

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 มะนาว

มะนาวเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีชื่อสามัญว่า lime จัดอยู่ในตระกูลส้ม (citrus fruit) ชนิดหนึ่ง เชื่อว่าเป็นไม้พื้นเมืองของอินเดีย มีถิ่นกำเนิดในอินเดียตะวันออก หรือ ทางภาคเหนือของอินเดีย จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Citrus aurantifolia* Swingle .

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

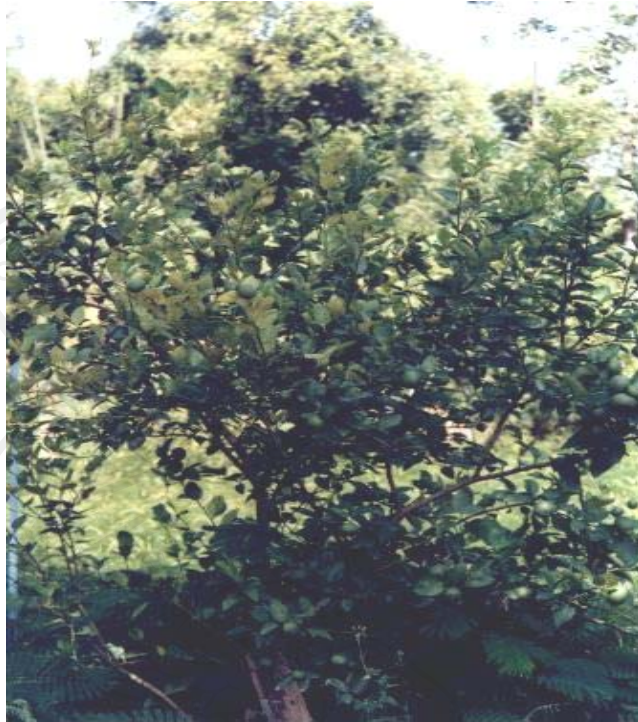
มะนาวเป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก แผ่กิ่งก้านสาขากว้าง การแตกออกของกิ่งค่อนข้างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะทรงต้นสูงประมาณ 5 เมตร มีช่วงการแตกใบอ่อนหลายครั้งและเกือบทุกครั้งที่มีการแตกใบอ่อนมักจะมีดอกออกตามมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นมะนาวและปัจจัยอื่นๆ เช่น ใสปို့ การตัดแต่งกิ่ง

ลำต้น มีลักษณะงอ เปลือกสีเทาปนน้ำตาล กิ่งอ่อนมีสีเขียวอ่อนสีจะค่อย ๆ เข้มขึ้น บนลำต้นจะมีหนาม ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณซอกใบเป็นสีเขียวจนถึงสีเขียวอมเหลือง หนามมีลักษณะ แข็ง อ้วน แหวม และสั้น

ใบ มีแผ่นในอันเดียว สีเขียวอ่อน รูปร่างค่อนข้างยาวหรือรูปไข่ ปลายใบมีรูปร่างแหลม ขอบใบมีหยัก แผ่ใบกว้างประมาณ 3-6 เซนติเมตร และยาว 6-12 เซนติเมตร ใบมีกลิ่นแรงเมื่อขยี้ ก้านใบมีขนาดสั้น มีปีกแคบหรืออาจไม่มีปีก ขึ้นอยู่กับขนาดของพันธุ์ ใบอ่อนมีสีเขียวอมแดง

ดอก เกิดที่บริเวณซอกใบ อาจจะเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ ดอกที่ตูมมีขนาดความยาว 1-2 เซนติเมตร มีสีแดงเจืออยู่ด้วย กลีบเลี้ยงสีเขียวอ่อน กลีบดอกสีขาว และด้านท้องจะมีสีม่วงปน เกสรตัวผู้มีจำนวนมากมายถึง 20-40 อัน เชื่อมติดกันเป็นกลุ่ม ๆ ละ 4-8 อัน เกสรตัวเมียมีรังไข่ รูปร่างเกือบทรงกระบอกหรือทรงถึงเบียร์ก้านเกสรจะหลุดร่วงเองได้

ผล รูปร่างยาวหรือรูปไข่ ที่ปลายมีลักษณะเป็นปุ่มเล็ก ๆ ผลที่มีความยาวประมาณ 7 - 12 เซนติเมตร ผิวเมื่อสุกจะออกสีเหลืองหรือสีทอง มีต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกเห็นได้ชัด ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระใน 1 ผล จะมี 8-10 กลีบ เนื้อสีเหลืองอ่อน รสเปรี้ยว มีกลิ่นหอม



ภาพ 2.1 ลักษณะของต้นมะนาว
ที่มา : วันทนา (2545)

เมล็ด ขนาดเล็ก รูปร่างคล้ายรูปไข่ ด้านปลายหัวท้ายจะแหลม มีเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ภายในเป็นสีขาว เมล็ดหนึ่งเมล็ดหากนำไปเพาะสามารถให้เป็นต้นกล้าได้หลายต้น แต่อาจทำให้กลายพันธุ์ ควรใช้กิ่งตอนจะดีกว่า



ภาพ 2.2 ลักษณะของดอกและผลมะนาว
ที่มา : วันทนา (2545)

มะนาวปลูกได้ง่ายในดินแทบทุกชนิดทั้งในที่ลุ่มทั้งในที่ดอน พันธุ์มะนาวที่นิยมปลูกได้แก่ มะนาวพันธุ์ทวาย เพราะเป็นมะนาวที่ออกลูกดกและออกดอกออกผลตลอดทั้งปีจึงมีผู้ปลูกกันมาก ทั้งในแง่การใช้ประโยชน์และเพื่อการตกแต่งเป็นไม้ประดับบ้าน (วิลาวัลย์, 2547) มะนาวทวายมีอยู่หลายพันธุ์ เช่น

1. พันธุ์แม่ไก่ไข่ดก มีลักษณะผลกลม ผลมีขนาดกลาง แต่มีความดกดีมาก ให้ผลได้เกือบตลอดทั้งปี

2. พันธุ์เป็นรำไพ มีลักษณะผลทรงเป็น ผลมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์แม่ไก่ไข่ดก เปลือกไม่หนา

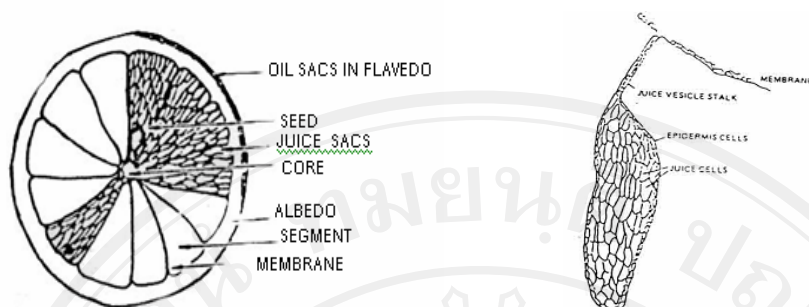
3. พันธุ์เป็นทวาย เป็นพันธุ์ที่ออกดอกติดผลง่าย ติดผลประมาณ 500 ลูก/ต้น/ปี เก็บเกี่ยวได้ตลอดปี ให้ผลมากในช่วงเดือน พฤษภาคม- กันยายน ผลเมื่ออ่อนมีสีเขียว และเมื่อแก่จัดมีสีเหลือง ผิวผลไม่เรียบ เปลือกบาง มีน้ำมาก รสเปรี้ยวจัด กลิ่นหอม เป็นที่นิยมของผู้บริโภค

มะนาวพันธุ์เป็น เป็นพันธุ์ที่มีกลิ่นหอม มีผิวบาง คือ มีความหนาเปลือกเพียง 2 มิลลิเมตร มะนาวพันธุ์เป็นเป็นมะนาวพันธุ์พื้นเมืองพันธุ์หนึ่งของไทย ที่มีการปลูกแพร่หลายทั่วไป ผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวนอน 5-6 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวตั้ง 4-5 เซนติเมตร ตอนที่ยังอ่อนอยู่ ผลจะมีสีเขียวพอแก่จัดจะกลายเป็นสีเหลือง ผิวของผลไม่เรียบเท่าไร ผลของมะนาวพันธุ์เป็นจะให้น้ำได้เมื่อผลมีอายุ 1 เดือนขึ้นไป

การเก็บเกี่ยวผลมะนาวจะทำเมื่อผลมะนาวมีอายุได้ประมาณ 14-15 สัปดาห์ ตั้งแต่ดอกบานจนผลแก่ ระยะที่ผลเจริญเต็มที่ ผิวจะมีสีเขียว ปริมาณน้ำสูงและมีคุณภาพดี ถ้าเก็บเกี่ยวตอนที่ผลมะนาวมีสีเหลืองจะทำให้คุณภาพของน้ำมะนาวลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลิ่นและรส รวมถึงอายุการเก็บรักษา (วิลาวัลย์, 2547) แหล่งผลิตมะนาวที่สำคัญของประเทศไทยได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี ลพบุรี ประจวบคีรีขันธ์ นครปฐม สมุทรสาคร กาญจนบุรี และเชียงใหม่

2.1.2 โครงสร้างของผลมะนาว

ส่วนประกอบสำคัญของพืชตระกูลส้มจะคล้าย ๆ กัน จากภายนอกสู่ภายในจะมีเปลือกซึ่งประกอบด้วย เปลือกชั้นนอก (flavedo) เปลือกชั้นกลาง (albedo) และ กลีบผล (carple segments) (ดังภาพ 2.3) และองค์ประกอบที่สำคัญของมะนาวส่วนที่สามารถบริโภคได้ต่อ 100 กรัม แสดงดังตาราง 2.1



ภาพ 2.3 ภาพตัดขวางของผลไม้ตระกูลส้ม (ก) ภาพตัดขวาง (ข) ภาพถุงน้ำ
ที่มา : Ting and Rouseff (1986)

จากภาพ 2.3 โครงสร้างของผลมะนาวจากภายนอกผลสู่ภายในผล แบ่งได้ดังนี้

1. ชั้นแรก คือ ชั้นเอปิคาร์ป (epicarp) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือกหรือ เฟลวิโด (flavedo) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลายชนิด ชั้นนอกสุดเป็นชั้น เอพิเดอร์มิส (epidermis) ที่ผิวนอกของชั้นนี้จะมีไคตินและขี้ผึ้งเคลือบอยู่เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ ถัดจากเอพิเดอร์มิสรองมาคือชั้นของคอลเลนไคมา (collenchyma) และพาราเนไคมา (parenchyma) ซึ่งมีต่อมน้ำมันหอมระเหย (oil gland)

2. ชั้นที่สอง คือ ชั้นเอลบิโด (albedo) ประกอบด้วยเซลล์ที่อยู่กันอย่างหลวมๆ เนื้อเยื่อนี้จะมีลักษณะนุ่ม และมีสีขาวในตามธรรมชาติ เนื่องจากมีช่องอากาศเป็นจำนวนมากในเนื้อเยื่อนี้ อัลบิโดประกอบด้วยเซลล์พาราเนไคมาขนาดใหญ่ที่มีสารเพคตินและเฮมิเซลลูโลสมาก ห่อหุ้มส่วนที่เป็นเอนโดคาร์ป (endocarp) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้รับประทาน ในส่วนของ อัลบิโด และ เฟลวิโด รวมเรียกว่า เพอร์ริคาร์ป หรือ เปลือก

3. ชั้นที่สาม คือ ชั้นเอนโดคาร์ป (endocarp) ประกอบด้วยกลีบผล โดยปกติอาจจะมี 9-13 กลีบ แต่ละกลีบจะถูกแบ่งออกจากกันด้วยผนังกลีบ (segment membrane) และภายในจะมีถุงน้ำ (juice vesicles) (ภาพ 2.3) ซึ่งติดกับผนังกลีบ เป็นจำนวนมาก และมีเมล็ด (seed) ที่ติดอยู่ที่แกนกลางของผล

2.1.3 น้ำมะนาว

2.1.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

ส่วนประกอบที่สำคัญและมีมากที่สุดคือน้ำมะนาว คือ กรดอินทรีย์ กรดในน้ำมะนาว ประกอบด้วย กรดซิตริก กรดมาริก กรดควินิก และกรดฟอสฟอริก ปริมาณองค์ประกอบของ

กรดต่างๆที่มีในน้ำมะนาวแสดงดังตาราง 2.2 และปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว แสดงดังตาราง 2.3

ตาราง 2.1 องค์ประกอบของมะนาวส่วนที่บริโภคได้ต่อ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น	88.70 - 93.50 กรัม
โปรตีน	0.070 - 0.112 กรัม
ไขมัน	0.040 - 0.170 กรัม
เส้นใย	0.100 - 0.500 กรัม
เถ้า	0.250 - 0.400 มิลลิกรัม
แคลเซียม	4.500 - 33.30 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	9.300 - 21.00 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.190 - 0.330 มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	0.003 - 0.040 มิลลิกรัม
ไทอามีน	0.019 - 0.068 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.011 - 0.023 มิลลิกรัม
ไนอาซิน	0.014 - 0.25 มิลลิกรัม
วิตามินซี	30.00 - 48.70 มิลลิกรัม

ที่มา : กรมอนามัย (2530)

ตาราง 2.2 องค์ประกอบของกรดในน้ำมะนาว

ชนิดของกรด	ร้อยละกรด
กรดซิตริก	91.7
กรดมาริก	4.9
กรดควินิก	0.5
กรดฟอสฟอริก	0.5
กรดที่ไม่ได้จำแนกชนิด	2.5

ที่มา : วิชาวัลย์ (2547)

ตาราง 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

องค์ประกอบ	ปริมาณต่อ 100 กรัม	
	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
pH	1.7-3.2	-
Soluble solid total (°Brix)	8.3-14.1	10
Sugar , total as invert (g)	4.94-8.32	5.97
Reducing sugar (g)	0-1.74	0.14
Sucrose (g)	-	-
Protein(total N x 6.25) (g)	0.3-0.7	0.4
Amino nitrogen (g)	-	-
Fat (g)	0-0.11	-
Mineral, total ash (g)	0.25-0.4	0.35
Calcium (g)	4.5-10.4	7
Phosphorus (mg)	9.3-11.2	10
Vitamins		
Thimin (µg)	9.3-11.2	20
Ribloflavin (µg)	11-18	15
Niacin (µg)	90-275	190
Flavanones (µg)	-	-
Folic acid (µg)	-	-
Vitamin A (µg)	3-5	4
Inositol (mg)	-	-
Vitamin C (mg)	23.6-32.7	29
Citric acid (%)	5.2-5.9	5.5

ที่มา : Tressler and Joslyn (1961)

2.1.3.2 สารที่ทำให้เกิดรสขมในน้ำมะนาว

มะนาวจัดอยู่ในผลไม้ตระกูลส้ม พืชในตระกูลนี้ได้แก่ ส้ม เลมอน เกรฟฟรุต (grape fruit) ในอุตสาหกรรมการทำน้ำผลไม้ตระกูลส้มมักประสบปัญหาเรื่องการเกิดรสขม ซึ่งมีผลทำให้ราคาตลาดต่ำลง สาเหตุของความขมเกิดจากสารในกลุ่มลิโมนอยด์ (limonoid) ตัวสำคัญที่ทำให้เกิดรสขมคือ ลิโมนิน (limonin) ซึ่งเป็นสารประเภทอนุพันธ์ของเทอร์ปีน (terpene derivative) ซึ่งพบมากในพืชวงศ์ Rutaceae และ Meliaceae

ผลไม้ตระกูลส้มส่วนใหญ่ผู้บริโภคจะรู้สึกถึงรสขมถ้าบริโภค หรือนำมาคั้นน้ำสด ๆ เพื่อดื่ม แต่พบว่าเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 ชั่วโมงหรือข้ามคืนภายในตู้ทำความเย็นพบว่าทั้งสองสภาวะจะมีรสขมเกิดขึ้น เรื่องปัญหาการเกิดรสขมในผลไม้ตระกูลส้ม ได้รับความสนใจมานานพอสมควรจากรายงานของ Maier et al. (1977) กล่าวไว้ว่ามีการค้นพบสารให้ความขมครั้งแรกโดย Bernay และ Higby พบว่าลิโมนินเป็นสารให้รสขมหลักในผลไม้ตระกูลส้มโดยเกิดจากสารตั้งต้นที่ไม่ให้รสขมภายในเนื้อเยื่อของส้มเอง

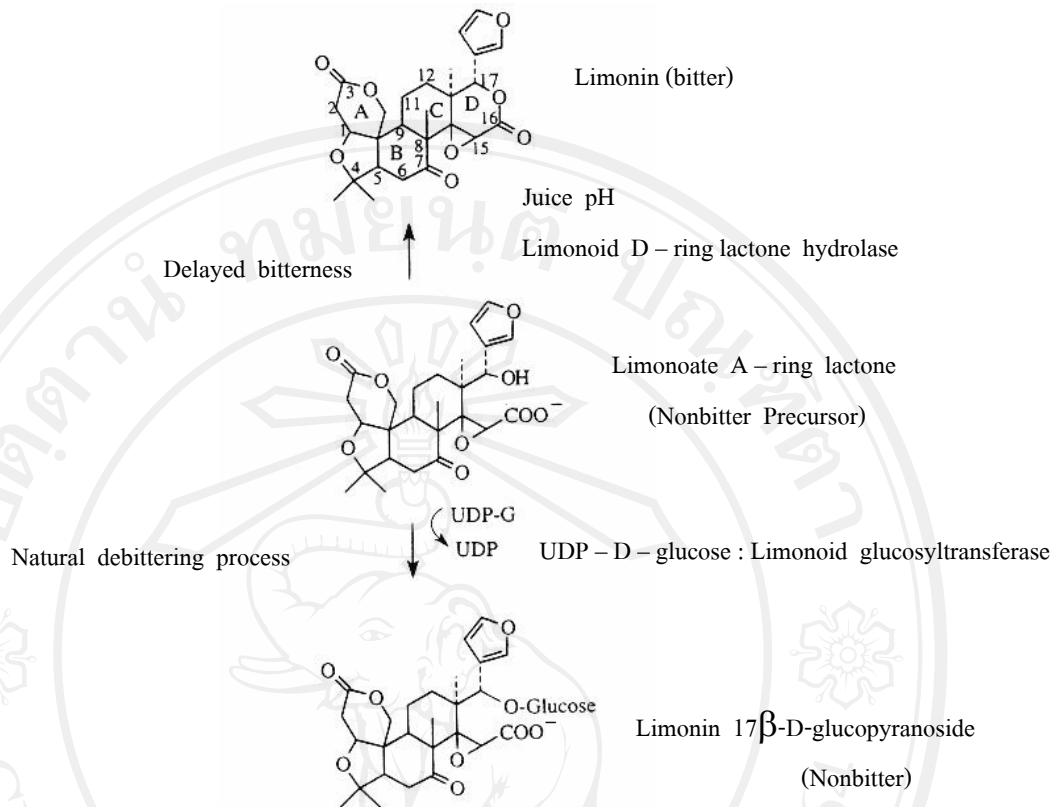
ลิโมนอยด์ที่มีอยู่ในโครงสร้างของผลไม้ตระกูลส้ม คือ อนุพันธ์ของ 17- β -D-glucopyranoside ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ secondary metabolite ที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม (Hasegawa et al., 1989) โดยพบว่า 17- β -D-glucopyranoside จะเกิดขึ้นในช่วงผลไม้กำลังเริ่มสุก โดยช่วงที่ผลไม้ยังอ่อนอยู่จะมีสาร Limonoate A-ring lactone อยู่จำนวนมากและเมื่อเริ่มสุกก็จะถูกเปลี่ยนเป็น 17- β -D-glucopyranoside โดยเอนไซม์ UDP-P-glucose limonoid glucosyltransferase (Herman et al., 1991)

2.2 สารให้รสขมในผลไม้ตระกูลส้ม

2.2.1 กลไกการเกิดรสขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

Maier and Beverly (1968) สามารถแยกสารโมโนแลคโตน (monolactone) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับลิโมนิน สารตัวนี้ไม่ให้รสขมและพบในส่วนของ capillary และ เนื้อเยื่อส่วน albedo ของส้ม เกรฟฟรุต และเมล็ดของส้ม โดยใช้วิธี Electrophoresis แบบกระดาษและโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (Thin layer chromatography; TLC) บน microcrystalline cellulose โดยพบว่า monolactone ที่พบในธรรมชาติ มีอยู่ 2 แบบ คือ A-ring lactone และ D-ring lactone

Maier and Margileth (1969) พบว่า monolactone ตัวที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับสารที่ให้รสขมคือ A-ring lactone ดังภาพ 2.4

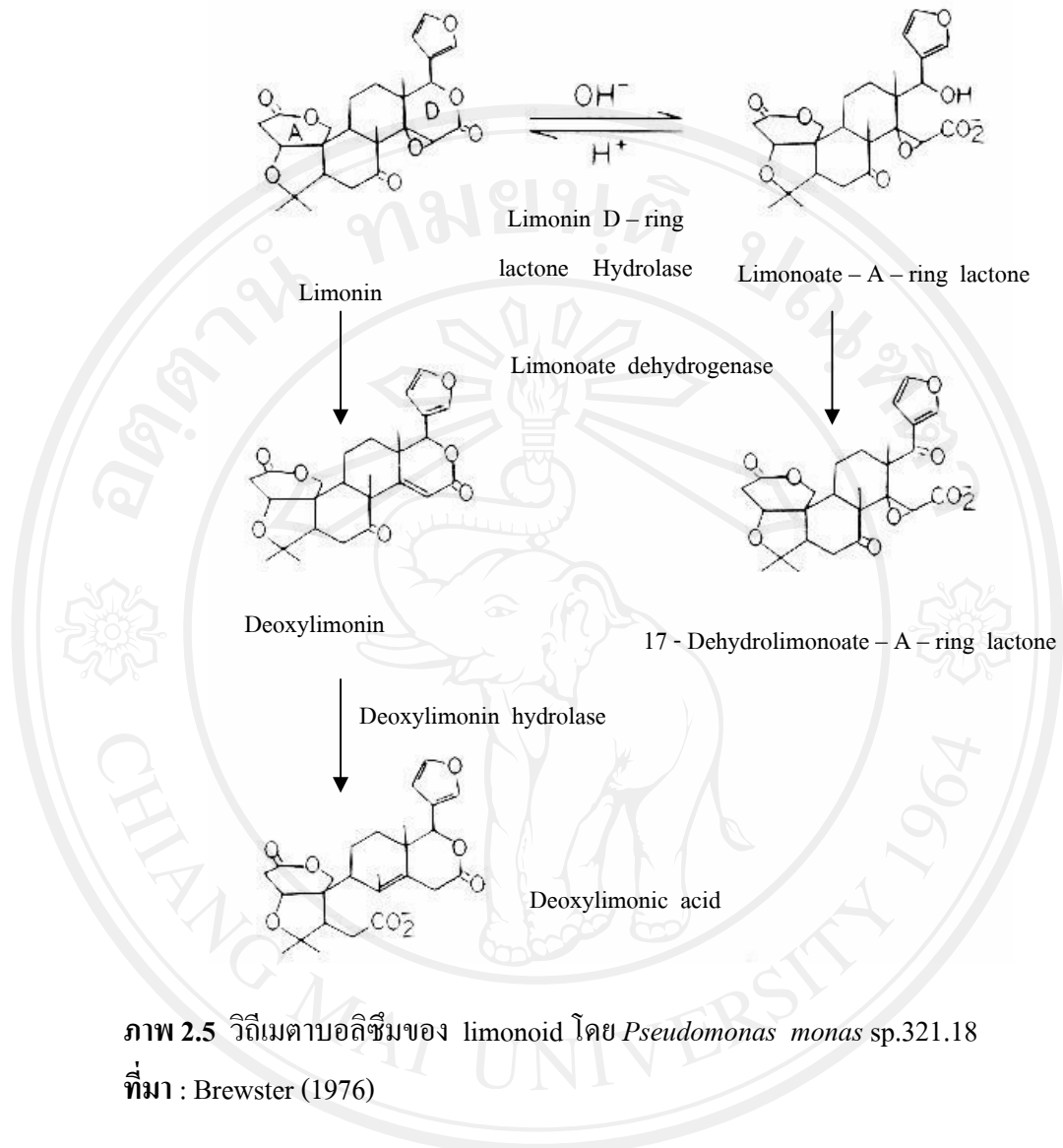


ภาพ 2.4 กลไกการเกิดสารที่ให้รสขม (limonin) ในผลไม้ตระกูลส้ม

ที่มา : Hasegawa (1999)

Hasegawa (1972) ยืนยันว่า A-ring lactone เป็นสารตั้งต้นในการสร้างลิโมนิน เนื่องจากการค้นพบว่ามีแบคทีเรียบางชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ Limonoate dehydrogenase และพบว่าเอนไซม์ตัวนี้ทำงานโดยควบคุมปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน กำจัดไฮโดรเจนตรงหมู่ -OH ที่วงเปิดคาร์บอนตำแหน่งที่ 17 ได้เป็น 17-dehydrolimonoate A-ring lactone ดังภาพ 2.5

เมื่อกินน้ำผลไม้ออกมาแล้วสารตั้งต้นทั้งหลายที่ไม่ให้รสขมจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารที่ให้รสขม ที่ pH ต่ำกว่า 6.5 โดยการเร่งของเอนไซม์ limonin D-ring lactone hydrolase (Maier et al., 1969a)



ภาพ 2.5 วิธีเมตาบอลิซึมของ limonoid โดย *Pseudomonas monas* sp.321.18
ที่มา : Brewster (1976)

Hasegawa (1999) พบว่ากระบวนการใช้ความเย็นแช่แข็งผลไม้ ก่อนคั้นน้ำผลไม้ และการใช้เครื่องกลในการคั้นน้ำผลไม้จะก่อให้เกิดรสขมมากขึ้นด้วยเช่นกัน เพราะวิธีการเหล่านี้ทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้แตก ฉีกขาดเป็นผลให้ pH เพิ่มขึ้นมากขึ้นกระตุ้นให้เอนไซม์ limonin D-ring lactone hydrolase ทำงานได้ดี ทำให้ limonoate A-ring lactone ถูกเปลี่ยนไปเป็น limonin ได้มาก ความขมจึงเพิ่มขึ้น

โนมิลิน (nomilin) ก็เป็นสารที่ให้รสขมอีกชนิดหนึ่งในกลุ่มของ limonoid แต่จะมีในผลไม้ตระกูลส้มในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับลิโมนิน และพบมากในเกรฟฟรุ๊ต (Rouseff, 1982)

2.2.2 สารที่ให้รสขมในกลุ่มของ limonoid

Hasegawa (1999) พบว่าสารในกลุ่มของ limonoid ที่สามารถแยกได้จากผลไม้ตระกูลส้ม มีประมาณ 36 ชนิด แต่มีเพียง 6 ชนิด ที่เป็นสารที่ให้รสขมคือ ลิโมนิน (Limonin), โนมิลิน (nomilin), โนมิลิเนท (nomilinate), โอบาคิวโนเอท (obacunoate), ดีออกซีลิโมนเนท (deoxylimonate) และ อิชานจิน (ichangin) แต่อย่างไรก็ตาม ลิโมนินก็ยังเป็นสารตัวหลักที่ให้รสขมในผลไม้ตระกูลส้ม

วรรณิ (2544) ได้อ้างถึง Guadagni ทำการศึกษาถึงการระบุงรสขมที่เกิดจาก ลิโมนินในน้ำส้ม โดยการใช้ น้ำส้มที่มีลิโมนินในระดับความเข้มข้นที่ต่างกันให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบพบว่าแต่ละคนให้ระดับการรับรสขมต่างกัันดังตาราง 2.4 จากการศึกษาของ Guadagni มีผลให้ในทางการค้าถือว่าน้ำส้มที่มีรสขม คือ มีปริมาณลิโมนิน ตั้งแต่ 6 ppm ขึ้นไปและ โนมิลินก็อยู่ในระดับเดียวกัน

ตาราง 2.4 ผลการทดสอบการรับรสขมของน้ำส้ม

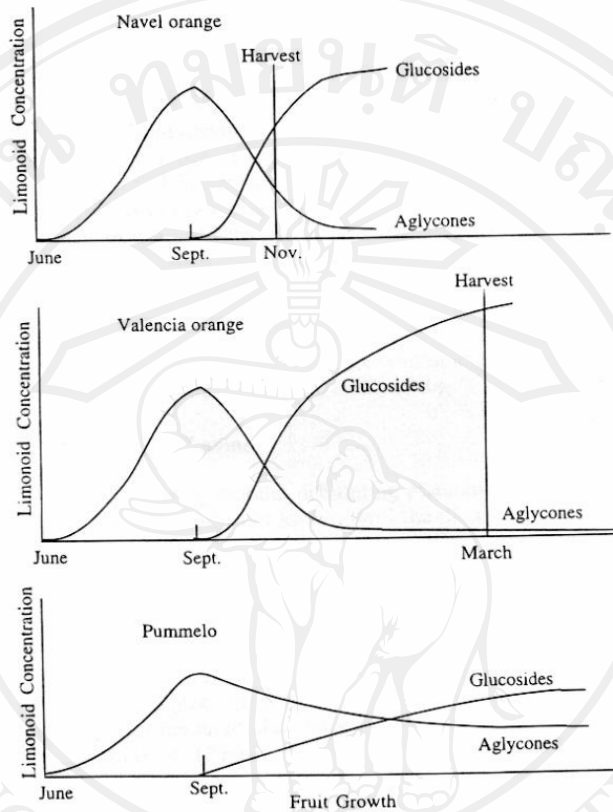
ปริมาณ limonin (ppm)	จำนวนผู้ทดสอบที่ระบุว่ามึรสขม
0.5	10
2.0	30
3.0	49
5.0	70
6.0	75

หมายเหตุ จำนวนผู้ทดสอบที่ระบุว่ามึรสขมคิดเป็นร้อยละ

ที่มา : วรรณิ (2544)

2.2.3 การเกิดสารให้รสขมในผลไม้ตระกูลส้ม

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าลิโมนินเป็นสารที่ให้รสขม และเป็นปัญหาหลักของการผลิตน้ำผลไม้ในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในกลุ่มของน้ำส้ม น้ำเกรฟฟรุ้ต มีการศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้นของ limonoate A- ring lactone (LARL) และ limonin glucoside ในเนื้อเยื่อของผลไม้ในระหว่างการเจริญนั้นจะแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาดังภาพ 2.6 (Ohta and Hasegawa, 1995)



ภาพ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ limonoate A-ring lactone (LARL) และ limonin glucoside ในผลไม้ตระกูลส้ม

ที่มา : Ohta and Hasegawa (1995)

จากภาพ 2.6 จะเห็นว่า LARL ที่พบในเนื้อเยื่อของส้มจะมีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างเดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม และจะเริ่มลดลงในเดือนตุลาคมเนื่องจากพบว่า LARL ถูกเปลี่ยนไปเป็น limonin glucoside ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวเคมีภายในเนื้อเยื่อของส้มเอง

2.2.4 ชีวเคมีของสารลิโมนอยด์ที่ให้รสขม

2.2.4.1 กระบวนการสังเคราะห์ทางชีววิทยา

ลิโมนอยด์ อะกลิโคน (limonoid aglycones) ที่จำแนกได้มี 36 ชนิด ถ้านำมาจัดแบ่งกลุ่มจะได้ทั้งสิ้น 4 กลุ่ม คือ Citrus 19, Fortunella 12, Poncirus 4 และ Papedocitrus 1 (Hasegawa and Miyake, 1996; 1996a; 1996b)

Hasegawa and Herman (1992) ศึกษากลไกในการสังเคราะห์สารกลุ่มลิโมนอยด์ ที่ให้รสขมคือ ลิโมนิน, นอมิลิน, กรดโนมิลิก, กรดโอบาคิวโนอิก (obacunic acid), และกรดดีออกซีลิโมนิก (deoxylimonic acid) โดยใช้วิธีการติดตามการสังเคราะห์ด้วยสารกัมมันตรังสี พบว่ากระบวนการสังเคราะห์เป็นดังภาพ 2.7

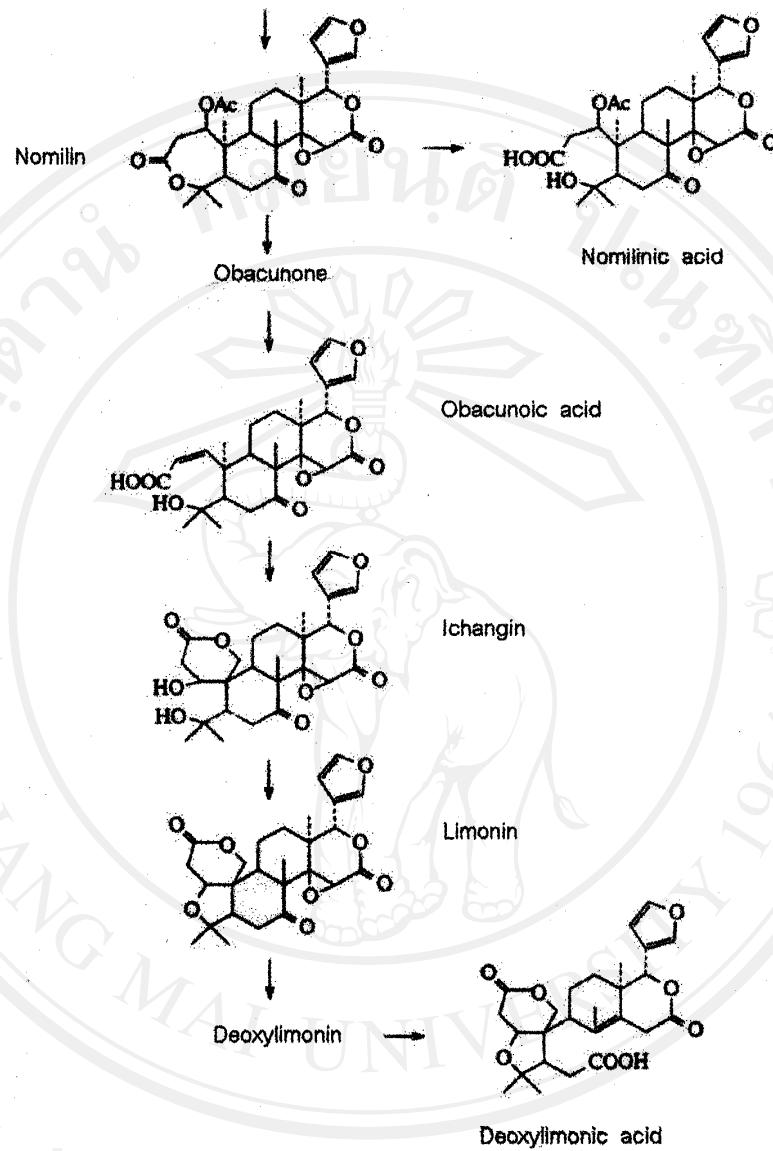
จากภาพ 2.7 จะเห็นว่าโนมิลินเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์ในกลุ่มลิโมนอยด์ ซึ่งพบว่าการสังเคราะห์โนมิลิน จะเกิดภายในท่อลำเลียง (phloem) ในลำต้นพืช โดยสารเริ่มต้น คือ อะซิเตต และ/หรือ เมวาโลเนท (mevalonate) (Hasegawa et al., 1984a,b; Ou et al., 1988) จากนั้นโนมิลินก็จะเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช เช่น ใบ เนื้อเยื่อในผล และเมล็ด

การสังเคราะห์ลิโมนินจากโนมิลิน จะเกิดโดยตามลำดับขั้นตอน ดังนี้ โนมิลิน อินชานจิน (inchingin) กรดโอบาคิวโนอิก และสุดท้ายได้เป็นลิโมนิน

Hasegawa et al. (1985; 1985b) ได้รายงานไว้ว่านอกจากการสังเคราะห์ลิโมนินจากโนมิลินแล้ว โนมิลินยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดโนมิลินิก (nomilinic acid) ซึ่งพบมากในพืชตระกูลส้ม และ Hasegawa et al. (1980) ยังพบว่ากรดดีออกซีลิโมนิก (deoxylimonic acid) สังเคราะห์มาจากลิโมนิน และ ดีออกซีลิโมนิน (deoxylimonin) ตามลำดับ

2.2.5 ตำแหน่งการสังเคราะห์ลิโมนอยด์ในต้นพืช

จากข้างต้นที่พบว่าลิโมนอยด์ถูกสังเคราะห์บริเวณลำต้นจากอะซิเตตและ/หรือเมวาโลเนท ยังพบว่าที่เนื้อเยื่อของผล ผิวของผล และเมล็ด ไม่มีการสังเคราะห์สารลิโมนอยด์จากกระบวนการข้างต้น (Ou et al., 1988) แต่เมื่อสังเคราะห์โนมิลินที่ลำต้นแล้วจะมีการส่งต่อไปยังส่วนต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว และพบว่าโนมิลินจะถูกเปลี่ยนไปเป็นลิโมนอยด์ตัวอื่นๆ ที่ใบ ที่ผล และที่เมล็ด ในขณะที่การสังเคราะห์ลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ จากลิโมนอยด์ อะกลิโคน จะพบในเนื้อเยื่อส่วนใหญ่ของผล และเมล็ดเท่านั้น



ภาพ 2.7 กระบวนการสังเคราะห์สารให้ความขมในกลุ่มลิโมนอยด์ในผลไม้ตระกูลส้ม

ที่มา : Hasegawa (1999)

2.2.6 การสะสมและการเปลี่ยนแปลงของลิโมนอยด์

ในเนื้อเยื่อของผลไม้ที่ยังอ่อนๆ อยู่ นั้นจะมีเพียงลิโมนอยด์ อะกลิโคนขณะที่ในส่วนของเนื้อเยื่อผลไม้ที่สุกแล้วจะพบทั้ง ลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ และ ลิโมนอยด์ อะกลิโคน Fong et al. (1989) พบว่าในน้ำส้มที่คั้นแล้วจะมีอัตราส่วนลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ ต่อ ลิโมนอยด์ อะกลิโคน 150:1 ลิโมนิน มีมากที่สุดของสารในกลุ่มลิโมนอยด์ อะกลิโคน และ ลิโมนิน กลูโคไซด์ มีมากที่สุดในกลุ่ม ลิโมนอยด์ กลูโคไซด์

การสะสมของลิโมนอยด์ในเมล็ดพืช จะมีรูปแบบของการสะสมที่ต่างกัน โดยที่ในเนื้อเยื่อของผลและเมล็ด จะมีการเริ่มต้นของการสะสมของสารลิโมนอยด์ ในรูปของลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ แต่ในเนื้อเยื่อผลจะมีความแตกต่างกับเมล็ดตรงที่ ในช่วงที่ลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ เพิ่มขึ้นนั้น ลิโมนอยด์ อะกลิโคน จะลดลง ในขณะที่ในเมล็ดลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ และ ลิโมนอยด์ อะกลิโคน จะเพิ่มขึ้นพร้อมกันทั้งคู่

Fong et al. (1993) พบว่า การสะสมของสารทั้งสองชนิดในเมล็ดนั้นเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยน โมโนแล็กโตน (monolactones) (Limonoid aglycones แบบวงเปิด) ไปเป็นไดแล็กโตน (dilactone) (Limonoid aglycones แบบวงปิด) โดยเอนไซม์ limonoid D-ring lactone hydrolase ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจริญของผลไม้ ที่สำคัญ ไดแล็กโตน ก็ไม่ได้ถูกสร้างขึ้นตลอดเวลาเนื่องจาก มีการแข่งขันในการเปลี่ยนโมโนแล็กโตนไปเป็นกลูโคไซด์โดยเอนไซม์ limonoid glucosyltransferase อย่างไรก็ตามนี้ก็ยังเป็นเหตุผลที่ทำให้เมล็ดมีทั้ง กลูโคไซด์ และอะกลิโคน มากพอกันโดยพบว่ามีอัตราส่วน 1:2

ในส่วนของ ลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ ในเนื้อเยื่อของผลไม้จะมีความเสถียรสูง และพบว่าจะมีปริมาณมากขึ้นจนกระทั่งผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวจากต้น อย่างไรก็ตามในเมล็ดนั้นสารตัวนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็น กลูโคส และ อะกลิโคน ในระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ด (germination) โดยพบว่ามีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องคือ limonoid glucoside β -glucosidase ซึ่งพบว่ามีเฉพาะในเมล็ดเท่านั้น Romemberg et al. (1995) ซึ่งเอนไซม์ตัวนี้เมื่อเกิดขึ้นจะมีรสขมเกิดขึ้นในน้ำผลไม้ ถ้าในกระบวนการคั้นน้ำผลไม้ทำให้เมล็ดแตก ก็จะมีเอนไซม์นี้หลุดออกมาอาจทำให้ปริมาณสารลิโมนิน และโนมิลินเพิ่มมากขึ้น

อาจจะกล่าวได้ว่า รสขมที่เกิดขึ้นทั้งในเนื้อเยื่อและเมล็ดของผลไม้ มาจากการทำงานของเอนไซม์ 2 กลุ่มหลัก คือ limonoid glucoside β -glucosidase และ limonoid D-ring lactone hydrolase ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสารที่ไม่มีรสขมไปเป็นสารที่มีรสขม

2.2.7 การเกิดขึ้นของสารลิโมนอยด์

สารในกลุ่มของลิโมนอยด์ อะกลิโคน ในน้ำส้มนั้น จะมีลิโมนินในปริมาณมากที่สุด โดยมี โนมิลิน ดีอะซีติลโนมิลิน และโอบาคิวโนน เป็นสารที่มีรองลงมา (Hasegawa, 1999)

Ozaki et al. (1995) พบว่าในผลไม้ตระกูลส้ม ลิโมนิน กลูโคไซด์ เป็นสารที่มีมากที่สุดในส่วน เนื้อเยื่อของผล ซึ่งพบว่ามีมากกว่าร้อยละ 50 ของสารลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ทั้งหมด ในขณะที่ โนมิลิน กลูโคไซด์ จะพบมากในเมล็ด

Hasegawa (1999) รายงานว่าในส่วนของ ดีอะซีติลโนมิลิน กลูโคไซด์ และโอบาคิวโนน กลูโคไซด์ จะพบปริมาณสูงเช่นกันในเมล็ดผลไม้อื่น ๆ โดยทั่วไป และมี ลิโมนิน กลูโคไซด์ ในปริมาณน้อยกว่า

ในเนื้อเยื่อของผลไม้จะมี ลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ อยู่มาก โดยพบว่าตัวอย่างน้ำส้มที่มีจำหน่าย โดยทั่วไปจะมีปริมาณ 320 ppm, น้ำส้มแมนดาริน 223 ppm, น้ำเกรฟฟรุต 190 ppm, น้ำเลมอน 80 ppm (Fong et al., 1989; Ozaki et al., 1992) น้ำมะนาวในเมืองไทยจะมีปริมาณเฉลี่ย 92.37 ppm แต่ก็ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และฤดูกาลโดยพบว่าอาจมีสูงถึง 210 ppm (สุชาติ, 2541)

ในส่วนของเปลือกผลไม้ตระกูลส้มจะมี ลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ ในปริมาณสูงตัวอย่างเช่น เปลือกของส้มแคลิฟอร์เนียมีสูงถึง 360 ppm, ส้ม valencia มี 730 ppm (Fong et al., 1992) ในขณะที่ของเหลือจากกระบวนการเตรียมน้ำผลไม้จะมี ลิโมนอยด์ในปริมาณสูงมาก ๆ ในเมล็ดของเกรฟฟรุตจะมีถึงร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของเมล็ดที่ทิ้งทั้งหมดโดยพบอัตราส่วน อะกลิโคน ต่อกลูโคไซด์ เท่ากับ 2 ต่อ 1 (Hasegawa, 1989)

Ozaki et al. (1991) รายงานไว้ว่าในเมล็ดของผลไม้ตระกูลส้มในญี่ปุ่น เช่น ส้มแมนดาริน เกรฟฟรุต เลมอน เป็นต้นจะมีอะกลิโคนและกลูโคไซด์ เฉลี่ย 1.4 และ 0.6 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของเมล็ดตามลำดับ

ในส่วนของน้ำส้มที่ทำให้เข้มข้น (orange molasses) จะมีลิโมนอยด์ กลูโคไซด์ 570 ppm ที่ระดับความหวาน 11.8°Brix นั้นหมายความว่าน้ำส้มชนิดนี้ 1 แกลลอน จะมี ลิโมนอยด์ 12.5 กรัม

2.3 การใช้ประโยชน์ของน้ำมะนาว

มะนาวจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งในประเทศไทย โดยมีการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆอย่างมากมายอาทิเช่น เป็นส่วนประกอบในการผลิตเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ซักล้าง การนำมาใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มรสชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร และการนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มชนิดต่างๆ ตลอดจนการส่งเป็นสินค้าออกสร้างรายได้ให้กับประเทศ ซึ่งพบว่าในอนาคตข้างหน้าปริมาณและมูลค่าการส่งออกจะมีมากขึ้นเนื่องจาก ชาวต่างชาตินิยมดื่มมะนาว และใช้มะนาวประกอบอาหารมากขึ้น (วิลาวัลย์, 2547) การใช้ประโยชน์จากมะนาวแบ่งออกเป็น

2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการ

รายงานของกรมอนามัย (2530) ได้รายงานคุณค่าของมะนาวในส่วนที่กินได้ 100 กรัม คือ ให้พลังงาน 36 แคลอรี ไขมัน 2.4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 5.9 กรัม เยื่อใย 0.3 กรัม และวิตามินซี 32-50 มิลลิกรัม การใช้ประโยชน์ของมะนาว อาจจะใช้วิธีการรับประทานสด ประุงแต่งรสทั้งอาหารคาว หวาน รวมทั้งใช้ทำเครื่องดื่มชนิดต่างๆ

2.3.2 คุณค่าทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

ทางการแพทย์พบว่ามะนาวมีสารเอสเพอริดิน และนารินจิน ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้มีฤทธิ์แก้ไอ แก้เจ็บ การแพทย์แผนโบราณนำเอาส่วนต่างๆของมะนาวมาใช้รักษาโรค เช่น น้ำในผล แก้โรคล็กปิดลักเปิด ใบ ใช้ฟอกโลหิต ราก ใช้เป็นยาถอนพิษ (วิลาวัลย์, 2547)

2.3.3 คุณค่าทางด้านอุตสาหกรรม

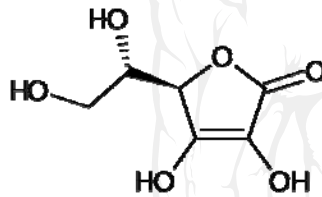
ทางด้านอุตสาหกรรมเกษตร มีการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่อยู่บนผิวเปลือกของมะนาวเพื่อนำมาใช้ทำเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด แชมพู รวมทั้งน้ำมันจากเมล็ดก็นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสบู่ และผสมยารักษาโรคบางชนิด นอกจากนี้ยังนำมาทำมะนาวดอง มะนาวแช่อิ่ม น้ำมะนาวเข้มข้น น้ำมะนาวหวาน มาร์มาเลดมะนาว มะนาวผง เปลือกมะนาวสามารถสกัดดินจากเปลือกมะนาว และ เยลลี่มะนาวเป็นต้น

2.3.4 คุณค่าทางด้านการเศรษฐกิจ

มะนาวมีบทบาททางการค้ามากขึ้น สามารถเป็นสินค้าส่งออกทำรายได้ให้ประเทศปีละจำนวนมาก โดยส่งออกในลักษณะตากแห้ง อบแห้ง น้ำมะนาวและผลสด โดยมีประเทศคู่ค้าที่สำคัญคือ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย มาเลเซีย สิงคโปร์ กลุ่มประเทศประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (EEC) ญี่ปุ่น ซาอุดีอาระเบีย (วิลาวัลย์, 2547)

2.4 วิตามินซี (Vitamin C) (อัญชลินทร์และทศพร, 2551)

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายไขมัน มีสมบัติเป็นได้ทั้งกรด และสารรีดิวซ์อย่างแรง เพราะในโครงสร้างของมันมีเอนีไดโอด (enediol) เชื่อมต่อกับกลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group) ในวงแหวนแลคโตน (lactone ring) ดังโครงสร้าง (ภาพ 2.8)



ภาพ 2.8 สูตรโครงสร้างวิตามินซี

ที่มา : (VitaminC, 2008)

แหล่งที่พบวิตามินซีมาก ได้แก่ ผลไม้จำพวกส้ม สตรอเบอร์รี่ มะเขือเทศ กะหล่ำดอก มะขามป้อม ฝรั่ง มะขามเทศ มะละกอสุก ผักคะน้า ผักชี และมะรุม เป็นต้น โดยอาหารที่มีวิตามินบี มักจะขาดวิตามินซี ได้แก่ ยีสต์ ไข่แดง เนื้อธัญพืช และถั่วแห้ง เป็นต้น

วิตามินซีมีความจำเป็นมากต่อร่างกายในแต่ละวันถ้าร่างกายได้รับวิตามินซีประมาณ 10 มิลลิกรัม ขึ้นไปจะทำให้สามารถป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟันได้ ปริมาณที่เหมาะสมและควรได้รับคือประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อวัน มารดาขณะตั้งครรภ์ และให้น้ำนมบุตรควรได้รับถึง 60 มิลลิกรัมต่อวัน

2.4.1 หน้าที่ของวิตามินซีในร่างกาย

1.ช่วยในการสังเคราะห์คอลลาเจน (Collagen) ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นในการสร้างกระดูก เอ็น ผิวน้ำ และเนื้อเยื่อ คอลลาเจนประกอบด้วยไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyprolein) ซึ่งเปลี่ยนมาจาก โพรลีน (prolein) การขาดวิตามินซีจะทำให้ไม่มีการเปลี่ยน โพรลีน เป็น ไฮดรอกซีโพรลีน ทำให้เกิดอาการของโรคคลักปิดลักเปิดและเกิดความผิดปกติของกระดูกและฟัน

2.ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารพวก คอลลาเจน

3.ทำให้ผนังเส้นเลือดแข็งแรง การขาดวิตามินซีจะทำให้ผนังเส้นเลือดเปราะแตกง่าย ทำให้ เลือดออกง่าย

4.มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกรดอะมิโนเช่นไทโรซีน (tyrosine) เป็นทริฟโตเฟน และวิตามิน โฟลาซิน

5.ช่วยในการสังเคราะห์คาร์นิทีน (carnitene) เพื่อใช้ในการเผาผลาญกรดไขมันให้เกิดเป็น พลังงาน

6.ช่วยกระตุ้นการสร้างฮีโมโกลบิน และการสะสมเหล็กในตับ วิตามินซีช่วยในการกระตุ้น ขบวนการเมตาบอลิซึมของธาตุเหล็ก โดยไปส่งเสริมการดูดซึมของธาตุเหล็กดีขึ้น

7.ช่วยป้องกัน และสร้างภูมิคุ้มกันต้านโรค นอกจากนี้ยังช่วยทำลายพิษของสารต่างๆ ที่เข้าสู่ ร่างกาย

8. มีส่วนสำคัญต่อการต้านทานโรคมะเร็ง ได้แก่

8.1ยับยั้งการสร้างไนโตรซามีน (nitrosamine) จากปฏิกิริยาของไนไตรต์และไนเตรด กับสารประกอบเอมีนในเนื้อสัตว์

8.2วิตามินซีที่มีอยู่ในเม็ดโลหิตขาวจะช่วยให้เม็ดโลหิตขาวสามารถต่อสู้ กับ สิ่งแปลกปลอมต่างๆ เช่น ไวรัส และแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น

8.3ป้องกันการกระจายของเซลล์มะเร็ง โดยวิตามินซีที่มีส่วนทำลายเนื้อเยื่อ รอบเซลล์มะเร็ง

8.4ช่วยในการดูดซึมธาตุเซเลเนียมในลำไส้ ซึ่งเซเลเนียมมีความจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์กลูตาไธโอเพอออกซิเดส (glutathiooxidase) ที่มีส่วนทำให้อัตราการเกิดมะเร็ง ลดลงโดยวิธีกระบวนการทำลายพิษ

นอกจากนี้วิตามินซียังเป็นสารประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันความผิดปกติของ กระดูก และฟัน

ตาราง 2.5 ปริมาณวิตามินซีในอาหารที่รับประทานได้ต่อ 100 กรัม

อาหาร	มิลลิกรัม
เชอร์รี่	2,000
มะขามป้อม	600
มะรุม	225
มะม่วงหิมพานต์	197
ยอดมะละกอ	140
มะขามสุก	133
ฝรั่ง	104-126
พริกหยวกเขียว	122
มะละกอ	89
พริกหยวกแดง	195
ผักชี	193
ผักขมสวน	173
ใบมะระจีน	169
ผักคะน้า (ใบ)	152
ถั่วลันเตา	77
ผักนึ่ง	59
ผักชะอม	58

ที่มา : อัญชลินทร์และทศพร (2551)

2.4.2 ผลของกรรมวิธีการแปรรูปต่อการสูญเสียวิตามินซี

1. วิตามินซี เป็นสารประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยานี้จะเกิดได้รวดเร็วมากเมื่อมีโลหะหนัก เช่น ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น แสงและอุณหภูมิก็เป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่ทำให้วิตามินซีเสื่อมสลายได้เช่นกัน ดังนั้น จึงไม่ควรหุงต้มอาหารในภาชนะที่ทำจากทองแดง

2. การต้มผัก โดยใส่ผักในน้ำเย็นก่อน แล้วจึงต้มให้เดือดภายหลัง จะมีการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าการใส่ผักขณะที่น้ำเดือด เพราะน้ำที่เดือดแล้วจะไม่มีก๊าซออกซิเจนละลายอยู่ เป็นการลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และผักเหล่านี้จะมีผิวหนังที่สัมผัสกับน้ำได้มาก ซึ่งการต้มโดยจุ่มผักทั้งหมด

ให้จมน้ำ จะสูญเสียวิตามินซีไปมากกว่าการที่ปล่อยให้ผักบางส่วน อยู่เหนือผิวน้ำ มันฝรั่งต้มจะสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าผักมีใบ เพราะมันฝรั่งมีพื้นที่ผิวน้ำน้อยและเมื่อสุกจะกลายเป็นเจล การเกิดเจลของแป้งจะเป็นการป้องกันไม่ให้วิตามินซีละลายออกมาได้มาก

3.วิตามินซี ถูกทำลายได้ง่ายด้วยสารละลายต่าง ดังนั้นจึงไม่ควรต้มผักในน้ำที่มีสภาพเป็นด่าง

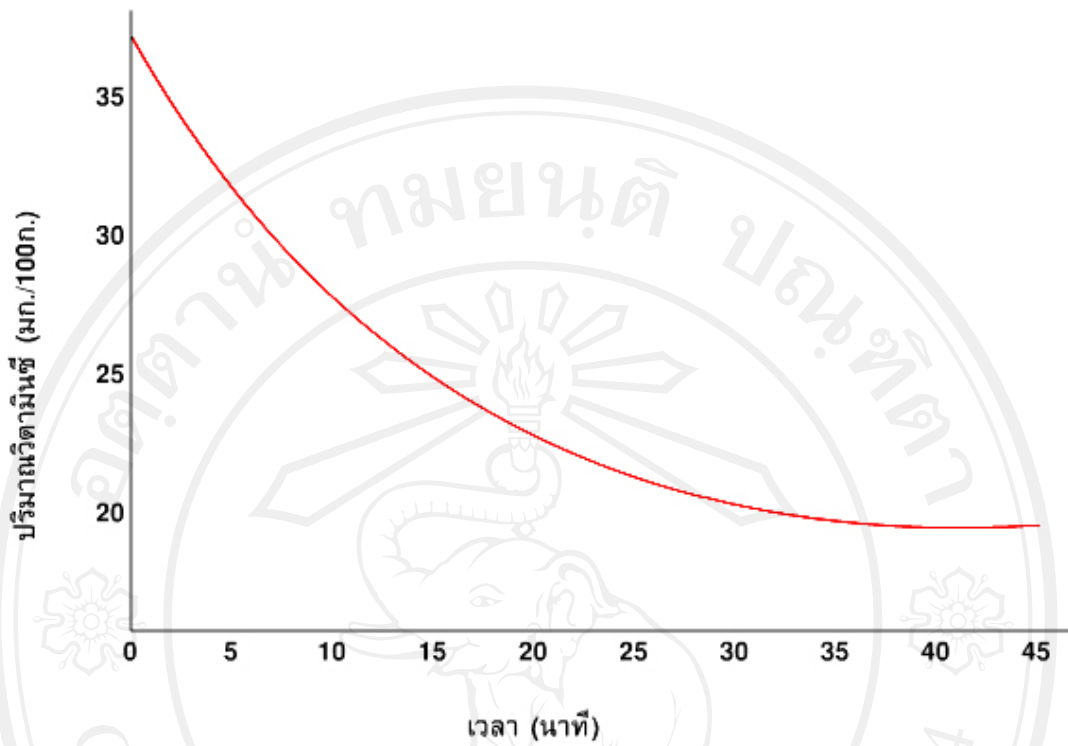
4. การล้างผัก หรือแช่ผักที่หั่นแล้ว จะเกิดการสูญเสียวิตามินซีอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการหุงต้มผักไม่ควรหั่นผักเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย หรือแช่ทิ้งไว้ในน้ำ

5.อาหารที่ทำให้สุกด้วยความร้อนแล้ว ถ้าปล่อยให้ร้อนอยู่นานเกินความจำเป็น วิตามินซี จะสูญเสียไปทั้งหมดได้ ถ้าปล่อยให้อาหารร้อนอยู่นานประมาณ 15 นาที อาจสูญเสียวิตามินซีไปร้อยละ 25 แต่ถ้าปล่อยให้ร้อนนานถึง 90 นาที อาจสูญเสียวิตามินซี ไปถึงร้อยละ 75

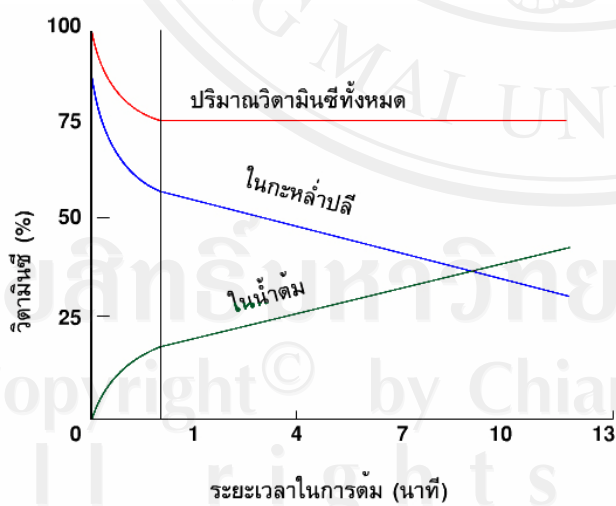
ตาราง 2.6 ผลของการหุงต้มด้วยวิธีการต่างๆต่อปริมาณวิตามินซี

ผัก	ปริมาณวิตามินซี (ร้อยละ)			
	โดยใช้ความร้อน	โดยใช้น้ำท่วมผัก	โดยใช้น้ำ 1/2 ถ้วยตวง	โดยไม่ใช้น้ำ
กะหล่ำปลี	75.5	44.3	57.4	58.4
แครอท	79.1	63.1	75.1	72.5
กะหล่ำดอก	75.5	47.3	54.0	70.7
ถั่ว	73.7	51.3	70.0	78.8
ผักขม	61.7	49.1	51.7	70

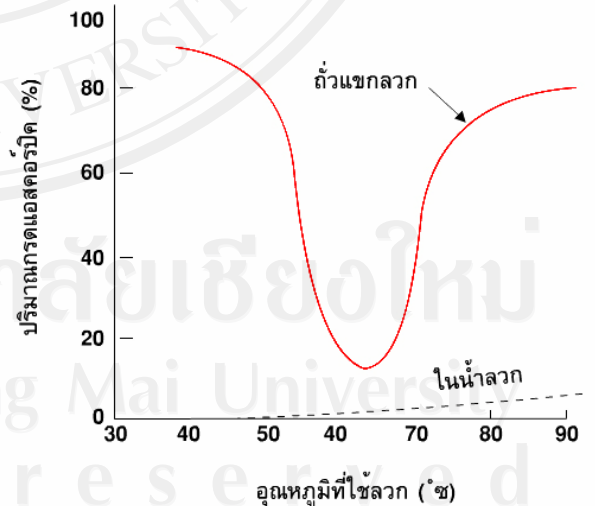
ที่มา : อัญชลินทร์และทศพร (2551)



ภาพ 2.9 กราฟแสดงผลของการหุงต้มต่อการสูญเสียวิตามินซี
 ที่มา : อัญชลินทร์และทศพร (2005)



(ก)



(ข)

ภาพ 2.10 กราฟแสดงการสูญเสียวิตามินซี (ก) การต้มกะหล่ำปลี (ข) การลวกถั่วแขก
 ที่มา : อัญชลินทร์และทศพร (2005)

2.5 การลวก (นิธิยา, 2544)

การลวก (Blanching) เป็นกระบวนการหนึ่งในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบ (Preparation) ซึ่งอาจทำร่วมกับการทำความสะอาด (Cleaning) หรือการปอกเปลือก (Peeling) ก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปหลัก (Main process) ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ต่อไป เช่น การทำแห้ง การแช่เยือกแข็ง กระบวนการลวกประกอบด้วย ขั้นตอนการให้ความร้อนกับวัตถุดิบให้มีอุณหภูมิสูงถึงจุดที่กำหนด (Blanching temperature) เป็นระยะเวลาหนึ่ง (Blanching time) จากนั้นทำให้เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิห้องอย่างรวดเร็ว ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในการลวก ได้แก่ ขนาดและชนิดของวัตถุดิบ อุณหภูมิของ การลวก และวิธีการให้ความร้อน

การลวกเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนจาก ตัวกลาง (Heating media) ซึ่ง ได้แก่ น้ำร้อน หรือน้ำ ให้อุณหภูมิกับวัตถุดิบ โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1. ทำลายการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation) เนื่องจากอุณหภูมิสูงสุดของ กระบวนการแปรรูปหลัก ในกลุ่มของการทำแห้ง และการแช่เยือกแข็ง ไม่เพียงพอต่อการทำลาย กิจกรรมของเอนไซม์ ทำให้ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผักและผลไม้เกิดการเสื่อมคุณภาพ มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการระหว่างเก็บรักษา ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนการเตรียม วัตถุดิบจึงต้องทำการลวกด้วยอุณหภูมิและเวลาที่เพียงพอต่อการทำลายเอนไซม์ และลดอุณหภูมิลง อย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการสูญเสียคุณค่าเนื่องจากความร้อน

เอนไซม์สำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของผัก และผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซิเจเนส (lipoxygenase) พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) พอลิกลาแล็กตูโรเนส (polygalacturonase) และ คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) และยังมีเอนไซม์อีก 2 ชนิดที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดี คือ เอนไซม์แคแทเลส (catalase) และ เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เอนไซม์เหล่านี้ใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการลวก หากตรวจวัด เอนไซม์ activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสแสดงว่า เอนไซม์อื่นๆ ถูกทำลายหมดแล้ว

2. ทำลายและลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บริเวณผิวนอกของวัตถุดิบ ช่วยให้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ในขั้นตอนถัดไป เช่น การสเตอริไลซ์ ทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากจำนวน เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นลดลง

นอกจากนี้การลวกยังช่วยให้เนื้อเยื่อของวัสดุนุ่มและมีปริมาตรลดลง สามารถบรรจุลงใน ภาชนะได้ง่าย และช่วยไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในภาชนะ ลดลง และเกิดสภาวะสุญญากาศในภาชนะได้ง่ายขึ้น

2.5.1 วิธีการลวกอาหาร

2.5.1.1 การลวกโดยใช้ไอน้ำ

การลวกโดยใช้ไอน้ำ วิธีนี้จะวางวัตถุดิบไว้บนสายพานที่มีบรรยากาศของไอน้ำตลอดระยะเวลาที่สายพานเคลื่อนที่ ซึ่งควบคุมโดยความเร็วของสายพาน ข้อเสียคือถ้ามีวัตถุดิบวางซ้อนกันจะทำให้ได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงต้องควบคุมไอน้ำให้เหมาะสมทั้งเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ เพื่อให้แน่ใจว่าเอนไซม์ถูกทำลายอย่างสมบูรณ์และไม่ทำให้วัตถุดิบสุกมากเกินไป (overheating) เพราะจะมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการลวกโดยใช้ Individual quick blanching (IQB) โดยชิ้นวัตถุดิบถูกทำให้ร้อนในสภาพวางเรียงชั้นเดียวที่อุณหภูมิสูงพอที่จะทำลายเอนไซม์ได้ หลังจากนั้นจะให้คงอยู่ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางชิ้นวัตถุดิบถึงระดับที่ต้องการ วิธีนี้ใช้เวลาสั้นลงและเสียพลังงานน้อยลงด้วย เช่น แครอทที่หั่นเป็นก้อนสี่เหลี่ยมเล็กๆ ใช้เวลาให้ความร้อน 25 วินาที และคงอยู่ที่อุณหภูมินั้นอีก 50 วินาที เปรียบเทียบกับใช้เวลานาน 3 นาที เมื่อใช้วิธีการลวกแบบปกติ

การสูญเสียสารอาหารระหว่างการลวกด้วยไอน้ำจะลดลงได้หากให้วัตถุดิบได้รับอากาศอุ่นที่มีอุณหภูมิประเทศ 65 องศาเซลเซียสก่อน เป็นการทำให้ pre-conditioning ความชื้นที่ผิววัตถุดิบจะระเหยออกไปทำให้ผิวนอกของชิ้นวัตถุดิบดูดซึมน้ำที่กลั่นตัว (condensing steam) ระหว่างการทำ IQB ดังนั้น การทำ pre-conditional และ IQB จะช่วยลดการสูญเสียอาหารได้มาก เช่น ในถั่วแขกลดการสูญเสียสารอาหารลงได้ร้อยละ 81 Brussel sprout ลดได้ร้อยละ 75 ถั่วลันเตาลดได้ร้อยละ 61 และ ถั่วงอกลดได้ร้อยละ 53 แต่น้ำหนักของวัตถุดิบที่ผ่านการลวกแล้วไม่ได้ลดลงอย่างที่ตามต้องการจนถึงค่าใช้จ่ายในการทำ pre-conditional ด้วย การทำให้วัตถุดิบภายหลังการลวกเย็นลง นิยมใช้วิธีการฉีดพ่นฝอยด้วยละอองน้ำเข้าไปในอากาศเย็นจนอ้อมตัว

2.5.1.2 การลวกใช้น้ำร้อน

การลวกใช้น้ำร้อน การลวกโดยวิธีนี้เป็นการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 70 - 100 องศาเซลเซียส แช่วัตถุดิบไว้ระยะเวลาหนึ่ง แล้วเอาไปทำให้เย็นทันที เครื่องมือที่ใช้มี 2 แบบคือ

1. Reel blancher เป็นการใช้ mesh drum รูปทรงกระบอกจุ่มอยู่ในน้ำร้อนและหมุนอย่างช้า ๆ วัตถุดิบจะเคลื่อนที่อยู่ภายใน drum ตามอัตราเร็วของการหมุน ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมระยะเวลาที่วัตถุดิบได้รับความร้อนหรือระยะเวลาที่ใช้ลวก

2. Pipe blancher ประกอบด้วยท่อโลหะที่มีฉนวนหุ้มต่ออยู่กับส่วนที่ป้อนวัตถุดิบและส่วนที่ส่งวัตถุดิบออก น้ำร้อนจะหมุนเวียนผ่านท่อและวัตถุดิบระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับความยาวของท่อและความเร็วของน้ำ วิธีนี้มีข้อดีคือ มีประสิทธิภาพสูงและใช้พื้นที่น้อย

ตาราง 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของการลวกโดยใช้ไอน้ำและน้ำร้อน

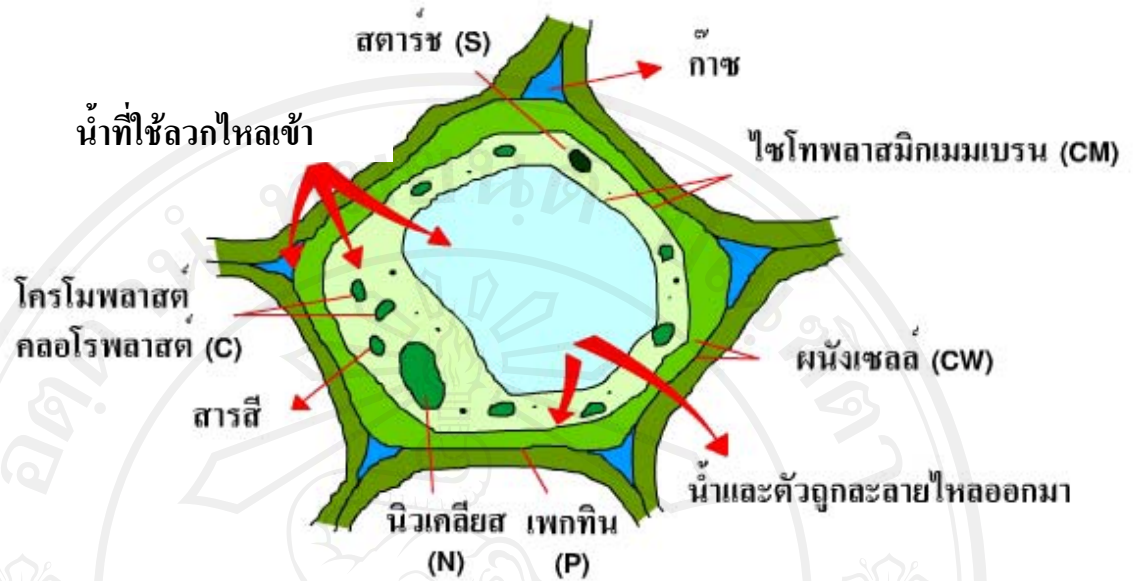
อุปกรณ์	ข้อดี	ข้อจำกัด
เครื่องลวกด้วยไอน้ำ (Conventional steam blancher)	<ul style="list-style-type: none"> - สูญเสียน้ำและสารที่ละลายน้ำได้น้อย - มีของทิ้งน้อยโดยเฉพาะเมื่อใช้วิธีพ่นด้วยอากาศเย็นหรือลมเย็นร่วมด้วย - ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - การล้างวัตถุดิบต้องมีเครื่องล้างเพิ่มขึ้น - ค่าใช้จ่ายสูง - หากวางวัตถุดิบซ้อนกันสูง อาจได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงและสม่ำเสมอ
เครื่องลวกด้วยน้ำร้อน (Conventional hot-water blancher)	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าใช้จ่ายต่ำ - ใช้พลังงานมีประสิทธิภาพดีกว่าการลวกด้วยไอน้ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - สูญเสียสารที่ละลายน้ำได้ เช่น วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำตาล - ใช้น้ำปริมาณมาก - ต้องมีน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้น - อาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทนความร้อน (thermophilic bacteria) ได้ง่าย

ที่มา : นิธิยา (2544)

2.5.2 ผลของการลวกต่ออาหาร

ความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการทำสเตอริไลเซชันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกัน และต้องมั่นใจว่าไม่ได้ใช้ความร้อนมากเกินไปจนทำให้ลักษณะเนื้อนุ่มลงและสูญเสียรสชาติของอาหาร

การลวกมีผลต่อเนื้อเยื่อพืช โดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่นผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (CW) มีการเปลี่ยนแปลงที่เมมเบรนของไซโทพลาซึม (CM) สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน (S) โครงสร้างโมเลกุลของเพกทินเปลี่ยนไป (P) โปรตีนในนิวเคลียสและไซโทพลาซึมเสียสภาพธรรมชาติ (N) คลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์มีรูปร่างเปลี่ยนไป (C) ดังภาพ 2.11 โดยการลวกมีผลต่ออาหารดังต่อไปนี้



ภาพ 2.11 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก

ที่มา : นิธิยา (2544)

1. การสูญเสียสารอาหาร แร่ธาตุและวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ และส่วนประกอบอื่นๆ ที่ละลายได้ในน้ำจะหายไปในช่วงตอนการลวก ซึ่งจะสูญเสียเนื่องจากการชะล้างออกไป และถูกทำลายด้วยความร้อน อาจเกิดออกซิเดชันบ้างเล็กน้อย การสูญเสียวิตามินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

- ความแก่ อ่อนและพันธุ์ของวัตถุดิบที่ใช้
- วิธีการเตรียม การหั่นชิ้น รูปร่างและขนาดชิ้นวัตถุดิบ
- อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นวัตถุดิบ
- วิธีการลวกที่ใช้
- อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวก เช่น วิตามินจะสูญเสียลงน้อยลง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการลวกสั้นลง
- วิธีการทำให้เย็น
- อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัตถุดิบที่ใช้ทั้งขั้นตอนการลวกและการทำให้เย็น

2. สีและกลิ่นรสอาหาร การลวกจะทำให้สีของวัตถุดิบบางชนิดดีขึ้น เพราะเป็นการกำจัดอากาศและฝุ่นละอองที่ผิววนออกออกไป ทำให้ความยาวคลื่นของแสงสะท้อนเปลี่ยนไป เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสีในวัตถุดิบ ซึ่งขึ้นอยู่กับ D-value

การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.125 โดยน้ำหนักหรือแคลเซียมออกไซด์ลงไป ในน้ำที่ใช้ลวก จะช่วยป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายทำให้ผักยังคงมีสีเขียวเช่นเดิม

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymic browning reaction) ซึ่งจะเกิดกับ ชิ้นของแอปเปิ้ล มันฝรั่ง และมะเขือ ภายหลังจากปอกเปลือกหรือหั่นชิ้นสามารถป้องกันได้โดยจุ่ม ลงในสารละลายน้ำเกลือร้อยละ 2 โดยน้ำหนักก่อนนำไปลวกหากภาวะที่ใช้ในการลวกถูกต้อง ผักและผลไม้จะมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไปน้อยมาก หากภาวะที่ใช้ไม่เหมาะสม เช่น ลวกไม่ เพียงพอจะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งและอาหารแช่เยือกแข็ง ได้

3. ลักษณะเนื้อสัมผัส การลวกมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อนิ่มลง เพื่อช่วยให้บรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย แต่สำหรับอาหารอบแห้งและแช่เยือกแข็ง การลวกทำให้ สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสไปด้วย วัตถุประสงค์บางชนิดอาจรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อให้ยังคง แข็งอยู่ได้โดยการเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำที่ใช้ลวก เพื่อให้แคลเซียมไอออนรวมตัวกับ สารประกอบเพกทิน เป็นเกลือแคลเซียมเพกเตตที่ไม่ละลายน้ำ แต่ผลไม้ที่นำไปแช่เยือกแข็งจะ ไม่ผ่านการลวก

การสูญเสียวิตามินซีจะเป็นตัวชี้บ่งความรุนแรงของการลวกและคุณภาพของวัตถุดิบ ภายหลังจากการลวก ผลของวิธีการลวกและการทำให้เย็นลงภายหลังการลวกต่อการสูญเสียวิตามินซี ในผักบางชนิด แสดงดังตาราง 2.8

ตาราง 2.8 ผลของวิธีการลวกและการทำให้เย็นต่อการสูญเสียวิตามินซีในผักบางชนิด

วิธีการลวกและการทำให้เย็น	ร้อยละการสูญเสียวิตามินซี		
	เมล็ดถั่วลันเตา	บรอกโคลี	ถั่วแขก
ลวกด้วยน้ำและทำให้เย็นด้วยน้ำ	29.1	38.7	15.1
ลวกด้วยน้ำและทำให้เย็นด้วยลมเย็น	25.0	30.6	19.5
ลวกด้วยไอน้ำและทำให้เย็นด้วยน้ำ	24.2	22.2	17.7
ลวกด้วยไอน้ำและทำให้เย็นด้วยลมเย็น	14.0	9.0	18.6

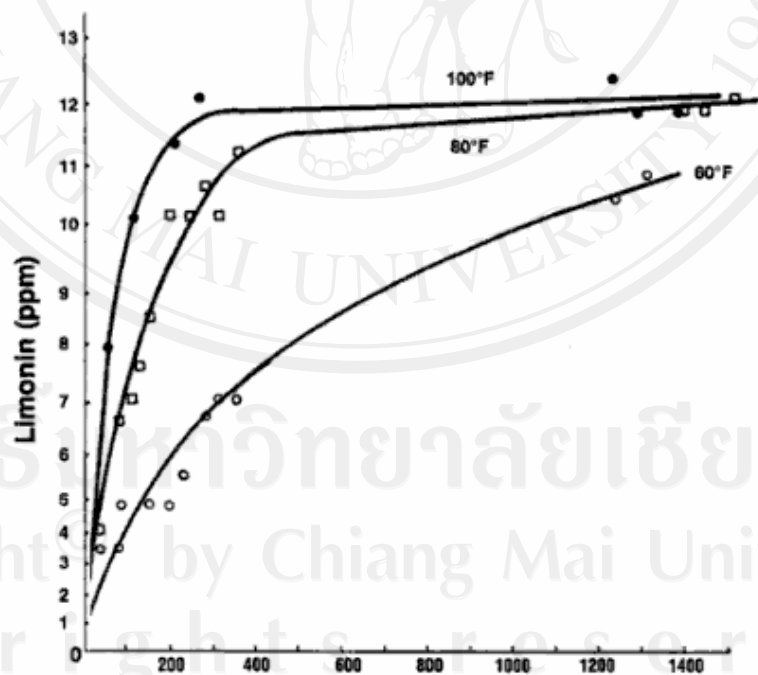
ที่มา : นิธิยา (2544)

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก (blanching time) ผักและผลไม้ (นิธิยา, 2544)

1. ชนิดของผักและผลไม้
2. ขนาดของชิ้นผักและผลไม้
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการลวก
4. วิธีการในการให้ความร้อน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dan (1999) รายงานว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณสารลิโมนินในน้ำส้ม Washington คั้นสด โดยพบว่าอุณหภูมิที่ใช้เก็บน้ำส้มเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะกระตุ้นการเกิด สารลิโมนินให้เกิดขึ้นได้เร็วขึ้นและเพิ่มมากขึ้น โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 100 องศาฟาเรนไฮด์ โดยศึกษาเป็นเวลา 1,400 นาที ได้ผลการทดลองดังภาพ 2.11



ภาพ 2.12 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของสารลิโมนินเมื่อเก็บน้ำส้มไว้ที่อุณหภูมิต่างๆกัน
ที่มา : Dan (1999)

ลัดดา (2005) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินและฟลาโวนอยด์จากเนื้อส้มโอพันธุ์ต่างๆ 8 พันธุ์ ได้แก่พันธุ์ขาวใหญ่ ขาวน้ำผึ้ง ขาวแตงกวา ขาวหอม ขาวแป้น ทองดี ท่าข่อย และพื้นเมืองเชียงใหม่ โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่ามีปริมาณลิโมนินอยู่ระหว่าง 6.82-32.40 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม โดยพันธุ์ขาวแตงกวาพบมากที่สุด (32.40 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม) ส่วนนารินจินมีปริมาณระหว่าง 200.84-578.76 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม พันธุ์พื้นเมืองเชียงใหม่ มีปริมาณนารินจินมากที่สุด (578.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ปริมาณลิโมนินและนารินจินในเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่ ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันโดยวิเคราะห์ที่อายุการเก็บ 7 8 และ 9 เดือน พบว่าปริมาณลิโมนินและนารินจินจะลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณลิโมนินจะเพิ่มปริมาณสูงขึ้น ถ้าเตรียมน้ำส้มโอแล้วตั้งทิ้งไว้ 4-5 ชั่วโมง

วันเพ็ญ (2544) ทำการศึกษาผลของการลวก ต้ม และผัด ต่อปริมาณธาตุเหล็ก วิตามินซี ไฟเตทและแทนนิน ในผักที่นิยมบริโภคในประเทศไทย ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีพบว่า ในผักดิบมีปริมาณวิตามินซีอยู่ระหว่าง 5.02-115.76 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการลวก ต้ม และผัด พบว่า ปริมาณวิตามินซีลดลงอยู่ระหว่าง 0.08-100.76 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และพบว่า การลวก การต้ม การผัด ทำให้วิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ganiyu (2005) ได้ทำการศึกษาผลของการลวกต่อปริมาณสารantioxidantในผักทานใบ (ประเทศไนจีเรีย) พบว่ากระบวนการลวกผักทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี โดยในผักสดจะมีปริมาณวิตามินซีอยู่ระหว่าง 43.5-148 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อผ่านกระบวนการลวกพบว่า ปริมาณลดลงอยู่ระหว่าง 15.8-27.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

นิริมา (2545) ได้ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตและลักษณะเฉพาะจากเปลือกส้มเขียวหวาน จากการศึกษาผลของการลวกต่อสีของผงเปลือกส้ม พบว่าผงเปลือกส้มที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ 2 นาที มีสีดีกว่าที่ไม่ผ่านการลวก ($p \leq 0.05$)

วรรณิ และ ประศาสตร์ (2544) ได้ทำการวิจัย "การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตมะนาวผง โดยวิธี spray drying ให้โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรม" โดยแปรรูปน้ำมะนาวสดเป็นมะนาวผง เพื่อแก้ปัญหาการคั่วในช่วงฤดูฝน โดยการลดความขมน้ำมะนาวด้วยการลวกมะนาวที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ช่วยลดปริมาณลิโมนิน ซึ่งสารให้รสขมน้ำมะนาวใกล้เคียงกับมะนาวที่เตรียมจากผลมะนาวที่ปอกเปลือก และได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมะนาว โดยเปรียบเทียบระหว่าง น้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ไม่ได้ปอกเปลือก กับน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ปอกเปลือก ก่อนคั้นน้ำ พบว่าในน้ำมะนาวที่คั้นได้จากผลมะนาวที่ไม่ได้ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ มีปริมาณวิตามินซี 34.5 ± 0.1 mg/100ml ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 8.0 ± 0.9 °Brix ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.1 ± 0.2 ปริมาณกรดทั้งหมด

คำนวณในรูปกรดซิตริก ร้อยละ 7.42 ± 0.2 และค่าสี L a* และ b* เท่ากับ 44.3 ± 2.0 , -4.9 ± 0.3 และ 7.3 ± 1.2 ตามลำดับ และพบว่าสมบัติข้างต้นในน้ำมะนาวที่คั้นได้จากผลมะนาวที่ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำไม่แตกต่างกันกับน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ปอกเปลือกก่อนคั้นน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวที่ปอกเปลือก ก่อนคั้นน้ำ มีปริมาณสารลิโมนิน 310 ppm

สุภารัตน์ (2521) ได้ทดลองวิเคราะห์หาปริมาณลิโมนิน ของน้ำมะนาวสดพบว่า น้ำมะนาวสดมีปริมาณลิโมนิน 4.55-6.00 ppm และจะเพิ่มขึ้นเป็น 13-15 ppm หลังจากการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

อัจฉรา (2532) พบว่าหลังจากนำน้ำมะนาวมาพาสเจอร์ไรซ์ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้น 2.86 เท่า ของปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวสด โดยมีการให้เหตุผลว่าเกิดจากการเปลี่ยนจากสาร limonoate A-ring lactone ไปเป็นลิโมนิน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา