บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะนาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swing. อยู่ในตระกูล Rutaceae (เกศินี, 2546) จัดเป็นพวกเดียวกับส้มต่างๆ มะนาวเป็นพืชพื้นเมืองของอินเดียและมีถิ่นกำเนิดทางภาคเหนือของอินเดีย จากนั้นจึงได้กระจายพันธุ์เข้าสู่ทวีปเอเชีย (สมศักดิ์, 2541) ในประเทศไทยสามารถปลูกได้ทุกภาค เจริญเติบโตได้ดีในดินทุกชนิดแต่ต้องมีการระบายน้ำที่ดี

2.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์

มะนาวเป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีลักษณะทางพฤษศาสตร์ดังนี้

ลำต้น : เป็นทรงพุ่ม ความสูงเฉลี่ย 10–20 ฟุต การแตกกิ่งก้านไม่เป็นระเบียบ เปลือกลำต้นมีสีเทาปนน้ำตาล กิ่งอ่อนมีสีเขียวเมื่อแก่สีจะค่อยๆเข้มขึ้น บนกิ่งมีหนามเกิดบริเวณซอกใบลักษณะทั้งสั้นและยาว หนามแข็งและแหลม มีสีเขียวปลายหนามมีสีน้ำตาล เมื่อกิ่งแก่ขึ้นหนามจะแห้งและตายไป

ใบ : รูปร่างค่อนข้างยาวหรือรูปไข่ แผ่นใบกว้างประมาณ 3–6 เซนติเมตร ยาวประมาณ 6-12 เซนติเมตร ปลายใบแหลมป้าน ฐานใบมีลักษณะกลม ขอบใบเป็นคลื่นหรือหยักละเอียด ใบมีกลิ่นแรงเมื่อขยี้ ก้านใบมีขนาดสั้น ปีกใบแคบหรือไม่มีขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ ใบอ่อนมีสีเขียวจาง ใบแก่มีสีเขียวเข้ม ผิวด้านบนละเอียดเป็นมัน มีการแตกใบอ่อนหลายครั้งและเมื่อแตกใบอ่อนมักจะออกดอกตามมาด้วย

ดอก : มีทั้งดอกสมบูรณ์เพศและไม่สมบูรณ์เพศ คือมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย ดอกเกิดบริเวณซอกใบและปลายกิ่ง อาจเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ ดอกมีขนาดเล็ก ดอกตูมมีขนาดยาวประมาณ 1–2 เซนติเมตร สีขาวและมีสีแดงเจืออยู่ด้วย กลีบเลี้ยงมีสีเขียวอ่อน กลีบดอกมีสีขาวและด้านในมีสีม่วงปน กลีบดอกเป็นรูปถ้วยมีจำนวน 4–5 กลีบ เกสรตัวผู้มีจำนวนมากถึง 20–40 อัน เชื่อมติดกันเป็นกลุ่มๆ ละ 4–8 อัน เกสรตัวเมียมีรังไข่เกือบเป็นทรงกระบอกหรือถังเบียร์

ผล : รูปร่างแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่กลมรี ค่อนข้างกลม กลมแป้น และรูปไข่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ผลมีขนาดยาวประมาณ 5–12 เซนติเมตร ที่ก้นผลมีลักษณะเป็นปุ่มเล็กๆ ผิวผลเรียบหรือค่อนข้างเรียบ เมื่อสุกผิวจะมีสีเหลืองหรือสีทอง ต่อมน้ำมันที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผิวเปลือกเห็นได้ชัด ในผลหนึ่งๆ มีกลีบ 8-10 กลีบ เนื้อมีสีเหลืองอ่อนปนเขียว รสเปรี้ยว ถุงน้ำเล็กเรียวหัวท้ายแหลม

เมล็ด : ขนาดเล็ก รูปทรงมีทั้งแบนใหญ่ กว้างกลม กลมยาว แบน ในเมล็ดมีเนื้อเยื่อสะสมอาหารภายในสีขาว

2.2 พันธุ์มะนาว (ศุภกิจ, 2540)

พันธุ์มะนาวในเมืองไทยมีอยู่หลายพันธุ์ แต่พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากได้แก่ (สมศักดิ์, 2541)

2.2.1. **มะนาวหนัง** เป็นมะนาวที่ปลูกทั่วไปตามพื้นบ้าน ลักษณะผลใหญ่ ผลอ่อน และกลมยาว หัวท้ายแหลม เมื่อโตขึ้นจะค่อยๆ สั้นเข้า หัวท้ายจะมนเข้า เมื่อโตเต็มที่จะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาว มีกลมมนบ้างเล็กน้อย ด้านหัวมีจุดเล็กๆ ผิวเรียบ เปลือกค่อนข้างหนา จึงทำให้เก็บรักษาไว้ได้นาน เป็นพันธุ์ที่รสเปรี้ยวจัด เพราะมีเปอร์เซ็นต์กรดค่อนข้างสูง น้ำมีกลิ่นหอมนำไปใช้ทำน้ำมะนาวดื่มได้ดีมาก

2.2.2. **มะนาวไข่** เป็นมะนาวที่มีลักษณะคล้ายกับมะนาวหนังทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาว หัวท้ายแหลมและค่อยๆ กลมเข้าเมื่อโตขึ้น เมื่อผลเจริญเต็มที่มีลักษณะกลมมนเป็นส่วนใหญ่ หัวและก้นมีจุกไม่แหลม ผิวเรียบ เปลือกบางใส ผลโตกว่ามะนาวหนัง ออกลูกดกและผลมีน้ำมาก มีเมล็ดค่อนข้างน้อย ข้อดีของมะนาวไข่คือ ออกผลที่ปลายกิ่ง ซึ่งสะดวกต่อการเก็บผล

2.2.3. **มะนาวแป้น** เป็นมะนาวที่ได้จากการเพาะเมล็ดพื้นบ้านแล้วมีการกลายพันธุ์ไปจนได้ลักษณะที่ดี เป็นมะนาวพันธุ์ที่คนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะเป็นมะนาวที่ให้ผลดกและออกผลตลอดทั้งปี ผลมีขนาดปานกลาง ทรงมนแป้น เปลือกบางใส มีสีเขียวอมเหลือง ไม่ค่อยมีเมล็ด

2.2.4. **มะนาวโมซี** ผลมีลักษณะกลมโต แต่ส่วนก้นผลมีลักษณะกลมแป้น ผิวเรียบ เปลือกหนาแข็ง เป็นพันธุ์ที่มีรสเปรี้ยวและไม่มีกลิ่น

2.2.5. **มะนาวพม่า** ผลอ่อนที่เกิดใหม่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกยาวหัวและก้นผลแหลม เมื่อผลโตขึ้นตรงกลางโป่งออกเรื่อยๆ หัวและก้นสั้นเข้า ผลจะค่อยๆ กลมโตเกือบเท่าส้มเขียวหวาน เมื่อผลเจริญเต็มที่ก้นผลย้อยแหลม เปลือกหนาและแข็ง ผิวของผลเมื่อเล็กๆ มีความยาว และขรุขระ เมื่อโตขึ้นร่องค่อยๆ หายไป และมองไม่ค่อยเห็นเมื่อผลโตเต็มที่ ผิวหยาบและมักมีปุ่มมาก รสชาติเปรี้ยวแต่ไม่ค่อยมีกลิ่น จึงไม่นิยมปลูกกันมากนัก

2.2.6. **มะนาวเตี้ย** ผลมีลักษณะกลมมน มีหัวที่จุกส่วนก้นแป้น ตรงกลางมีจุกแหลมๆ ยาวเล็กๆ ของเกสรตัวผู้ติดอยู่ ผิวของผลค่อนข้างหยาบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.7. **มะนาวหวาน** ผลขณะยังเล็กตรงกลางผลป่อง หัวท้ายเรียบแหลม โตขึ้นจะยิ่งสั้นเมื่อเจริญเต็มที่ หัวและก้นจะแป้น กลมคล้ายผลส้มเขียวหวานมักมีร่อง เปลือกมีสีเขียวคล้ำ เนื้อค่อนข้างแดง รสชาติหวานจืด มีกลิ่นฉุน ไม่ค่อยนิยมปลูกกันมากนัก

2.2.8. **มะนาวพันธุ์ตาฮิติ** เป็นพันธุ์ที่นำมาจากหมู่เกาะตาฮิติ เป็นมะนาวที่ไม่ตรงกับรสนิยมของคนไทย แต่มีข้อดีคือทนแล้งและติดผลได้ดีตลอดทั้งปี ผลโตเปลือกหนา เมื่อแก่จัดผลยังเป็นสีเขียวเข้ม มีน้ำมากเพราะในผลของมะนาวพันธุ์นี้ไม่มีเมล็ดอยู่เลย ดังนั้นการขยายพันธุ์จึงต้องใช้วิธีการตอนกิ่งและติดตาเท่านั้น มะนาวพันธุ์นี้มีราคาถูก จึงปลูกไว้เพื่อใช้ในยามที่มะนาวขาดตลาด

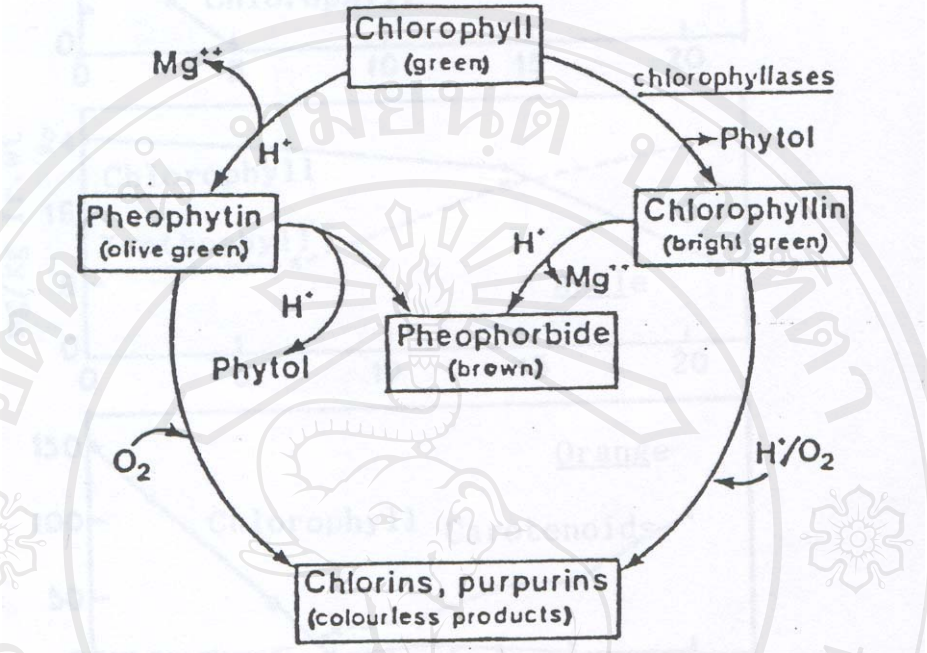
2.3 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้

การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้คือ กระบวนการสุกของผลไม้และการเสื่อมสภาพของผลผลิต ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ทางกายภาพ และทางเคมี และไม่สามารถกลับคืนสู่สภาวะเดิมได้ เป็นระยะที่มีทั้งกระบวนการสังเคราะห์และกระบวนการสลาย ดังนั้นถ้าเข้าใจในกระบวนการเหล่านี้ ทำให้สามารถจัดการและปฏิบัติต่อผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างถูกต้อง (ดนัย, 2540; เสาวคนธ์, 2544)

2.3.1. **การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างกระบวนการสุก** ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ ดังนี้

2.3.1.1 **การเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้** ในระหว่างการสุกของผลไม้ส่วนใหญ่ พบว่ามีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำให้สีเขียวหายไป การสลายตัวของคลอโรฟิลล์นั้นเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) โดยตัดหมู่ไฟตอล (phytol) ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ดังแสดงในภาพที่ 1 (ดนัย, 2540) การที่สีเขียวหายไปเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้รงควัตถุอื่นๆ เช่น สีเหลืองของรงควัตถุคาโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งตามปกติมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวข่มอยู่ ให้ปรากฏชัดออกมาพร้อมกับมีการสังเคราะห์ คาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นด้วย (Gross, 1987) นอกจากนี้ Gross (1981) ยังพบว่าการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดขึ้นได้ง่ายในสภาพที่เป็นกรด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1 วิธีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (ดนัย, 2540)

คาโรทีนอยด์เป็นสารที่แสดงสีแสด สีเหลือง และสีแดง มีคุณสมบัติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) มีคาร์บอน 40 อะตอม ตัวอย่างรงควัตถุที่พบมากได้แก่ เบตาแคโรทีน (β – carotene) และไลโคปีน (lycopane)

สีที่เปลือกของมะนาวประกอบด้วยรงคัตถุหลัก 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ คลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ เช่นเดียวกับที่พบในส้มและฝรั่ง (Gross, 1987)

สาลี่พันธุ์ Spadona และพันธุ์ Tr'evoux เมื่อเริ่มสุกมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 45.5 และ 4.5 ไมโครกรัม ตามลำดับ ทำให้สาลี่พันธุ์ Spadona เปลือกยังมีสีเขียวอยู่ในขณะที่สุก ส่วนพันธุ์ Tr'evoux นั้นเปลือกมีสีเหลืองขณะสุก (Gross, 1987) นอกจากนี้ Gross (1981) ยังพบว่าปริมาณคาโรทีนอยด์ของเปลือกส้มเขียวหวานเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก และส้มซึ่งเก็บเกี่ยวขณะที่ยังมีสีเขียวอยู่เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณคาโรทีนอยด์ต่ำกว่าผลที่ปล่อยให้สุกบนต้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของคาโรทีนอยด์ในระหว่างการสุกสามารถเกิดขึ้นได้กับผลที่ติดอยู่บนต้นและผลที่เก็บเกี่ยวแล้ว (Eliati *et al*., 1975)

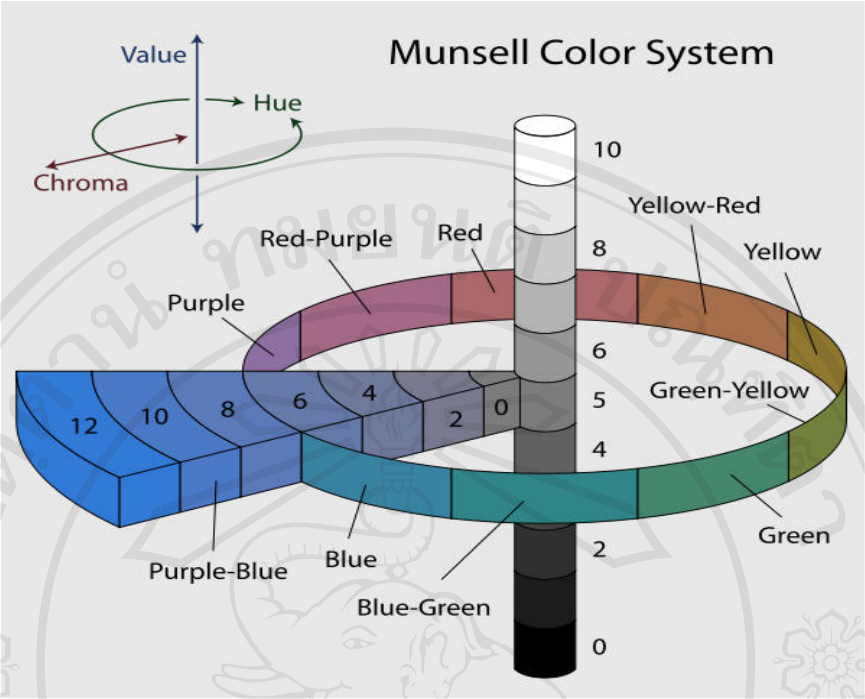
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผล ซึ่งเอทิลีนสามารถชักนำให้เกิดการสร้างคาโรทีนอยด์ได้ และขณะเดียวกันก็สามารถสลายคลอโรฟิลล์ได้ด้วย ความเข้มข้นของเอทิลีนในผลมะนาวที่ 0.1 ppm สามารถชักนำให้สีผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้ (สมโภชน์, 2535) ดังนั้นจึงมีการใช้เอทิลีนเป็นตัวเร่งให้เกิดคาโรทีนอยด์ได้เร็วกว่าการเกิดในธรรมชาติ และทำให้สีผิวของผลไม้สม่ำเสมอขึ้น (Ting and Attaway, 1971)

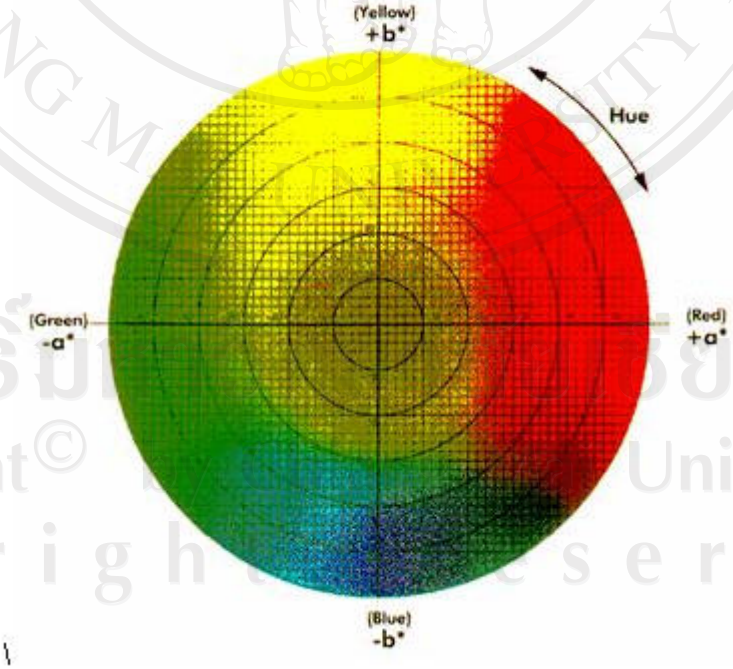
การกำจัดสีเขียวเป็นวิธีที่นิยมใช้กับส้มเป็นอย่างมาก เพราะส้มสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ผลยังมีสีเขียว ซึ่งผู้บริโภคมักคิดว่ายังไม่สุก (Cohen, 1978b) ทำให้จำเป็นต้องกำจัดสีเขียวออกไป เพื่อให้ผิวมีสีเหลืองสวยงาม การกำจัดสีเขียวในพืชตระกูลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือก ซึ่งการกำจัดสีเขียวนั้นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายในส้ม (Kader, 1985) โดยการใช้ก๊าซเอทิลีนควบคู่กับสภาวะอุณหภูมิ ความชื้น และสภาพของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยว (ดนัยและนิธิยา, 2543) นอกจากนี้ระดับความแก่ของผลผลิตยังมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีเขียวอีกด้วย (Vakis, 1975)

ในการวัดสีนั้นระบบ Munsell color system ได้แบ่งสีออกเป็น 3 มิติ คือ hue, value (linghtness) และ Chroma (colour purity or colourfulness) ซึ่งสร้างขึ้นโดย Professor Albert H. Munsell เมื่อช่วง 10 ปีแรกของศตวรรษที่ 20 ในยุคแรกๆของการใช้ระบบจำแนกสีได้แบ่งสีออกเป็น 3 มิติเช่นเดียวกันแต่ Munsell เป็นคนแรกที่ทำให้เห็นได้เป็นรูปธรรมแบบเดียวกัน และแต่ละมิติแยกเป็นอิสระต่อกัน ทำให้ระบบสีมีภาพประกอบทั้งสามมิติเป็นครั้งแรก (ภาพที่ 2) ระบบของ Munsell นี้ได้แบ่งออกเป็นอีกหลายส่วนและถูกดัดแปลงและนำมาใช้ในการวัดวัตถุต่างๆ ให้เป็นค่าทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น และหนึ่งในรูปแบบจำลองนั้นคือ CIELAB (L*a*b*) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ (Kuehni, 2002) CIE *L*a*b** (CIELAB) เป็นรูปแบบสีที่สมบูรณ์ที่สุดที่ใช้เป็นตำราในการอธิบายการมองเห็นสีของดวงตามนุษย์ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้เจาะลงมากยิ่งขึ้นโดย International Commission on Illumination เพราะ สี แดง/เขียว น้ำเงิน/เหลือง สีที่ตรงข้ามกันมีการคำนวณที่แตกต่างกันกับของรูปแบบของ Munsell โดยจะสมมุติเอาจากการตอบสนองของเซลล์ cone ที่ดวงตา โดยCIELAB เรียกได้อีกอย่างว่า Adams Chromatic Value Space ซึ่งมีสามส่วนพื้นฐานที่ใช้พิจรณาร่วมกันดังนนี้คือ ความสว่างของสี (L*, L* = 0 ให้เป็นสีดำ และ L* = 100 ให้เป็นสีขาว) ค่าระหว่าง สีแดง/แดงม่วงเข้ม และ สีเขียว (a* ถ้ามีค่าเป็นลบเป็นสีเขียว ถ้ามีค่าเป็นบวกเป็นสีแดง/แดงม่วงเข้ม) และ ค่าระหว่างสีน้ำเงินกับสีเหลือง (b* ถ้ามีค่าเป็นลบคือสีน้ำเงิน ถ้ามีค่าเป็นบวกเป็นสีเหลือง) โดยค่า L*a*b* สามารถแยกออกเป็น L*C*h*(a*,b*) ซึ่งแปลงค่ามาจากค่า a* และ b* ที่ทำมุมกัน (ภาพที่ 3) (Adam, 1942)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 ระบบสีของ Munsell (Wikipedia, 2550c)



ภาพที่ 3 ภาพไดอะแกรม CIELAB (Adam, 1942)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1.2 **การเปลี่ยนแปลงรสชาติ** เกิดจากการลดลงของปริมาณกรดแทนนิน และการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาล ซึ่งความหวานที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการสลายตัวของแป้ง (เสาวคนธ์, 2544) รสเปรี้ยวของผลไม้เกิดจากกรดอินทรีย์ที่อยู่ในแวคิวโอลของเซลล์ กรดที่พบมากในผักและผลไม้ คือ กรดซิตริคและกรดมาลิค โดยกรดที่สะสมในผลไม้นั้นเกิดจากกรดที่เกิดขึ้นในกระบวนการหายใจใน tricaboxylic acid cycle หรือเกิดจากการจับคาร์บอนไดออกไซด์ในที่มืดหรือการ deamination ของกรดอะมิโน นอกจากนั้นยังอาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายกรดจากส่วนต่างๆ ของพืชมายังผล

กลิ่นของผลไม้ (aroma) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อรสชาติของผลไม้ ซึ่งกลิ่นของผลไม้เป็นส่วนประกอบของสารประกอบหลายชนิด ในผลไม้แต่ละชนิดมีสารให้กลิ่นที่แตกต่างกันออกไป อาจเกิดจากการเพียงสารเดียวหรือสารหลายชนิดรวมกันก็ได้ (ดนัย, 2540)

2.3.1.3 **การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผนังเซลล์** มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ ขณะที่ผลไม้ยังไม่สุกเนื้อผลจะแข็ง เมื่อผลไม้สุกเนื้อผลจะอ่อนนิ่มลง เนื่องจากช่วงที่ผลไม้ยังดิบนั้นสารประกอบเพกติน (pectin) จะอยู่ในรูปของ โปรเพกติน (propectin) ที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อผลไม้สุกก็จะเกิดการเปลี่ยนไปเป็นกรดเพกติก (pectic acid) และกรดเพกตินิก (pectinic acid) ที่ละลายน้ำได้ โดยอาศัยการทำงานของเอ็นไซม์ โพลีกาแลกตูโรเนส (polygalacturonase) และเพกตินเอสเตอเรส (pectinesterase) ในการสลายโพลิเมอร์ของ โปรเพกติน และเกิดการไฮโดรไลซ์หมู่เมทิลออกจากโมเลกุลของเพกติน จนเกิดเป็นกรดเพกติกขึ้นมา กระบวนการนี้เป็นผลให้เซลล์เสียความสามารถในการเกาะติดกันในส่วนของมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ของเซลล์ (ดนัย, 2540) และเกิดการแตกหักของ calcium cross – link ระหว่างโมเลกุล ทำให้เนื้อผลอ่อนนิ่มลง (Hulme and Rhodes, 1971)

2.3.1.4 **การเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ** เช่น การสังเคราะห์โปรตีนกรด ไรโบนิวคลีอิก (RNA) เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน วิตามิน กรดอะมิโน เอนไซม์ และอื่นๆ

2.3.2. **การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา** การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้เด่นชัดได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักสด อัตราการหายใจ และอัตราการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน

2.3.2.1 **การสูญเสียน้ำหนักสด** พืชและผลผลิตสดต่างๆ มีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ (กนกวรรณ, 2549) การสูญเสียน้ำของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความชื้นในอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ เป็นต้น (ดนัย, 2534) การสูญเสียน้ำหนักสดนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร แต่ตรงกันข้ามกับขนาดของผล นั่นคือการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลไม้ที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือก โดยผลที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวนปากใบ (stomata) มากกว่า

ในผลไม้ตระกูลส้มนั้นการสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว (ชูชาติ, 2537) Peleg (1985) พบว่าหากมีการสูญเสียน้ำเพียง 5–10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักก็ทำให้เกิดการเหี่ยวของผล ความแน่นเนื้อลดลง และรสชาติไม่ดีได้

Grierson and Wardowski (1978) พบว่าเมื่อส้มสูญเสียน้ำหนัก 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากทำให้ผลเหี่ยวและเสียรูปทรงแล้ว ยังทำให้เปลือกผลบาง แข็ง ปอกรับประทานยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ ทั้งที่คุณภาพภายในผลยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

Sornsrivichai *et al*., (1992) ทำการเก็บรักษาส้มเขียวหวานที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 8–10 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 1 สัปดาห์ และปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็น

ดังนั้นการสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตในระหว่างการเก็บรักษา (สายชล, 2528ข)

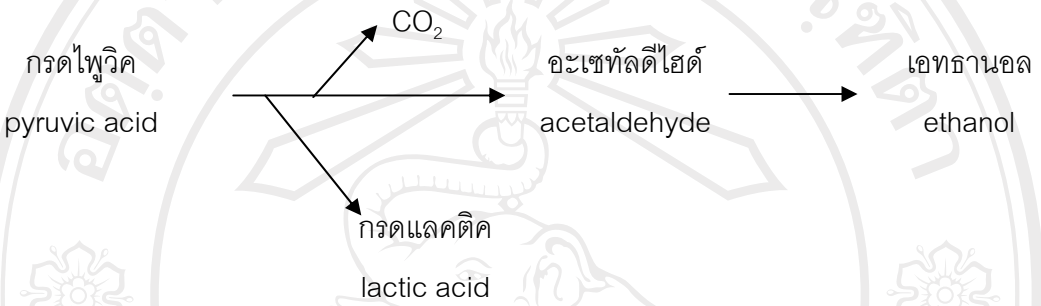
2.3.2.2 **อัตราการหายใจ** การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเป็นผลมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ภายในเซลล์ ในขณะที่มีการเจริญเติบโตของเซลล์นั้นพบว่ามีการใช้พลังงานสูง ทำให้อัตราการหายใจสูงตามไปด้วย เมื่ออัตราการเจริญลดลง อัตราการหายใจก็จะค่อยๆ ลดลง และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อผลไม้เริ่มสุก การหายใจของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานสารอาหาร คือคาร์โบไฮเดรต ให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ adenosine triphosphate (ATP) โดยนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นอายุการเก็บรักษารวมทั้งคุณภาพของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (สายชล, 2528ก; จริงแท้, 2540; ยงยุทธ, 2535) การหายใจมี 2 แบบ ได้แก่

2.3.2.2.1. **การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)** เป็นการหายใจแบบที่ต้องอาศัยก๊าซออกซิเจนในการออกซิไดซ์น้ำตาลให้เป็น CO_2, H_2O และพลังงาน ดังสมการ

$$\underset{\text{น้ำตาล}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{ออกซิเจน}}{O_2} \longrightarrow \underset{\text{คาร์บอนไดออกไซด์}}{6CO_2} + \underset{\text{น้ำ}}{6H_2O} + \text{พลังงาน}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.2.2. **การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration)** เป็นการหายใจที่ไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนหรือใช้เพียงเล็กน้อย โดยกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis system) จะไม่ผ่านเข้าสู่กระบวนการ Kreb's cycle แต่ถูกรีดิวซ์ไปเป็นกรดแลคติกหรืออะซิตัลดีไฮด์ และเอทิลแอลกอฮอล์ ดังแสดงในภาพที่ 2 จึงเรียกการหายใจแบบนี้ว่า กระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งการหายใจแบบนี้เกิดขึ้นในสภาพที่มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำในระหว่างการเก็บรักษา (วงเดือน, 2546)



ภาพที่ 4 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) (Vines *et al*., 1963)

มะนาวเป็นผลไม้ประเภท non–climacteric จึงมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ ดังนั้นการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการหายใจและการผลิตเอทิลีนจึงเกิดได้น้อย (Pantastico, 1975; Leshem *et al*., 1986)

2.3.2.3 **เอทิลีน (ethylene)** เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว มีสูตรโมเลกุลคือ C_2H_4 ในขณะที่ผลไม้ยังดิบจะมีการสังเคราะห์เอทิลีนได้น้อยมาก แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก ความเข้มข้นของเอทิลีนจะเพิ่มมากขึ้นภายในเนื้อเยื่อของผลไม้ (ดนัย, 2540; Moore, 1989)

Barmore *et al*. (1976) พบว่าการใช้เอทิลีน 1-10 ppm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรือ 30 องศาเซลเซียส สามารถเปลี่ยนสีผลมะนาวเลมอนพันธุ์ Bearss จากสีเขียวให้เป็นสีเหลืองได้ภายใน 2–3 วัน ซึ่งเร็วกว่าวิธีการกำจัดสีเขียวที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องใช้เวลา 2–3 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การเก็บรักษามะนาว

ในการเก็บรักษามะนาวนั้น เชื้อราและแบคทีเรียเป็นสาเหตุอันดับต้นๆ ในการทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต โดยเข้าทำลายผลผลิตได้ตั้งแต่อยู่ในแปลงและภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ขณะคัดเลือก บรรจุ หรือการขนส่ง เชื้อจะเข้าทำลายผลผลิตทางเลนติเซล รอยแตก รอยช้ำ หรือบาดแผล ตามธรรมชาติมะนาวเป็นผลไม้ที่มีคิวติน (cutin) เคลือบผิวอยู่ จึงช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ แต่ถ้าชั้นคิวตินบางส่วนถูกทำลายทำให้เกิดช่องทางเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ง่ายขึ้น (จริงแท้, 2538) พันธุ์ทิพย์ (2543) พบว่าโรค alternaria rot และ red blotch ในผลมะนาวที่ได้รับอุณหภูมิสูง 33 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสนั้น การฆ่าเชื้อสาเหตุสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อหรือการใช้โอโซน เป็นต้น การใช้น้ำยาฆ่าเชื้อสามารถทำได้โดยนำคลอรอกซ์ (clorox) ผสมน้ำ 1 ต่อ 15 ส่วน แล้วแช่ผลมะนาวไว้ประมาณ 5 นาที จึงนำมะนาวมาผึ่งลมเพื่อให้สะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปเก็บรักษาต่อไป (ภูวนาท, 2543) ส่วนโอโซนนั้นเป็นตัวต้านทานอนุมูลอิสระ (antioxidant) อย่างดี อีกทั้งสามารถแทรกซึมเข้าไปในที่ต่างๆ ได้ง่าย และสามารถสลายตัวกลายเป็นสารประกอบที่ไม่มีพิษ จึงเหมาะแก่การนำมาทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคในผักและผลไม้ (Federal Register, 2001)

การเก็บรักษามะนาวยังสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

2.4.1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Storage)

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนั้นมีจุดประสงค์เพื่อลดกระบวนการเมตาบอลิซึมของผลผลิตให้ต่ำลง เพื่อให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น (Ryall and Lipton, 1979) การบรรจุมะนาวลงในไหแล้วกลบด้วยทรายสะอาด พรมน้ำให้ชุ่ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10–20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 1–2 เดือน (สราวุธและชุตินันต์, 2531)

การลดอุณหภูมิของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวจะช่วยชะลอการเสื่อมสภาพ และป้องกันการเหี่ยวเฉาได้ (จำนงและคณะ, 2529) กฤษณา (2544) พบว่าผลมะนาวที่ได้รับอุณหภูมิ 5 องซาเซลเซียส ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิว การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และลดการเกิดโรคได้ดีกว่า ผลมะนาวที่ไม่ได้รับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับ Takao (1988) ที่รายงานว่าอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาผลผลิตส้มเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวที่เปลือก

2.4.2. การเก็บรักษาในสภาพความดันบรรยากาศต่ำ (Low Pressure Storage)

การเก็บรักษาในสภาพความดันบรรยากาศต่ำเป็นการเก็บรักษาผลผลิตโดยการลดความดันของบรรยากาศในระหว่างการเก็บรักษาให้ต่ำลงกว่าปกติ การทำให้ความดันลดลงจาก 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บรรยากาศเหลือเพียง 0.1 บรรยากาศนั้น เป็นผลให้สามารถจำกัดก๊าซออกจากบรรยากาศและพืชได้เร็วขึ้น 10 เท่า (ดนัยและนิธิยา, 2533) เมื่อลดความดันลงต่ำกว่าบรรยากาศปกติจะทำให้ปริมาณของออกซิเจนลดลง จึงมีผลในการชะลออัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีนในเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นจึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าการเก็บรักษาในห้องเย็นธรรมดา (Wills *et al*., 1981) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของผลไม้บางชนิดในห้องเย็นธรรมดาและห้องเย็นภายใต้ความดันต่ำ

ชนิดผลไม้	อายุการเก็บรักษา (วัน)	
	ห้องเย็นธรรมดา	ห้องเย็นภายใต้ความดันต่ำ
กล้วย (พันธุ์ Valery)	10 – 14	90 – 100
อะโวคาโด (พันธุ์ Lula)	23 – 30	90 – 100
มะนาว (พันธุ์ Tahiti)	14 – 35	60 – 90
แอปเปิ้ล (พันธุ์ Delicous)	60 – 90	300
สาลี่ (พันธุ์ Bartlett)	45 - 60	300

ที่มา : Brug (1975)

2.4.3. การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ (Controlled Atmosphere Storage หรือ CA Storage)

การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศเป็นการเก็บรักษาในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของก๊าซในบรรยากาศให้แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติที่ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 78.08 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 20.95 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งควบคุมโดยการลดออกซิเจนลงและเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น การควบคุมนี้มีผลทำให้อัตราการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในผลผลิตลดลง รวมทั้งยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย (เสาวคนธ์, 2544)

2.4.4. การเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere Storage หรือ MA Storage)

การเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลงเป็นวิธีการหนึ่งในการชะลอการสุกของผลไม้และยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานยิ่งขึ้น การใช้สารเคลือบผิวหรือการห่อด้วยฟิล์มพลาสติกก็จัดเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษาได้ ซึ่งสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เคลือบผิวหรือแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ใช้ห่อผลผลิต มีคุณสมบัติในการจำกัดการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เอทิลีน และสารระเหยอื่น ๆ (ดนัย, 2540) Thongaram (1988) รายงานว่าการเคลือบผิวผลสาลี่พันธุ์ Siang Sui ด้วย Semperfresh 1– 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลสาลี่ได้ ส่วนการเก็บรักษามะนาวในถุง polyethylene แล้วนำไปแช่ไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 59.25 วัน (สุจินต์, 2534) นอกจากนี้ Sornsrivichai *et al*. (1990b) ได้เคลือบผิวสาลี่ด้วย Semperfresh 1–2 เปอร์เซ็นต์ แล้วหุ้มด้วยพลาสติก นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

2.5 โอโซน (Ozone)

โอโซนเป็นก๊าซธรรมชาติที่มีการค้นพบมาเป็นเวลา 150 ปีมาแล้ว ซึ่งเยอรมันเป็นประเทศแรกที่นำโอโซนมาใช้ในด้านการแพทย์ และต่อมาสหรัฐอเมริกาได้นำมาทดลองใช้ทางด้านการแพทย์เช่นเดียวกัน (ชมภูศักดิ์ และเทพนม, 2540)

ก๊าซโอโซน (O_3) มีสถานะทางกายภาพเป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 จุดหลอมเหลวเท่ากับ -192.1 องศาเซลเซียส จุดเดือด -112 องศาเซลเซียส และมีการละลายน้ำที่ 49 มิลลิลิตรต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส (ชมภูศักดิ์ และเทพนม, 2540) ความหนาแน่นในสถานะของเหลวคือ 2.144 กรัมต่อลิตร และความหนาแน่นในสถานะก๊าซคือ 1.614 กรัมต่อลิตร (Windholz *et al*., 1983) มีน้ำหนักประมาณ 0.135 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ค่าออกซิเดชันโพเทนเชียลประมาณ -2.07 V ส่วนในคลอรอกซ์มีค่าออกซิเดชันโพเทนเชียลประมาณ -1.87 V (สิริพร, 2543)

โอโซนเกิดจากก๊าซออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมของธาตุออกซิเจน จากนั้นอะตอมของออกซิเจนจะไปรวมกับก๊าซออกซิเจนกลายเป็นก๊าซโอโซน (Suslow, 1997) ดังสมการข้างล่าง

$$O_2 \longrightarrow O^o + O^o$$

ก๊าซออกซิเจน อะตอม อะตอม

$$O^o + O_2 \longrightarrow O_3$$

อะตอม ออกซิเจน ก๊าซโอโซน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โอโซนถูกผลิตขึ้นในธรรมชาติจากการแผ่รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) จากดวงอาทิตย์และการเกิดฟ้าแลบ ส่วนในทางการค้าถูกผลิตขึ้นมาโดยใช้แสง UV ที่ความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร หรือ corona discharge โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อให้โมเลกุล O_2 แตกตัวและรวมตัวเป็น O_3 (อัมพวัน, 2544)

โอโซนทำงานโดยเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ซึ่งมีผลในการฆ่าเชื้อโรคและย่อยสลายก๊าซพิษและสารเคมี (ชมภูศักดิ์, 2539) ด้วยคุณสมบัติการเป็นตัวออกซิไดซ์ โอโซนจึงมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคที่เหนือกว่าสารเคมีจำพวกคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลายประเทศในยุโรปจึงได้มีการเลือกใช้ก๊าซโอโซนแทนสารเคมีดังกล่าว (ชมภูศักดิ์ และเทพนม, 2540) โอโซนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ (อภินันท์, 2547)

- ย่อยสลายสารพิษที่ติดมากับพืช ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์
- ล้างภาชนะ เครื่องแก้ว จานชาม ไม่ให้มีรอยคราบสารเคมีและสบู่
- รักษาดินและฟื้นฟูสภาพดินให้ปราศจากเชื้อรา
- ทำน้ำโอโซนสเปรย์เพื่อยืดอายุของดอกไม้
- ใช้น้ำโอโซนในกระบวนการล้างเนื้อสัตว์และอาหารทะเล ก่อนที่เข้าสู่กระบวนการบรรจุเพื่อส่งออกนอกประเทศ
- บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
- กำจัดกลิ่นจากน้ำโสโครก
- ใช้ทำน้ำสะอาดในสระว่ายน้ำแทนสารคลอรีน
- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้อบอาหารและสมุนไพร
- ใช้เตรียมน้ำสะอาดปราศจากเชื้อ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยา
- ผลิตเป็นอุปกรณ์ล้างมือทางการแพทย์แทนการใช้สารเคมี

ในปัจจุบันได้มีการนำโอโซนเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมผักและผลไม้สดมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งโอโซนมีครึ่งชีวิตในน้ำที่อุณหภูมิห้องเพียงแค่ 20 นาทีเท่านั้น และสลายตัวไปเป็นออกซิเจนธรรมดา จึงไม่ต้องกังวลว่าจะมีโอโซนตกค้างในอาหาร (Graham, 1997) ในต่างประเทศได้มีการค้นคว้าหาสารเคมีที่จะนำมาเป็นตัวฆ่าเชื้อโรคในผักและผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ในบางผลิตภัณฑ์หรือในบางขั้นตอนของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวได้มีการนำเอาโอโซนมาใช้ฆ่าเชื้อโรคเพื่อทำน้ำบริสุทธิ์สำหรับใช้ล้างผลิตผลทั้งที่ปอกเปลือกและยังไม่ปอกเปลือก หรืออาจใช้ฆ่าเชื้อโรคในห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาผลิตผล (ชมภูศักดิ์ และเทพนม, 2540) สำหรับรูปแบบของโอโซนที่นำมาใช้กับผลิตผลเกษตรนั้นมีทั้งที่ใช้ในรูปของก๊าซโดยใช้รมผลผลิตโดยตรงและการใช้โอโซนผ่านลงไปในน้ำแล้วนำผลิตผลมาแช่ในน้ำอีกทีหนึ่ง

มีหลายงานวิจัยที่นำน้ำที่ผ่านโอโซนมาใช้กับผักและผลไม้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยแก่ผักและผลไม้สด โดย Hwang *et al.* (2001) ได้นำผลแอปเปิลมาจุ่มสาร mancozeb ความเข้มข้น 1 และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

10 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปล้างในน้ำที่ผ่านโอโซน พบว่าสามารถลดปริมาณสาร mancozeb ตกค้างได้ 56-97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การใช้โอโซน 1 และ 3 ppm สามารถลดปริมาณสาร ethylene thiourea ตกค้างได้อีกด้วย

Cash *et al.* (1999) นำผลแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious ทั้งที่เป็นผลสดและแปรรูปมาล้างในน้ำที่ผ่านโอโซน โดยน้ำที่ใช้เป็นน้ำกลั่น pH 6.7 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และโอโซนเข้มข้น 2.5 ppm นาน 30 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณสารตกค้างได้ 80 เปอร์เซ็นต์ของผลแอปเปิลทั้งหมด

Ong *et al.* (1996) พบว่าการล้างผลแอปเปิลในน้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) ช่วยลดปริมาณสาร azinphos-methyl, captan และ formetanate hydrochloride ได้ 50-100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้โอโซนยังมีผลช่วยลดความรุนแรงของสาร carbofuran ได้อีกด้วย (Benitez *et al.*, 2002)

Kim *et al.* (1999) ใช้น้ำที่มีโอโซนล้างผักกาดหอมหั่นฝอย (shredded lettuce) โดยการฉีดโอโซน 1.3 มิลลิโมล ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที เข้าไปในน้ำที่มีผักกาดหอมอยู่ในอัตราส่วน 1 : 20 โดยน้ำหนัก และมีการกวนด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 3 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดได้ถึง 2 log cfu/g เช่นเดียวกับ Kondo *et al.* (1989) ซึ่งใช้วิธีนี้กับผักกาดขาวปลี พบว่าโอโซนมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Escherichia coli* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์สำคัญตัวหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคในอาหาร นอกจากนี้ Hyun–Gyun *et al.* (2006) ยังพบว่าโอโซนที่ทำปฏิกิริยากับน้ำที่ความเข้มข้น 5 ppm สามารถช่วยลดจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่พบบนผักกาดหอมห่อได้

Singh *et al.* (2002) ได้ล้างผักกาดหอมและเบบี้แครอทในน้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน 9.7 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 10 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อ E. *coli* O157:H7 ได้

Spotts and Cervantrs (1992) พบว่าการแช่ผลสาลี่ในน้ำที่ผ่านโอโซนเข้มข้น 0.99, 0.69 และ 0.39 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของ *Penicillium expansum* และ *Alternaria* sp. ได้

ฉันทวรรณ และคณะ (2545) ได้ใช้น้ำโอโซนล้างถั่วงอกเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ โดยให้น้ำโอโซนไหลผ่านอัตรา 3 ลิตรต่อนาที นาน 10 นาที ซ้ำ 2 ครั้ง แล้วสะเด็ดน้ำด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็ว 800 รอบต่อนาที นาน 3 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ถึง 0.7-1.0 log cfu/g และลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มได้ 1.0-2.0 log cfu/g ขณะที่การล้างด้วยน้ำประปาลดได้เพียง 0.6-0.7 log cfu/g และ 0.1-0.8 log cfu/g ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อรุโณทัย (2546) ได้ศึกษาผลของโอโซนที่มีต่ออายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิ โดยปล่อยก๊าซโอโซนในอัตรา 100 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ลงไปในน้ำกลั่นเป็นเวลานาน 0, 30, 45 และ 60 นาที พบว่าผลลิ้นจี่ที่ผ่านก๊าซโอโซนมีการเน่าเสียน้อยกว่า โดยที่ก๊าซโอโซนไม่มีผลต่อคุณภาพผลลิ้นจี่

ในลูกพลับนั้น โอโซนยังช่วยรักษาความแน่นเนื้อ ทำให้ผลไม่นิ่มเร็วในระหว่างการเก็บรักษา (Alejandra *et al*., 2006) นอกจากนี้ Skog and Chu (2001) ยังรายงานว่าโอโซน (0.4 μLL^{-1}) สามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาบร็อคโคลีและแตงกวาเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ส่วนในสตรอเบอรี่นั้น พบว่าโอโซนช่วยชะลอการนิ่มของผลและการสูญเสียน้ำหนัก แต่โอโซนทำให้ สตรอเบอรี่สูญเสียกลิ่นหอมไป (Perez *et al*.,1999; Nadas *et al*., 2003)

นอกจากนี้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) ยังได้ทำการพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซโอโซนเพื่อใช้ในการล้างผักที่ปนเปื้อนสารพิษ พบว่าสามารถกำจัดสารพิษได้จริง เนื่องจากโอโซนช่วยทำให้โครงสร้างทางเคมีของยาฆ่าแมลงที่ติดอยู่ในผักแตกตัวและหลุดออกจากผักได้ (ฝ่ายประชาสัมพันธ์ มจธ., 2544)

2.6 สารเคลือบผิวที่บริโภคได้

ในปัจจุบันสารเคลือบผิวที่บริโภคได้เป็นที่สนใจจากผู้บริโภคมากขึ้น เนื่องจากค่านิยมของผู้บริโภคในปัจจุบันนิยมใส่ใจในสุขภาพและตระหนักถึงความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมมากขึ้น (จริงแท้, 2538) ดังนั้นสารเคลือบผิวที่ผลิตเป็นการค้าส่วนมากจึงสกัดหรือผลิตมาจากพืช หรือสัตว์ สารเคลือบผิวที่บริโภคได้มีการพัฒนาและใช้ประโยชน์มาช้านานแล้ว จีนเป็นประเทศแรกที่ใช้แวกซ์เคลือบผิวส้มและมะนาวเพื่อชะลอการสูญเสียน้ำตั้งแต่ศตวรรษที่ 12 และ 13 (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมามีรายงานผลวิจัยมากมายที่ได้ศึกษาหาชนิดของสารและพัฒนาสูตรของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ เพื่อนำมาใช้เคลือบผิวของอาหาร ผัก และผลไม้กันมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาฟิล์มที่สามารถบริโภคได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งประโยชน์ของฟิล์มที่บริโภคได้ คือ ช่วยลดปริมาณขยะ รักษาสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น และทำให้ผู้บริโภคมีความปลอดภัย สารเคลือบผิวที่บริโภคได้บางชนิดยังช่วยเพิ่มสารอาหารให้แก่ร่างกายอีกด้วย (Greener and Fennema, 1994)

Dongling and Quantick (1997) ใช้ไคโตซาน (chitosan) ความเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวผลลิ้นจี่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenoloxidase เป็นผลให้ผลลิ้นจี่เกิดสีน้ำตาลเข้าลง และลดการสูญเสียน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Mellenthin *et al*. (1980) พบว่าในสาลี่ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ fresh cote สามารถชะลอการเปลี่ยนสีของผลสาลี่ได้

Peter *et al*. (1998) รายงานว่าการเคลือบผิวเกรฟฟรุ้ตด้วยแชลแลค (shallac)นั้น พบว่าเกิดการยุบตัวเป็นแห่งๆ ของผล (surface pitting) ส่วนผลที่เคลือบด้วยคาร์นูบาแวกซ์ไม่เกิดการยุบตัว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jinhe *et al*. (2003) ที่พบว่าเมื่อใช้สารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมหลักเป็นโปรตีน zien ให้คุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวดีกว่าผลผลิตที่เคลือบด้วยแชลแลค

Peiyin and Barth (1998) ได้นำสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ซึ่งมีส่วนประกอบของ cellulose เป็นหลัก เคลือบแครอท พบว่าเมื่อเก็บรักษาผ่านไป 28 วัน แครอทมีปริมาณแคโรทีน (carotene) มากกว่าชุดควบคุมถึง 15 เปอร์เซ็นต์

Baldwin *et al*. (1999) ได้เคลือบผิวมะม่วงด้วยสารเคลือบผิวสองชนิด คือชนิดที่มี พอลิแซกคาไรด์ และชนิดที่มีคาร์นูบาแวกซ์เป็นส่วนผสมหลัก พบว่าสารเคลือบผิวทั้งสองชนิดยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าออกได้แตกต่างกัน โดยสารเคลือบผิวพอลิแซกคาไรด์ยอมให้แก๊สผ่านเข้าออกได้น้อยกว่า แต่ยอมให้ไอน้ำผ่านเข้าออกได้ดีกว่า และชะลอการสุกได้ดีกว่า

เพลินพิศ (2548) ใช้ไคโตซานเคลือบผิวส้มสายน้ำผึ้ง พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาส้มได้ 15 วัน ส่วนมะนาวที่เคลือบผลด้วยไคโตซานผสมด้วยกรดจิบเบอเรลลิคเข้มข้น 200 ppm พบว่าให้คุณภาพผลหลังการเก็บรักษาดีกว่าผลที่ไม่ได้เคลือบผิว (Penvipa *et al*., 2002)

การใช้แผ่นฟิล์ม Zein ที่ผสมกรดโอเลอิก (oleic acid) ห่อดอกบร๊อคโคลี พบว่าช่วยชะลอการเกิดสีเหลืองและการนิ่มของผลผลิตได้ (Rakotonirainy *et al*., 2001)

นอกจากนี้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้และ polyrthylene ยังสามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ได้ในส้มพันธุ์ Balady (Attia, 1995) เช่นเดียวกับ Dou (2004) ที่ใช้ คาร์นูบาแวกซ์และ polyethylene เคลือบผิว grapefruit แล้วพบว่าสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้

2.6.1. บทบาทของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ มีดังนี้ (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

2.6.1.1 ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำ

2.6.1.2 ชะลอการแลกเปลี่ยนก๊าซ

2.6.1.3 ชะการสูญเสียไขมัน และน้ำมัน

2.6.1.4 ชะลอการสูญเสียสารตัวถูกละลาย

2.6.1.5 ช่วยรักษาสารให้กลิ่น

2.6.1.6 เป็นช่องทางในการเติมสารเติมแต่งอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 ข้อดีของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ คือ (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

2.6.2.1 มีราคาถูกเมื่อเทียบกับแวกซ์หรือแผ่นพลาสติกที่ใช้ห่อผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

2.6.2.2 สามารถล้างออกได้หรือบริโภคได้เลย ทำให้มีปริมาณขยะลดลง

2.6.2.3 สารเคลือบผิวที่บริโภคได้บางชนิดทำให้ผิวของผักและผลไม้เป็นมันวาวดูสวยงามและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค

2.6.2.4 สารเคลือบผิวบางชนิดช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ให้แก่ผู้บริโภคได้ โดยเฉพาะสารเคลือบผิวในกลุ่มโปรตีน

2.6.2.5 สารเคลือบผิวที่บริโภคได้บางชนิดเป็นของเหลือใช้ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ไคโตซานที่สกัดได้จากเปลือกกุ้ง

2.6.2.6 สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ ในกลุ่มไขมันมีสมบัติในการชะลอการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลผลิต จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำ

2.6.2.7 สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช เซลลูโลส เพกทิน อะการ์ และกัม สามารถช่วยชะลออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ

นอกจากนี้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ยังต้องสามารถตอบสนองความต้องการหลายๆ ประการจึงจะเป็นที่ยอมรับได้ เช่น ต้องง่ายต่อการผสมและนำไปใช้เคลือบผิวได้สะดวก ดูดซับอยู่ที่ผิวแน่นไม่หลุดออกได้ง่าย มีความคงตัว และมีลักษณะค่อนข้างใส เมื่อเคลือบผิวแล้ว ต้องไม่ทำให้ผลไม้มีลักษณะปรากฏที่เปลี่ยนไป

2.6.3 ชนิดของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชและสัตว์ เช่น ธัญพืช น้ำมันพืช โปรตีนและสารสกัดจากสาหร่ายทะเล เป็นต้น การใช้สารเหล่านี้เมื่อนำมาเคลือบผิวผักและผลไม้ อาจใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกันก็ได้ โดยต้องมีการพัฒนาส่วนผสมของสารเคลือบผิวให้เหมาะสมต่อผลไม้แต่ละชนิดและให้สะดวกในการนำไปใช้เคลือบผิวด้วย ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่บริโภคได้มีดังนี้ (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

2.6.3.1 แป้ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืช เช่น แป้งข้าวจ้าวและข้าวโพด นอกจากนั้นยังได้จากราก และลำต้นใต้ดินของพืชบางชนิด เช่น มันสำปะหลังและมันฝรั่ง เป็นต้น

2.6.3.2 น้ำมันพืช เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ฝ้าย ปาล์ม งา ถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

2.6.3.3 โปรตีน เช่น เจลาติน ซึ่งละลายได้ดีในน้ำร้อน และมีสภาพเป็นเจลใส ยืดหยุ่นได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3.4 สารสกัดจากสาหร่ายทะเล เช่น วุ้น ซึ่งละลายได้ดีในน้ำร้อน เมื่อใช้เคลือบผิวผัก และผลไม้ จะมีลักษณะเป็นแผ่นใสหุ้มอยู่ด้านนอก

2.6.3.5 สารที่ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม ซึ่งละลายได้ในน้ำเย็น และมีความข้นหนืดสูง

2.6.3.6 พอลิแซกคาไรด์อื่นๆ ที่ได้จากพืช เช่น สตาร์ช เซลลูโลส เพกทิน และกัม

2.6.3.7 สารสกัดจากสัตว์ เช่น ไคโตซาน จัดคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ที่พบในเปลือกกุ้ง และกระดอง เป็นต้น

2.6.4 ชนิดของสารที่ใช้เติมลงในสารเคลือบผิวที่บริโภคได้

สารที่ใช้เติมลงในสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ อาจทำให้สมบัติของสารเคลือบผิวเปลี่ยนไป และอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติการเป็นตัวกั้น สารที่ใช้เติมลงในสารเคลือบผิว เช่น พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) มีผลทำให้สารเคลือบผิวติดกับผิวผลไม้ได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น แอซทิเลเทตโมโนกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล พอลิเอทิลีน และโพรไพลีนไกลคอล ส่วนการเติมอิมัลซิไฟเออร์ลงสารละลายจะทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความคงตัวดี ขณะที่สารลดแรงตึงผิวจะช่วยทำให้สารละลายเคลือบติดอยู่ที่ผิวของผลไม้ได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผล สารชนิดอื่นๆ ที่ใช้เติมลงในสารเคลือบผิว เช่น สารกระตุ้นจุลินทรีย์ สารต้านออกซิเดชัน สารให้กลิ่น สารสี สารกันเสีย และวิตามิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามต้องคำนึงได้เสมอว่าผู้บริโภคอาจไม่ชอบการเติมสารเคมีลงในผลไม้ได้ (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

2.6.5 คาร์นูบาแวกซ์ (Carnauba Wax)

คาร์นูบาแวกซ์เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่มาจากปาล์มพื้นเมืองบราซิล (Brazil plam; *Copernicia cerifera*) ซึ่งปาล์มชนิดนี้ผิวใบจะมีผงไขติดอยู่คล้ายฝุ่น การนำฝุ่นไขนี้มาใช้ประโยชน์ทำได้โดยนำใบปาล์มมาตีด้วยใบพายเพื่อให้ฝุ่นไขที่เกาะตามใบร่วงหล่นลงภาชนะรองรับ สีของคาร์นูบาแวกซ์จะเป็นสีค่อนข้างเหลือง (Swern, 1964) มีคุณสมบัติให้ความมันวาวดี ไม่หลุดลอกออกได้ง่าย แต่ควบคุมการสูญเสียน้ำได้น้อย (นิธิยาและไพโรจน์, 2547) แข็งมากที่สุด มีกลิ่นหอมและมีจุดหลอมเหลวสูง (Krochta *et al*., 1994) โดยมีจุดหลอมเหลวประมาณ 83-86 องศาเซลเซียส (Swern, 1964)

นอกจากนำคาร์นูบาแวกซ์มาใช้เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้แล้ว ยังพบว่ามีการนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ อีก เช่น เป็นส่วนผสมของสารเคลือบเงาในรถยนต์ ยาขัดรองเท้า น้ำมันแลกเกอร์ นำยาขัดกีตาร์ น้ำยาขัดเฟอร์นิเจอร์และไหมขัดฟัน ส่วนผสมสำคัญในเครื่องสำอาง ส่วนผสมของลูกกวาด และใช้เคลือบแคปซูลยา เป็นต้น (Wikipedia, 2550b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.6 แคนเดลิลลาแวกซ์ (Candelilla Wax)

แคนเดลิลลาแวกซ์เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่มาจากวัชพืชในทะเลที่ชื่อว่า *Euphorbia antisyphilitica* ซึ่งพบมากในตอนเหนือของเม็กซิโก (Wikipedia, 2550a) มีคุณสมบัติในการมันวาวสูง แข็งแต่เปราะ มีกลิ่นหอม (จริงแท้, 2540) มีสีน้ำตาลและมีจุดหลอมเหลวประมาณ 67-70 องศาเซลเซียส (Swern, 1964)

การสกัดแคนเดลิลลาแวกซ์ทำได้โดยการนำพืชไปต้มในน้ำเดือด ซึ่งวิธีการสกัดนี้เป็นวิธีเดียวกับที่ใช้ในอดีตเมื่อ 60 ปีที่แล้ว นอกจากนี้ยังพบว่ามีการนำแคนเดลิลลาแวกซ์ในรูปอิมัลชันที่ไม่ทราบส่วนผสมมาใช้เคลือบผิวผลส้มและมะนาวมาช้านานแล้ว (นิธิยาและไพโรจน์, 2547)

อิมัลชันของแคนเดลิลลาแวกซ์เป็นชนิดแวกซ์ในน้ำ (wax-in-water) ซึ่งมีความคงตัวมากกว่าอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (oil-in-water) เพราะแวกซ์มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำมัน การที่แคนเดลิลลาแวกซ์มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ขณะเตรียมต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้เพื่อลดความหนืดและปั่นให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย แต่อุณหภูมิต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้น้ำหรือ continuous phase เดือดและระเหยกลายเป็นไอ ขนาดของอนุภาคจะผันแปรตามความดันที่ใช้ขณะปั่น ซึ่งจะทำให้ได้ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.66-1.89 ไมโครเมตร และยิ่งใช้ความดันสูงขนาดของอนุภาคจะยิ่งเล็กลง (Hagenmaier and Baker, 1991)

Hagenmaier and Baker (1996) ได้ทำการพัฒนาสูตรของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากแคนเดลิลลาแวกซ์ในรูปของไมโครอิมัลชันมากกว่า 70 สูตรที่มีแอมโมเนียหรือ มอร์โฟลีนเป็นสารเพิ่มค่าพีเอชให้เป็นด่าง และใช้กรดไขมัน เช่น กรดโอเลอิกและปาล์มิติกเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และยังช่วยลดการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ เพื่อหาส่วนผสมที่ทำให้มีสมบัติในการเป็นสารเคลือบผิวที่มีความมันวาวดีขึ้น และบางสูตรได้มีการเติมเจลาตินและ ไฮดรอกซีโพรมิลเมทิลซูโลสลงไปด้วย

นอกจากนำแคนเดลิลลาแวกซ์มาใช้เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้แล้ว ยังพบว่ามีการนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ อีก เช่น ใช้เป็นสารให้ความเงา ส่วนผสมในเครื่องสำอางพวกลิปปาล์มและครีม และส่วนผสมของหมากฝรั่ง เป็นต้น (Wikipedia, 2550a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.7 กรดไมริสติก (Myristic Acid)

กรดไมริสติกหรือ tetradecanoic acid มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{14}H_{28}O_2$ ดังแสดงในภาพที่ 3 (Wikipedia, 2550d) มีสีขาวและมีจุดหลอมเหลว 54.4 องศาเซลเซียส (Swern, 1964) มักพบเป็นองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช โดยเป็นองค์ประกอบ 17 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันมะพร้าว 16 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันปาล์ม Kernel และ 1.10 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันปาล์ม (กันธิมาและวิมลนารถ, 2548) มีการนำกรดไมริสติกไปใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางและยาเฉพาะทาง (Wikipedia, 2550d)

ภาพที่ 5 โครงสร้างของกรดไมริสติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved