค.ศ. 1980 มีรายงานว่ามีการผลิตกรดอะซิติก ประมาณ 1,600 ล้านลิตร ซึ่งในปัจจุบัน วัตถุดิบที่ใช้ในวิธีการผลิตกรดอะซิติกโดยวิธีการทางเคมี คือ เอทธิลีน (ethylene) ที่มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการผลิตกรดอะซิติกโดยวิธีการหมักจึงอาจมีบทบาทสำคัญในการผลิตกรดอะซิติก เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากขึ้นในอนาคต (สมใจ, 2547)

ในกระบวนการหมักกรดอะซิติกนั้นมีกระบวนการ และปัจจัยหลากหลายที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยได้มีเอกสาร และงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงสภาวะ และกระบวนการหมักดังนี้ คือ จิตตพงษ์ (2523) ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำมะพร้าวโดยวิธีหมักแบบเร็ว ซึ่งในขั้นตอนแรกในการหมักแอลกอฮอล์นั้นได้ใช้เชื้อ *Saccharomyces sp*. CMU1 ในการหมัก และปรับน้ำมะพร้าวให้มีปริมาณน้ำตาลที่ระดับต่างๆกัน พบว่าเชื้อ *Saccharomyces sp*. CMU1 สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 10.49 โดยใช้น้ำมะพร้าวที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 20 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้นที่ 4.5 หมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้เวลาหมัก 72 ชั่วโมง ในขั้นตอนที่สองที่เป็นการหมักให้เป็นกรดอะซิติกนั้น ได้ทำการศึกษาถึงการเติมกรดอะซิติก และการไม่เติมกรดอะซิติกลงไปในน้ำหมักจากขั้นที่หนึ่งโดยใช้เชื้อ *A. aceti* ในการหมัก พบว่าการเติมกรดอะซิติกลงไปก่อนซึ่งทำให้มี pH เริ่มต้นของน้ำหมักเท่ากับ 4.0 นั้นส่งผลให้การผลิตกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นสูงสุดอีกร้อยละ 2.58 โดยใช้เวลาในการหมัก 72 ชั่วโมง ส่วนอาหารที่ไม่ได้เติมกรดอะซิติกนั้นจะทำให้ได้กรดเพิ่มขึ้นสูงสุดร้อยละ 2.46 ในเวลา 120 ชั่วโมง มัลลิกา และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาผลของการควบคุมอุณหภูมิ ต่อการผลิตกรดอะซิติกจากเอทานอล โดยเปรียบเทียบ ระหว่างเชื้อสามสายพันธุ์ ได้แก่ *A. pasteurianus* TISTR 520, *A. pasteurianus* TISTR 521 และ *A. aceti* TISTR 401 พบว่า *A. pasteurianus* TISTR 520, *A pasteurianus* TISTR 521 สามารถผลิตกรดอะซิติก ในช่วงอุณหภูมิแปรปรวนที่กว้างกว่า *A. aceti* TISTR 401 และเมื่อควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส พบว่าผลการหมักกรดอะซิติกของทั้งสามสายพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีปริมาณกรดอะซิติกอยู่ในช่วง 44.4-44.9 กรัมต่อลิตร โดยเวลาในการผลิตกรดในสภาวะควบคุมอุณหภูมิ (30 องศาเซลเซียส) เร็วกว่าในสภาวะที่มีความแปรปรวนอุณหภูมิสูง (19-26 องศาเซลเซียส) นภมณฑล (2547) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดอะซิติกจาก *A. aceti* TISTR 102 โดยศึกษาถึงความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของแอลกอฮอล์ที่ร้อยละ 6 ร้อยละ 9 และร้อยละ 12 พบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ให้ปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุดคือ 16.6 กรัมต่อลิตร ในเอกสารการนำเสนอเรื่องการผลิตกรดอะซิติก จากแอลกอฮอล์โดยวิธีทางชีวภาพ กล่าวว่าเชื้อสามสายพันธุ์ที่ผลิตกรดอะซิติกได้มากที่สุดในบรรดาเชื้ออีก 7 สายพันธุ์คือ *A. pasteurianus* TISTR 520, *A. pasteurianus* TISTR 521 และ *A. aceti* TISTR 401 และความเข้มข้นเอทานอลที่เหมาะสมเพื่อใช้เลี้ยงเชื้อและผลิตกรดอะซิติก เท่ากับร้อยละ 6 โดยควบคุม pH ในช่วง 4.0 – 4.5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ปริมาณกรดตามลำดับคือ 44.3 42.6 และ 46 กรัมต่อลิตร (มัลลิกา และพัฒนา, 2551) สุรินทร์ (2548) ได้ทำการศึกษาถึงสายพันธุ์ยีสต์ที่เหมาะสมในการผลิตไวน์จากผลหม่อนทั้งหมด 4 สายพันธุ์ได้แก่ Lavin EC-1118, Lavin K1V-1116, Fermivin 7013 และ Fermivin PDM 9063 พบว่ายีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ Fermivin 7013 มีความเหมาะสมในการทำไวน์หม่อนโดยได้ไวน์หม่อนสีม่วงแดง มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 13.27 ± 0.27 กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกเท่ากับ 5.47 ± 0.21 กรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.76 ± 0.21 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 7.77 ± 0.06

2.3 สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant)

2.3.1 ข้อมูลทั่วไป

ในปัจจุบัน สารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) เป็นสารที่คนส่วนใหญ่ให้ความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเชื่อว่าเป็นสารที่มีประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ความสามารถในการชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์ในร่างกาย ความสามารถในการป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร เนื่องจากการหืนหรือการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้ ได้มีผู้นิยามความหมายของสารแอนติออกซิแดนซ์ไว้ดังนี้ คือ สารแอนติออกซิแดนซ์ ในทางเคมีหมายถึง สารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดกระบวนการออกซิเดชันได้ (ศรีวัฒนา, 2548) ทางชีววิทยาได้ให้คำจำกัดความไว้ว่าสารแอนติออกซิแดนซ์ คือสารสังเคราะห์หรือสารที่ได้จากธรรมชาติที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกัน หรือชะลอการเสื่อมเสียจากออกซิเจนในอากาศ ส่วนทางวิทยาศาสตร์อาหารได้ให้ความหมายไว้กว้างๆ รวมถึงองค์ประกอบของสารแอนติออกซิแดนซ์ต่างๆ ที่ช่วยป้องกันไม่ให้อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบเกิดการหืน (Huang *et al.,* 2005)

สารแอนติออกซิแดนซ์มีบทบาทในการทำงานดังนี้ (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547; Bidlack *et al*., 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ป้องกันการเกิดสารออกซิแดนซ์ เช่น Transferrin ที่ทำปฏิกิริยากับ เหล็กอิออน หรือ คอปเปอร์อิออน ที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

2. ยับยั้งการทำงานของสารออกซิแดนซ์ โดยทำตัวเป็นผู้ให้อิเลคตรอนแก่สารออกซิแดนซ์ ทำให้ปฏิกิริยาแย่งชิง อิเลคตรอน (electron-stealing reaction) สิ้นสุดลง

3. ช่วยลดตัวกลางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase) ที่ยับยั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือสารประกอบฟีโนลิกที่ช่วยทำให้เอนไซม์บางชนิดเกิดความคงตัวจนทำให้สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

โดยทั่วไปสารต้านออกซิเดชัน แบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. Primary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ สารประกอบฟีโนลิก (phenolic compound) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึง tocopherols ที่ได้จากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ ได้แก่ tert-butyl-4-hydroxyanisol (BHA) tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT) tert-butylhydroquinone (TBHQ) และอื่นๆ ซึ่งสารในกลุ่มดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเลคตรอน

2. Oxygen scavenger

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) หรือวิตามินซี ascorbyl palmitate erythorbic acid (isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

3. Secondary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ dilauryl thiopropionate และ thiopropionic acid ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

4. Enzymatic antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็น primary antioxidant enzyme และ ancillary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธ์ของออกซิเจนโดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

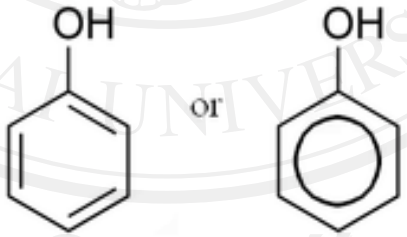
5. Chelating agent หรือ sequestrant

สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโน ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริม และเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร (Kochhar and Rossell, 1990)

สารแอนติออกซิแดนซ์ในอุดมคติควรมีคุณสมบัติสำคัญดังนี้ คือ

1. มีความเฉพาะเจาะจงสูงในการเข้าจับอนุมูลอิสระ และกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดสิ้นไป
2. สามารถทำปฏิกิริยาคีเลทกับโลหะได้
3. เป็นสารที่สามารถต้านการออกซิเดชันได้
4. ไม่มีผลกระทบต่อการแสดงออกของยีน

โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกซึ่งอยู่ในกลุ่ม primary antioxidant เป็นสารที่ค่อนข้างมีบทบาทพอสมควร ส่วนใหญ่เป็นสารที่พบมากในธรรมชาติ เช่น พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ไวน์แดง เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลิกเป็นจำนวนมากถึง 8,000 ชนิด โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นไฮดรอกซีอย่างน้อยหนึ่งหมู่ตามภาพ 2.2



ภาพ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีโนลิก
ที่มา : โอภา และคณะ (2550)

สารประกอบฟีโนลิก สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ monocyclic phenol ประกอบด้วย วงแหวนฟีนอล 1 วง กลุ่มที่สองคือ dicyclic phenol ซึ่ง มีวงแหวนฟีนอล 2 วง และสุดท้ายคือ polycyclic phenol หรือ polyphenolic ซึ่งถือเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญมากในการต้านอนุมูลอิสระ โดยตัวอย่างสารแอนติออกซิแดนซ์ที่อยู่ในกลุ่ม polyphenolic ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) กรดฟีโนลิก (phenolic acid) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) (โอภา และคณะ, 2550)

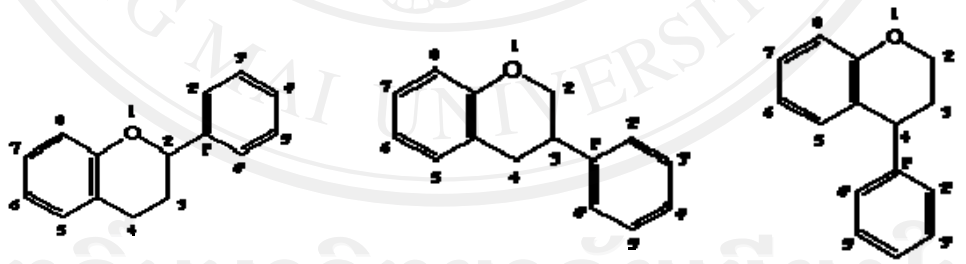
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

สารฟลาโวนอยด์พบได้ทั่วไปในทุกส่วนของพืช จัดเป็นสารสำคัญในกลุ่ม polyphenolic มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นฟลาแวน (flavan) สารฟลาโวนอยด์แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้หลากหลายกลุ่ม ตามภาพ 2.3 แต่กลุ่มที่มักพบในผลองุ่น ไวน์แดง แครนเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ หรือผลหม่อน ได้แก่สารที่อยู่ในกลุ่มของ flavonols ซึ่งก็คือ ควอเซอติน (quercetin) (โอภา และคณะ, 2550; Armstrong, 2001; Packer *et al*., 1999) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในภาพ 2.4

สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์นั้นมีกลไกในการออกฤทธิ์เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ดังนี้

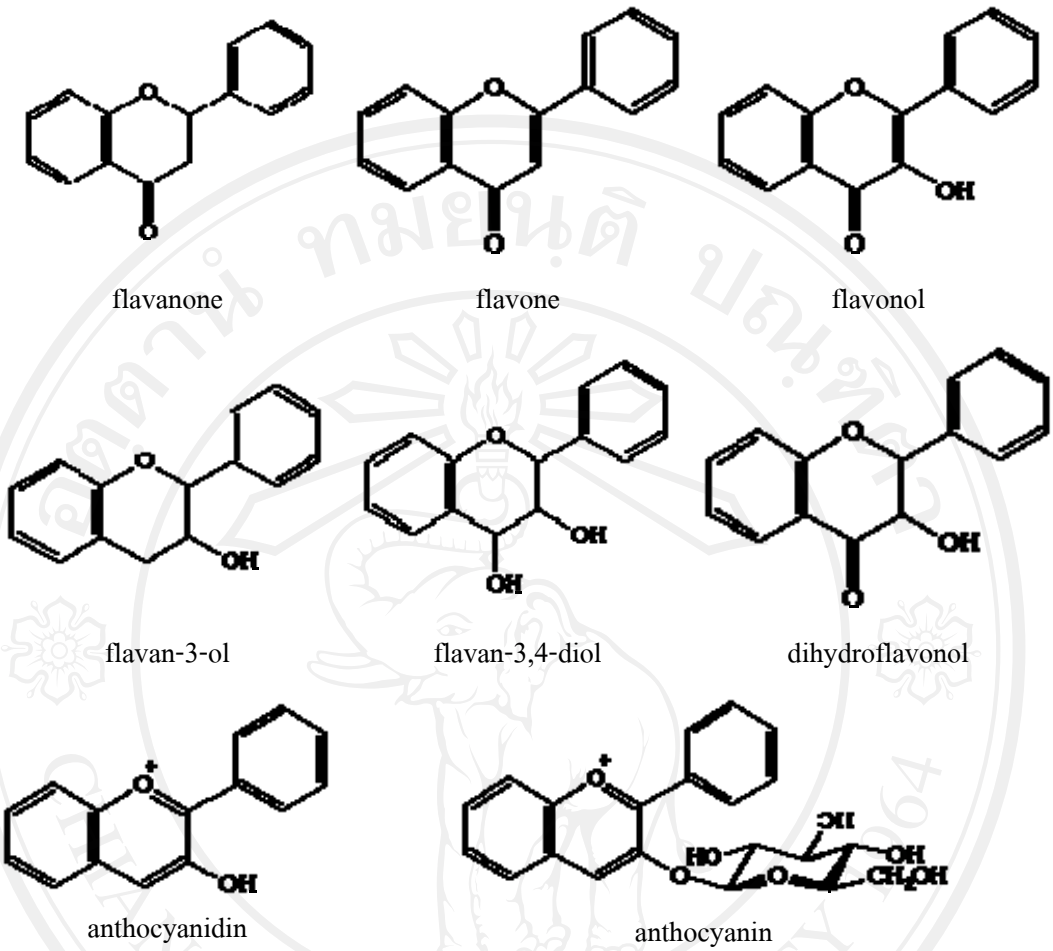
1. เป็นสารคีเลตโดยทำหน้าที่จับ หรือฟอร์มพันธะกับโลหะหนัก เช่น ทองแดง เหล็ก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการสร้างรวมทั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ
2. เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์โดยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนอิออนแก่อนุมูลอิสระ
3. ทำหน้าที่ regenerate วิตามินอี (alpha-tocopherol) โดยจะรีดิวซ์อนุมูล alpha-tocopheroxyl กลับเป็น alpha-tocopherol ตามเดิม (Armstrong, 2001; Packer *et al*., 1999)



flavan isoflavan neoflavan

ภาพ 2.3 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ
ที่มา : Queensmary university of London (2005)

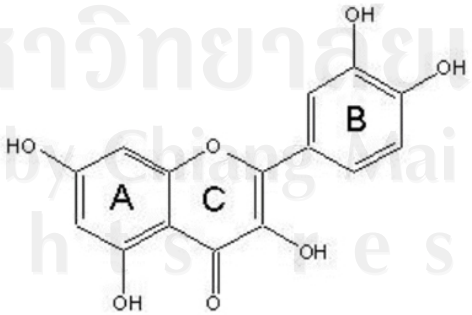
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.3 (ต่อ)

ที่มา : Queensmary university of London (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



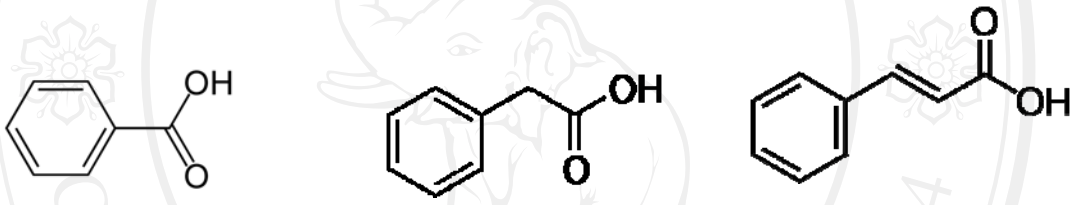
ภาพ 2.4 โครงสร้างของควอเซอติน

ที่มา : Casagrande *et al.* (2006)

2.3.3 กรดฟีโนลิก (phenolic acid)

กรดฟีโนลิกเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่ม polyphenolic เช่นเดียวกับ ฟลาโวนอยด์ โดยมีสารกลุ่มหลัก 3 กลุ่มคือ benzoic acid, phenylacetic acid และ cinnamic acid โดยมีโครงสร้างพื้นฐานดังภาพ 2.5 ส่วนใหญ่พบใน องุ่นหรือผลไม้พวกเบอร์รี่ (โอภาและคณะ, 2550 **;** Shi *et al.*, 2002)

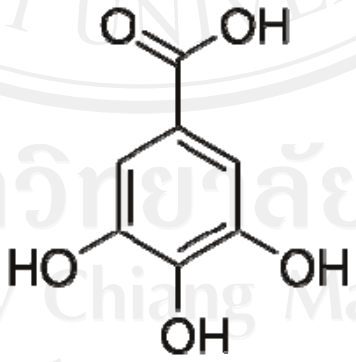
ในการวิเคราะห์หากรดฟีโนลิกในผักผลไม้ ส่วนใหญ่นิยมหาออกมาในรูปของกรดแกลลิก (gallic acid) ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังภาพ 2.6



benzoic acid phenylacetic acid cinnamic acid

ภาพ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานของ benzoic acid, phenylacetic acid และ cinnamic acid

ที่มา : Premier group of industries (2009)



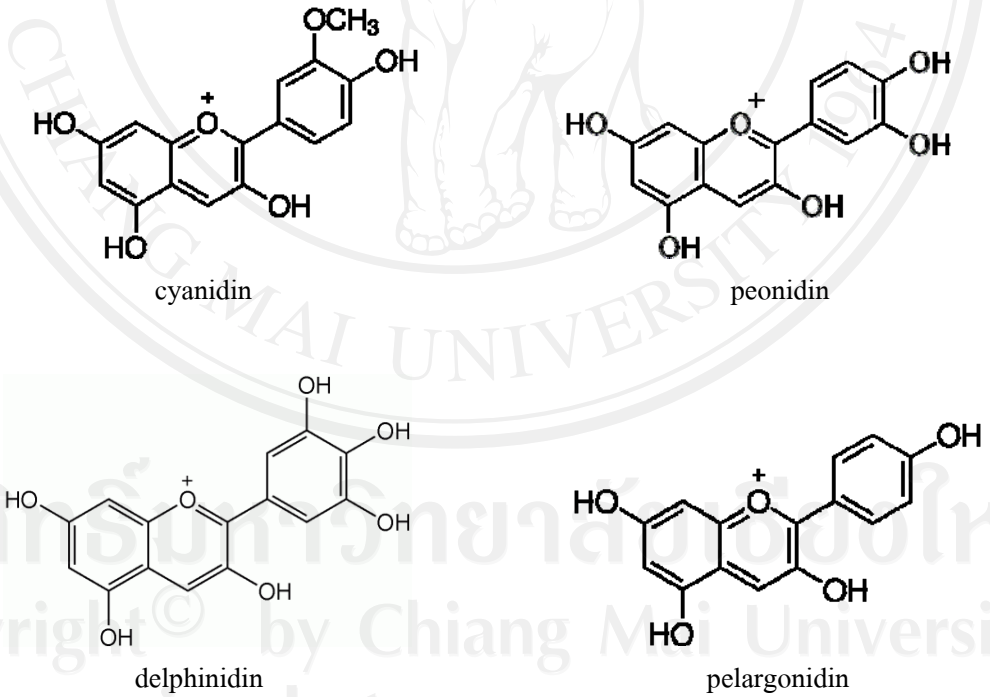
ภาพ 2.6 โครงสร้างของกรดแกลลิก

ที่มา : Premier group of industries (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.4 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานินเป็นสารกลุ่มหนึ่งของฟลาโวนอยด์ ที่เป็นสารให้สีที่พบในเซลล์พืช ให้สีแดง น้ำเงิน และม่วง มีโครงสร้างแสดงในภาพ 2.7 ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน 2 วง ต่อกับวงแหวนฟีนิล ที่สามารถละลายในน้ำได้แต่ไม่ละลายใน non-hydroxy solvent โดยปัจจุบันพบว่ามีแอนโทไซยานินอยู่ประมาณ 120 ชนิด ซึ่งสารประกอบที่พบมากได้แก่ ไซยานิดิน (cyanidin) พีโอนิดิน (peonidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) และพีลาร์โกนิดิน (pelargonidin) มีโครงสร้างดังภาพ 2.7 โดยไซยานิดินพบในแอปเปิ้ล ลูกหม่อน ราสเบอร์รี่ ลูกพีช พีโอนิดินพบในฮักเกอร์เบอร์รี่ เดลฟินิดินพบในเรดเคอร์แรนท์ และพีลาร์โกนิดินพบในกล้วย มันฝรั่ง เป็นต้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และสีของแอนโทไซยานินนั้นขึ้นอยู่กับค่า pH โดยเมื่อ pH มีค่าต่ำกว่า 4.5 แอนโทไซยานินจะมีสีแดง และจะเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำเงินม่วง เมื่อ pH มีค่าสูงขึ้น (นิธิยา, 2543; Hutchings, 1994; Fennema, 1996; Shi *et al.*, 2002)



ภาพ 2.7 โครงสร้างของไซยานิดิน พีโอนิดิน เดลฟินิดิน และพีลาร์โกนิดิน

ที่มา : Packer *et al.* (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.5 หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์

การวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ มีหลักการสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ 2 หลักการคือ

1. การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen atom transfer, HAT) เป็นการหาพลังงานที่ทำให้พันธะของหมู่ที่จะทำให้อะตอมไฮโดรเจนแตกออก ซึ่งวิธีที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ วิธี ORAC (Oxygen radical absorbance capacity), TRAP (Total radical trapping antioxidant parameter) เป็นต้น
2. การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเลคตรอนเดี่ยว (Electron transfer reaction, ET หรือ SET) โดยเป็นการหาความสามารถในการส่งผ่านอิเลคตรอนไปรีดิวซ์สารอื่นได้แก่ โลหะ และอนุมูลซึ่งวิธีที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ วิธี FRAP (Ferric ion reducing antioxidant parameter) DPPH (Diphenyl-1-picrylhydrazyl) Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent และ TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) เป็นต้น

ในการทดลองนี้จะใช้หลักการวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเลคตรอนเดี่ยว โดยวิธี DPPH (diphenyl-1-picrylhydrazyl) Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์แสดงในบทที่ 3 ต่อไป ซึ่งวิธี DPPH มีหลักการในการวิเคราะห์คือ DPPH เป็นอนุภาคอิสระที่เสถียร และสามารถรับอิเลคตรอนได้อีก เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่เสถียร และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่น จะทำให้สารดังกล่าวไม่เป็นอนุมูลอิสระ ดังนั้นความสามารถของสารแอนติออกซิแดนซ์ที่ศึกษาวิธีนี้ จะเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนซ์ในการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระ ที่อยู่ในสารละลาย โดยในการวิเคราะห์นี้จะให้ DPPH (มีสีม่วงเข้ม) ทำปฏิกิริยากับสารแอนติออกซิแดนซ์ในระยะเวลาที่กำหนด ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร จะแปรผันกับความเข้มข้นของ DPPH ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ของสารแอนติออกซิแดนซ์ โดยอาจมีการรายงานผลในรูปของ ค่า EC_{50} (efficiency concentration) ซึ่งหมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารทดสอบ ที่สามารถลดปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้นลงได้ร้อยละ 50 (พรรณธิชา, 2547; โอภา และคณะ, 2550; Huang *et al*., 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีงานวิจัยมากมาย ที่ได้ศึกษาถึงปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์ของผลหม่อนดังนี้ คือ Sezai and Emine (2007) ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีในลูกหม่อนขาว (*M. alba*) ลูกหม่อนแดง (*M. rubra*) และลูกหม่อนดำ (*M. nigra*) ที่ปลูกในประเทศตุรกี พบว่าในลูกหม่อนนั้นมีสารประกอบฟีโนลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ อยู่ โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ลูกหม่อนดำ (*M. nigra*) มี สารประกอบฟีโนลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุด เท่ากับ 1,422 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 100 กรัม (mg GAE/100g) และ 276 มิลลิกรัมของควอเซอตินต่อตัวอย่าง 100 กรัม (mg QE/100g) ตามลำดับ รองลงมาคือลูกหม่อนแดง (*M. rubra*) มีปริมาณของสารประกอบฟีโนลิก เท่ากับ 1,035 mg GAE/100g และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 219 mg QE/100g และลูกหม่อนขาว (*M. alba*) มีปริมาณของสารประกอบฟีโนลิก เท่ากับ 181 mg GAE/100g และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 29 mg QE/100g ตามลำดับ

งานวิจัยของ Jin and Ching (2007) ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณของสารประกอบฟีโนลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในผัก และผลไม้ 13 ชนิด ได้แก่ ผลหม่อน สตรอเบอรี่ พลัม ไลควอท หอมแดง 2 สายพันธุ์ หอมขาว ผักขม บีทรูท แตง พริกหวานสีเขียว สีแดง และสีเหลือง ซึ่งพบว่า ผลหม่อนที่ปลูกในประเทศไต้หวัน (*M. alba*) เป็นผลไม้ที่มีปริมาณของสารประกอบฟีโนลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ สูงที่สุดในผักผลไม้ที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยมีปริมาณของสารประกอบฟีโนลิก เท่ากับ 1,515.9 mg GAE/100g และปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 250.1 mg QE/100g Dimitrios and Georgios (1997) ได้ทำการศึกษาถึงลักษณะคุณภาพของผลหม่อน 4 สายพันธุ์ ซึ่งได้แก่ ผลหม่อนพันธุ์สีแดง (*M. nigra* cvs Mavromurnia) พันธุ์สีดำ (*M. alba* cvs Mavri) พันธุ์สีชมพู (*M. alba* cvs Rodini) และพันธุ์สีขาว (*M. alba* cvs Aspri) ที่ปลูกในประเทศกรีซ โดยพบว่าผลหม่อนพันธุ์สีแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดในบรรดา 3 สายพันธุ์ โดยแอนโทไซยานินที่พบในผลหม่อนคือ cyanidin-3-grucorutinoside นอกจากนี้ สุรินทร์ (2548) ได้ทำการศึกษาผลของระยะความสุกของหม่อนที่มีต่อคุณภาพไวน์ โดยพบว่า หม่อนที่ระยะการสุกสีม่วงดำจะมีปริมาณแอนโทไซยานินและค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ที่มากกว่าผลหม่อนสีม่วงแดง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักมีดังนี้คือ Velicanski *et al.* (2007) ที่ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันของ Lemon Balm Kombucha ซึ่งป็นเครื่องดื่มชนิดหนึ่งที่มีการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก โดยพบว่าเครื่องดื่มที่ผ่านการหมักแล้วมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สูงกว่าเครื่องดื่มที่ยังไม่ได้ผ่านการหมัก แต่ในทางกลับกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Su and Chien (2007) ทำการศึกษาถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชัน สารแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีโนลิก ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ทำจาก rabbiteye blueberry พบว่าในผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำส้มสายชูหมักนั้น จะมีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีโนลิก และความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลงเมื่อผ่านการหมัก จากงานวิจัยข้างต้นจึงเป็นข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากผลหม่อนต่อไป

2.4 การทดสอบผู้บริโภค (Consumer testing)

การทดสอบผู้บริโภค หมายถึง การทดสอบผลิตภัณฑ์โดยการใช้ผู้บริโภคที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน ซึ่งเป็นหรือกำลังจะเป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์เหล่านั้นจะถูกประเมินจากลักษณะปรากฏ รสชาติ กลิ่น การสัมผัส และการได้ยิน

การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) คือ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัด วิเคราะห์ และแปลความ ขณะที่รับความรู้สึกสัมผัสโดยการเห็น การได้ยิน การได้กลิ่น การชิมรส และการสัมผัส คำจำกัดความนี้ได้เป็นที่ยอมรับ และรับรองโดยคณะกรรมการประเมินทางประสาทสัมผัสในองค์กรวิชาชีพต่างๆ เช่น The Institute of Food Technologists (IFT) และ The American Society for Testing and Materials (ASTM) (สุจินดา, 2547)

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นระบบนั้น จะต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภคเป็นระยะๆ โดยผู้บริโภคจะมีบทบาทในการเลือกแนวความคิดผลิตภัณฑ์ (product concept) และเลือกผลิตภัณฑ์ตามความชอบของผู้ทดสอบ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจัดว่ามีความสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมานั้นได้รับความสนใจในเชิงพาณิชย์ (ไพโรจน์, 2539)

2.4.1 ประเภทของการทดสอบผู้บริโภค

แบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

1. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (laboratory test) วิธีนี้จะเป็นการทดสอบในห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิบัติการ มีข้อดีคือ สะดวกสำหรับนักวิจัย และควบคุมการทดสอบได้ดี แต่มีข้อเสียคือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ บางครั้งมีข้อจำกัดทางด้านเวลา ไม่เหมือนการทดสอบจริง จำนวนผู้ทดสอบที่ใช้ประมาณ 50 คน (ภาพ 2.8)

ภาพ 2.8 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2. การทดสอบประเภทสถานที่ชุมชน (central location test, CLT) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด และอาจใช้สถานที่ได้หลายๆ ที่ นิยมทำการทดสอบในสถานที่ที่มีผู้บริโภคอยู่รวมกันจำนวนมาก จำนวนผู้ทดสอบที่ใช้ปกติ คือ 100 คน แต่อาจอยู่ในช่วง 50-300 คน ข้อดีของวิธีนี้ คือ ได้ผู้ทดสอบจำนวนมากที่เป็นผู้บริโภคที่แท้จริง แต่มีข้อเสีย คือ ข้อจำกัดด้านสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และข้อจำกัดด้านเวลาของผู้ทดสอบ (ภาพ 2.9)

ภาพ 2.9 การทดสอบในสถานที่ชุมชน

ที่มา : MSTS Ltd (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การทดสอบประเภทห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (mobile laboratory test) การทดสอบนี้จะรวมเอาข้อดีของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบประเภทสถานที่ชุมชนมาไว้ด้วยกัน การทดสอบทำโดยใช้รถพ่วงทำเป็นห้องทดสอบ และขับเคลื่อนไปจอดในที่ชุมชนที่มีผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ปกติใช้ผู้ทดสอบประมาณ 40-60 คนต่อผลิตภัณฑ์ แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูง (ภาพ 2.10)

ภาพ 2.10 ห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่
ที่มา : Colmar brunton company (2009)

4. การทดสอบประเภทใช้ที่บ้าน (home-use test) วิธีนี้จะดำเนินการทดสอบที่บ้านของผู้ทดสอบแต่ละคน มีการควบคุมจากนักวิจัย ผู้ทดสอบจะทำการทดสอบภายใต้สภาวะการบริโภคจริง วิธีนี้มีข้อดี คือ ผลิตภัณฑ์ถูกทดสอบในบ้าน จึงเป็นสภาวะจริงของการบริโภค สามารถได้ข้อมูลการตลาดเพิ่มเติม ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ใช้เวลาในเตรียม และการดำเนินงานนาน ขาดการควบคุมในการทดสอบ มีต้นทุนในการทดสอบสูง ไม่สามารถทดสอบกับผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียได้ง่าย ผลตอบกลับจากการทดสอบอาจได้รับน้อยกว่าที่ตั้งไว้ (สุจินดา, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 วิธีการสุ่มตัวอย่างในการทดสอบผู้บริโภค

ในการทดสอบผู้บริโภค ขั้นตอนการสุ่มเลือกผู้บริโภคในการทดสอบถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นการเลือกตัวแทนมาทำการศึกษา และสรุปผลที่ได้ไปยังผู้บริโภคโดยรวม วิธีการสุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ที่สำคัญ ได้แก่

1. การสุ่มตัวอย่างโดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (probability sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่แต่ละหน่วยในตัวอย่างประชากรมีโอกาสที่จะได้รับเลือก และโอกาสที่แต่ละหน่วยข้อมูลจะได้รับเลือกจะต้องทราบ และไม่ใช่ศูนย์ วิธีการสุ่มประเภทนี้ ที่สำคัญ ได้แก่ การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling, SRS) การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ (systematic sampling, SYS) การสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (stratified random sampling) การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม (cluster sampling) และการสุ่มตัวอย่างตามพื้นที่ (area sampling)

2. การสุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (nonprobability sampling) การสุ่มตัวอย่างนี้มีลักษณะที่สำคัญ คือ ไม่ได้กำหนดโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่กลุ่มตัวอย่างจะถูกเลือกมาจากประชากรทั้งหมด จึงไม่สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่าง อย่างไรก็ตามการสุ่มวิธีนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยจริง เนื่องจากเลือกตัวอย่างผู้ทดสอบได้อย่างสะดวก การสุ่มตัวอย่างในลักษณะนี้ที่นิยมใช้ คือ การสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความสะดวก (convenience sampling) การสุ่มตัวอย่างโดยใช้วิจารณญาณ (judgment sampling) การสุ่มตัวอย่างโดยกำหนดโควตา (quota sampling) และการสุ่มตัวอย่างแบบก้อนหิมะ (snowball sampling) (ศิริวรรณ และคณะ, 2541)

2.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

วิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. วิธีการประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์
2. วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
3. วิธีการประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการเชิงวิเคราะห์ที่ควรให้ผลการประเมินที่มีความถูกต้อง และสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่วัดโดยเครื่องมือ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการดำเนินงานอย่างเคร่งครัด ตั้งแต่การ

ใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการคัดเลือก และอบรมอย่างถูกวิธี การควบคุมสภาวะในการทดสอบที่ดี ส่วนวิธีการประเมินการยอมรับนั้น จะต้องให้ความสำคัญในการเลือกผู้ประเมินที่เป็นตัวแทนของผู้บริโภคเป้าหมายของผลิตภัณฑ์จึงจะได้ผลการตอบสนองของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง (เพ็ญขวัญ, 2550)

ในการพัฒนาเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำผลหม่อน ได้ใช้วิธีการประเมินความชอบ และการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ hedonic scale method ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์

วิธีการประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์

การประเมินความชอบ และการยอมรับผลิตภัณฑ์เป็นวิธีการที่วัดความชอบหรือการยอมรับจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ประเมินที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่กำลังทดสอบ โดยผู้ประเมินจะเป็นผู้บริโภคที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าสรุป และผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่น่าพึงพอใจจึงต้องใช้ผู้ทดสอบที่มีจำนวนประชากรมาก โดยวัตถุประสงค์ของการประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์ มีดังนี้

1. เพื่อประเมินความชอบโดยรวมของผู้ประเมินที่มีต่อผลิตภัณฑ์
2. เพื่อประเมินความชอบของผู้ประเมินที่มีต่อลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์
3. เพื่ออนุมานการตอบสนองของผู้ประเมินโดยสร้างความสัมพันธ์กับฐานข้อมูลค่าของแผนภาพลักษณะทางประสาทสัมผัส และข้อมูลค่าทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์

การประเมินความชอบ และการยอมรับผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มวิธีการประเมินความชอบ และกลุ่มวิธีประเมินการยอมรับ (เพ็ญขวัญ, 2550) ซึ่ง hedonic scale method ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จัดอยู่ในกลุ่มวิธีประเมินการยอมรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 วิธีการให้คะแนนการยอมรับแบบสเกล (Hedonic scale method)

วิธีการนี้ถูกใช้ในอดีตเพื่อวัดความเร็วลม และทดสอบอุณหภูมิของน้ำ และได้มีการขยายเป็นวงกว้างขึ้นหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อใช้ในการวัดความต้องการในอาหาร และลักษณะ

อาหารที่ต้องการของกองทัพ ในปี 1947 สเกลแบบ 7-point hedonic scale ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรก โดยสถาบัน Quartermaster Food and Container Institute เพื่อตรวจสอบความชอบของทหารในรายการอาหารที่นำเสนอ ต่อมา Peryam and Pilgrim (1957) ได้นำสเกลความชอบมาใช้ในการประเมินความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารอย่างเป็นทางการครั้งแรก ซึ่งในปัจจุบันวิธีการทดสอบความชอบโดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน (9-point hedonic scale) เป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุด (เพ็ญขวัญ, 2550 ; ไพโรจน์, 2545) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้เช่นกัน

2.6 การทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design)

การทดลองแบบส่วนผสม (mixture design) เป็นการทดลองหาส่วนผสมของสูตร โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของส่วนประกอบใด ส่วนประกอบที่เหลือในสูตรจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงด้วย และผลรวมของส่วนประกอบทั้งหมดต้องเท่ากับ 1.0 หรือร้อยละ 100 (ไพโรจน์, 2539) เนื่องจากทุกปัจจัยรวมกันได้ร้อยละ 100 ดังนั้นสมการรีเกรสชัน (regression model) สำหรับ mixture design จึงไม่มีค่าคงที่ หรือเทอม b_0 (intercept) (Gacula, 1993) การวางแผนการทดลองแบบ mixture design มีแบบแผนการทดลองย่อย 4 แบบ ได้แก่ แบบ Scheffe' Simplex-Lattice แบบ Scheffe' Simplex-Centroid แบบ simplex axial และแบบ extreme vertices (Hu, 1999)

2.7 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง เป็นตัวแทนทางเรขาคณิตที่ได้รับเมื่อผลตอบสนองของตัวแปร (response) ถูกสร้างเป็นฟังก์ชันของตัวแปรเหล่านั้น เทคนิคทางสถิตินี้ใช้แผนภาพ contour plot ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่สนใจ ผลที่ได้คือ สามารถที่จะหาสูตร หรือสภาวะที่เหมาะสม (optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้นได้เมื่อพิจารณาปัจจัยที่สนใจเหล่านั้นพร้อมๆ กัน (Gacula and Singh, 1984) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีการ RSM สามารถแสดงได้ดังสมการ 2.1

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_k) + E \qquad \text{สมการ 2.1}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ Y คือ ค่าตอบสนองซึ่งเป็นตัวแปรตาม และ X_1, X_2, ..., X_k คือตัวแปรที่สนใจซึ่งเป็นตัวแปรต้น E คือ error term ของความสัมพันธ์ ฟังก์ชั่นของตัวแปรเหล่านี้มักใช้สมการลำดับที่ 1 (first order model) หรือ สมการลำดับที่ 2 (second order model) หรือ สมการพอลิโนเมียล (polynomial model) เป็นตัวอธิบาย

ขั้นตอนการทำ RSM มีดังนี้

1) เลือกแผนการทดลองที่เหมาะสมที่จะให้ข้อมูลเพียงพอในการสร้าง contour plot

2) สร้างแบบจำลองหรือสมการเชิงเส้นที่ดีที่สุด

3) สร้าง contour plot หรือ surface plot จากสมการที่ได้

4) ตรวจสอบหาค่าจุดหรือพื้นที่ที่เหมาะสม (optimization)

5) พิสูจน์แบบจำลอง (validation) โดยการทำการทดลองใหม่จากจุดที่เหมาะสมภายใต้ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว แล้วเปรียบเทียบค่าจากการทดลอง และค่าที่ทำนายได้จากสมการ (อนุวัตร, 2550)

วิธีการ RSM ได้ถูกนำมาประยุกต์ในงานด้านอุตสาหกรรมเกษตรมากมาย เช่น ใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิต หรือพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธี RSM ในการพัฒนาสูตร และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหลายประเภท

2.8 กระบวนการฆ่าเชื้อ

การผลิตอาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน เป็นการใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (pathogen) และทำให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage) รวมถึงพยาธิ และเอนไซม์ต่างๆโดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนมีหลายวิธี เช่น การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) การสเตอริไลซ์ (sterilization) และ การบรรจุขณะร้อน (hot fill) (ประภาศรี, 2547)

2.8.1 การพาสเจอร์ไรซ์

การพาสเจอร์ไรซ์เป็นวิธีการที่ถูกค้นพบโดย หลุยส์ ปาสเตอร์ (Louis Pasteur) เมื่อ ค.ศ. 1864 โดยพบว่าการให้ความร้อนไวน์ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เพียง 1-2 นาที จะสามารถป้องกันการเสื่อมเสียได้ (ประภาศรี, 2547) ดังนั้นการพาสเจอร์ไรซ์จึงเป็นกระบวนการให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร้อนที่ไม่รุนแรงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารให้ยาวนานขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่มีการทำลายการทำงานของเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น ยีสต์ และรา แต่ทำให้การเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าของอาหารเสียไปน้อยที่สุด กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่ไม่ใช่ทั้งหมดในอาหาร ดังนั้น อาหารที่ผ่านกระบวนการนี้จึงต้องผ่านการเก็บรักษาในสภาวะที่สามารถควบคุมจุลินทรีย์ได้ เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ความรุนแรงของการให้ความร้อนกำหนดได้โดยค่า pH ของอาหาร โดยอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH>4.5) จะมุ่งเน้นทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ส่วนอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH≤4.5) จะมุ่งเน้นทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (วิไล, 2545; Fellows, 1996)

วัตถุประสงค์ของการพาสเจอร์ไรซ์มีดังนี้

1. เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุการเสื่อมเสียส่วนใหญ่ในอาหาร จุลินทรีย์ที่ถูกทำลาย จะเป็นพวกเซลล์จุลินทรีย์เท่านั้นโดยจุลินทรีย์ที่หลงเหลือจะอยู่ในสภาพที่อ่อนแอลง
2. เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น เชื้อไทฟอยด์ อหิวาต์ คอตีบ วัณโรค ท้องร่วง เป็นต้น
3. เพื่อทำลายเอนไซม์ที่ไม่ต้องการได้แก่ เอนไซม์ไลเปส และเอนไซม์โปรติเอส เป็นต้น
4. เป็นวิธีการแปรรูปที่ใช้ร่วมกับกรรมวิธีอื่นๆ เช่น การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา การใช้สารเคมี เช่น เบนโซเอท การใช้น้ำตาลหรือเกลือ ในปริมาณสูง
5. เพื่อลดหรือจำกัดปริมาณจุลินทรีย์ในวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น ลดหรือกำจัดจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ในน้ำนมที่ใช้ในการผลิตนมเปรี้ยว

ในกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์นั้น เวลา และอุณหภูมิขึ้นอยู่กับ ความต้านทานความร้อนของเซลล์จุลินทรีย์หรือเชื้อโรคที่ต้องการทำลาย และความไวต่อความร้อนของผลิตภัณฑ์ โดยค่า D (Death rate constant) ของจุลินทรีย์ที่มีความคงทนต่อความร้อนที่สุดในอาหารนั้นๆ จะเป็นตัวบ่งชี้ระดับการให้ความร้อนเพื่อให้อาหารมีความคงตัว ซึ่งค่า D หมายถึง เวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิคงที่ ที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ลงไปร้อยละ 90 ไม่ว่าจะมีจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่าไหร่ (ประภาศรี, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การพาสเจอร์ไรซ์มี 2 แบบ คือ

1. การพาสเจอร์ไรซ์อาหารที่ผ่านการบรรจุแล้ว

การพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลวบางชนิด เช่น เบียร์หรือน้ำผลไม้ เป็นการพาสเจอร์ไรซ์หลังการบรรจุอาหารลงภาชนะแล้ว สำหรับอาหารที่บรรจุขวดแก้วต้องบรรจุน้ำด้วยเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกะทันหัน ซึ่งก่อให้เกิดรอยร้าวบนบรรจุภัณฑ์ ความแตกต่างสูงสุดระหว่างอุณหภูมิบรรจุภัณฑ์ และน้ำที่ภาชนะแก้วจะทนได้คือ 25-30 องศาเซลเซียส สำหรับการให้ความร้อน และ 10 องศาเซลเซียสสำหรับการให้ความเย็น กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหารหลังผ่านการบรรจุ มีทั้งแบบกะ และแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ง่ายที่สุดประกอบด้วย อ่างน้ำร้อนซึ่งจะให้ความร้อนแก่อาหารที่บรรจุภาชนะ และมีการปล่อยน้ำเย็นเข้าไปเพื่อทำให้อาหารเย็นลง สำหรับในระบบแบบต่อเนื่อง จะมีสายพานลำเลียงอาหารที่บรรจุแล้ว เข้าไปในหน่วยให้ความร้อน และหน่วยทำให้เย็น ยกตัวอย่างเช่น เครื่องพาสเจอร์ไรซ์แบบอุโมงค์ ดังภาพ 2.11 ที่มีหน่วยให้ความร้อนหลายหน่วย มีการพ่นละอองน้ำเพื่อให้ความร้อนแก่อาหารที่ผ่านสายพานลำเลียง จนเกิดการพาสเจอร์ไรซ์อย่างสมบูรณ์ ในส่วนทำความเย็น ก็จะมีละอองน้ำฉีดลงมาด้วยเช่นกัน ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการให้ความร้อนที่เร็วกว่า และใช้เวลาในการให้ความร้อนอาหารที่สั้นกว่า

ภาพ 2.11 เครื่องพาสเจอร์ไรซ์แบบอุโมงค์

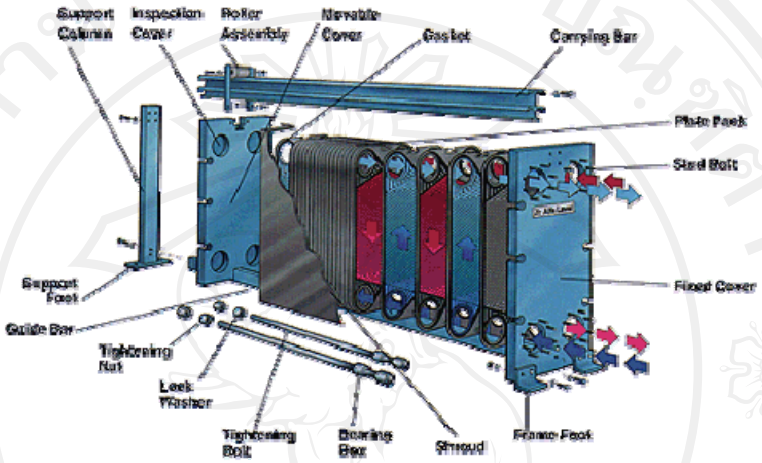
ที่มา : Mcfspa company (2009)

2. การพาสเจอร์ไรซ์อาหารก่อนการบรรจุ

การพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลวบางชนิดในปริมาณไม่มากนัก อาจใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดปาดผิว หรือใช้หม้อเปิดในการต้มก็ได้ อย่างไรก็ตามการพาสเจอร์ไรซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารที่มีความหนืดต่ำก่อนการบรรจุ นิยมใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (ภาพ 2.12) ที่ประกอบด้วยแผ่นเหล็กสแตนเลสบางๆ วางประกบ และยึดกัน ซึ่งจะทำให้เกิดช่องขนานกัน ระหว่างอาหาร และตัวกลางถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะไหลในลักษณะสวนทางกัน โดยอาหารจะไหลอยู่ในท่อตามระยะเวลาที่กำหนด และถูกทำให้เย็นลงจนเสร็จสิ้นกระบวนการ (วิไล, 2545)



ภาพ 2.12 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

ที่มา : Schauf company (2009)

ข้อดีของการพาสเจอร์ไรซ์ คือ ช่วยรักษาคุณภาพ และคุณค่าของอาหารเนื่องจากการคุณภาพและคุณค่าของอาหารเสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความร้อนสูง เช่น การลดลงของกลิ่น วิตามินซีในน้ำส้ม การตกตะกอนของโปรตีนในน้ำนม (ประภาศรี, 2547)

2.8.2 การบรรจุขณะร้อน (hot fill)

การบรรจุขณะร้อน หมายถึง การบรรจุอาหารขณะที่ยังคงร้อนอยู่ใส่ลงในภาชนะบรรจุที่สะอาด แต่ไม่จำเป็นต้องผ่านการฆ่าเชื้อมาก่อน หรืออยู่ในภาวะปลอดเชื้อ ความร้อนจากอาหารจะถ่ายเทให้ภาชนะบรรจุเมื่อปิดฝาแล้ว ซึ่งเชื่อว่าความร้อนที่ได้รับจากอาหาร เพียงพอที่จะทำเกิดการสเตอริไลซ์ ทางการค้ากับภาชนะบรรจุได้ การบรรจุแบบนี้นิยมใช้กับอาหารที่มีความเป็นกรดสูง ซึ่ง *Clostridium botulinum* ไม่สามารถเจริญหรือสร้างสารพิษได้ หากเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำจะต้องทำการฆ่าเชื้อภายหลังการบรรจุอีกครั้งหนึ่ง ตัวอย่าง เช่น การแปรรูปน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง จะต้องนำน้ำผลไม้มาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 77-100 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประมาณ 1 นาที แล้วบรรจุขณะร้อน และขณะบรรจุน้ำผลไม้ควรมีอุณหภูมิประมาณ 93 องศาเซลเซียส และไม่ควรต่ำกว่า 77 องศาเซลเซียส ปิดฝาให้เรียบร้อยและปล่อยให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ประมาณ 1-3 นาที ก่อนนำไปทำให้เย็น ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับค่า pH ของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสำคัญ (คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552)

ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่ม และน้ำผลไม้ที่จัดเป็นอาหารประเภทที่มีความเป็นกรดสูงนั้น (pH≤4.5) ส่วนใหญ่มักจะใช้กระบวนการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรซ์เข้ามาช่วยในการทำลายจุลินทรีย์บางส่วน เช่น จุลินทรีย์ที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา โดยจะใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส (สุพจน์, 2545) ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มก็จะมีการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วินาที (Rivasa *et al*., 2006) ได้มีงานวิจัยของ Tchango *et al.* (1997) ทำการศึกษาถึงสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้สายพันธุ์เขตร้อน เพื่อมุ่งทำลายยีสต์สองสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำผลไม้ได้แก่ *Candida pelliculosa* และ *Kloeckera apis* โดยผลจากการศึกษาทำให้ได้ค่า $D_{75°c}$ ของเชื้อ *C. pelliculosa* ในผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรด (pH 3.95) เท่ากับ 1.50 ± 0.01 นาที ในผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรส (pH 3.03) เท่ากับ 1.03 ± 0.02 นาที และมีค่า $D_{60°c}$ ของเชื้อ *K. apis* ในผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรด (pH 3.95) เท่ากับ 1.46 ± 0.01 นาที ในผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรส (pH 3.03) เท่ากับ 1.60 ± 0.02 นาที โดยมีค่าพาสเจอร์ไรซ์ ที่สามารถทำลายเชื้อ *C. pelliculosa* และยีสต์ชนิดอื่นๆได้ โดยในน้ำสับปะรดมีค่าพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 27.91 นาที และมีค่าพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13.5 นาที ในน้ำเสาวรสมีค่าพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20.25 นาที และมีค่าพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9.27 นาที และในน้ำฝรั่งมีค่าพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16.83 นาที

ในกระบวนการฆ่าเชื้อ และเก็บรักษาเครื่องดื่มมักจะมีการสูญเสียสารสำคัญต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงเรื่องดังกล่าว ดังนี้คือ Brownmiller *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาถึงผลของกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษา ที่มีต่อแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์จากบลูเบอร์รี่ โดยพบว่า ในกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์น้ำบูลเบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงจากเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 และในงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของกระบวนการแปรรูป ที่มีต่อองค์ประกอบเรื่องกลิ่น และแอนโทไซยานินในน้ำแบลคเคอร์แรนท์ (Mikkelsen and Poll, 2002) พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบลคเคอร์แรนท์ จะโดนทำลายไปประมาณร้อยละ 25 เมื่อผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที งานวิจัยของ Alighourchi and Barzegar (2009) ที่ได้ทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินระหว่างการเก็บรักษาของน้ำทับทิม พบว่าแอนโทไซยานินมีปริมาณลดลงร้อยละ 16.67 ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน

สาเหตุของการเสื่อมสลายของสารแอนติออกซิแดนซ์ในกระบวนการฆ่าเชื้อ และการเก็บรักษาอาจมีหลายสาเหตุ เช่น การสลายตัวของสารประกอบฟีโนลิก เนื่องจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส หรือ เพอร์ออกซิเดส (Zhang *et al*., 2008) ในระหว่างกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ และการเก็บรักษา การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานินกับแทนนิน (Remy *et al*., 2000) การเกิดปฏิกิริยา condensation ของแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีโนลิกในระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ (Brownmiller *et al.,* 2008; Hager *et al*., 2008) หรือ ระยะเวลา และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการฆ่าเชื้อ ก็สามารถส่งผลต่อปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์ และความสามารถในการต้านอนุมูลที่ลดลงได้ (อนุพงษ์ และคณะ, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved