

การศึกษาปริมาณสารให้ความขมในมะนาว

และผลของเอทิลีนต่อความขม

STUDIES ON BITTER COMPOUNDS IN LIME (*Citrus aurantifolia* Swing)

AND EFFECT OF ETHYLENE ON BITTERNESS



40794

สุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์
SUWANNA PICHAIYONGVONGDEE

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 40794
จัน, เดือน, ปี 26 พ.ย. 2544

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ 2544

ISBN 974-648-403-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDIES ON BITTER COMPOUNDS IN LIME (*Citrus aurantifolia* Swing)
AND EFFECT OF ETHYLENE ON BITTERNESS**

SUWANNA PICHAIYONGVONGDEE

**THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2001**

ISBN 974-648-403-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาปริมาณสารให้ความขมในมะนาวและผลของเอทิลีน
ต่อความขม
STUDIES ON BITTER COMPOUNDS IN LIME
(*Citrus aurantifolia* Swing)
AND EFFECT OF ETHYLENE ON BITTERNESS

นักศึกษา นางสาวสุวรรณา พิชัยวงศ์วงศ์ดี

รหัสประจำตัว 41066010

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

พ.ศ. 2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณของสารให้ความขมในมะนาว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น และการลดความขมในน้ำมะนาวโดยใช้เอทิลีน จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบมะนาว 2 พันธุ์ พบว่าน้ำมะนาวสดพันธุ์ไข่มีปริมาณสารให้ความขมคือ ลิโมนิน 4.90 ppm และนาริงจิน 129.57 ppm พันธุ์แป้นมี ลิโมนิน 6.00 ppm และนาริงจิน 148.90 ppm

การกระจายตัวของปริมาณลิโมนินและนาริงจินในผลมะนาวพบว่า บริเวณเมล็ดมีปริมาณ ลิโมนินมากที่สุด (พันธุ์ไข่ 165.46 ppm และพันธุ์แป้น 189.58 ppm) รองลงมา เปลือกชั้น ใน (9.31 ppm , 15.71 ppm) เปลือกชั้นนอก (8.06 ppm, 8.82 ppm) เนื้อเยื่อลิบ (16.15 ppm, 18.95 ppm) และน้ำ (4.90 ppm , 6.00 ppm) ตามลำดับ สารนาริงจินมีมากที่สุดบริเวณ เปลือกชั้นในคือ (พันธุ์ไข่ 3266.20 ppm พันธุ์แป้น 4790.09 ppm) รองลงมาคือ เปลือกชั้นนอก (2872.28 ppm, 3406.04 ppm) เม็ด (1678.51 ppm , 1613.84 ppm) เนื้อเยื่อลิบ (763.76 ppm, 1354.94 ppm) และน้ำ (129.57 ppm , 148.09 ppm) ตามลำดับ

ส่วนของประกอบทางเคมีทั้ง 2 พันธุ์ พบว่ามะนาวสดพันธุ์ไข่มีกรดแอสคอบิก 46.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กรดซิตริก 7.07% pH 2.82 ของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ brix) 7.50 มะนาวพันธุ์แป้นมีกรดแอสคอบิก 45.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กรดซิตริก 6.70 % pH 2.84 ของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ brix) 7.00 ในการศึกษาต่อไปได้เลือกมะนาวพันธุ์แป้นเพราะมีปริมาณ ลิโมนินสูง

สถานะที่สามารถลดปริมาณลิโมนินได้ดี คือ ปริมาณเอทิลีน 20 ppm สัมผัสกับผล มะนาวเป็นเวลา 3 ชั่วโมงสามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 56.59 ส่วนนาริงจินมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงน้อยมาก การให้มะนาวสัมผัสกับเอทริลีนก่อนหรือหลังการนำไปเก็บที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน ไม่มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถลดปริมาณลิโมนินลงได้ร้อยละ 71-75 ส่วนนาริงจินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ปริมาณกรดซิตริก กรดแอสคอบิก pH และ °Brix มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Studies on bitter compounds in lime (<i>Citrus aurantifolia</i> Swing) And effect of ethylene on bitterness
Studen ID.	41066010
Degree	Master of Science
Programme	Food science
Year	2001
Thesis advisor	Assist. Prof. Dr. Ratipom Haruenkit

ABSTRACT

This research involved a comparative study of bitterness compound in two varieties of Lime ,namely Kai and Pan , and effect of ethylene on bitterness reduction. The result showed that lime juice from Kai variety contained of 4.90 ppm of Limonin and 129.57 of Naringin. The juice of Pan variety contained of 6.00 ppm of Limonin and 148 ppm of Naringin.

Distribution of Limonin and Naringin in those two varieties showed that , the least amount Limonin and Naringin were in the juice. The highest amount of Limonin was found in seed (Kai 165.45 ppm,Pan 189.58 ppm) while for the other parts , albedo (9.31 ppm , 15.71 ppm) flavedo (8.06 ppm,8.82 ppm) segment membrane (16.15 ppm,18.95 ppm) and juice sacs (4.90 ppm , 6.00 ppm) in decreasing order of concentration. The albedo contain the highest amount of Naringin in those two varieties (Kai 3266.20 ppm,Pan 4790.09 ppm) while for the other parts , flavedo (2872.28 ppm, 3406.04 ppm) seed (1678.51 ppm , 1613.84 ppm) segment membrane (763.76 ppm, 1354.94 ppm) and juice sacs (129.57 ppm , 148.09 ppm) in decreasing order of concentration.

Analysis of the lime juice two varieties , showed that lime juice from Kai variety of 46.50 mg/100ml of ascorbic acid, 7.07% of citric acid, pH 3.5, total soluble solid 7.50. The juice of Pan of 45.56 mg/100ml of ascorbic acid, 6.70% of citric acid, pH 2.84, total soluble solid 7.00. Next study by use lime (Pan) because that highest limonin concentration

Reducing of limonin by 56.59 % was found when fruit was exposed to 20 ppm of ethylene for 3 hours. Ethylene had no significant effect on naringin

Pre-treatment or post-treatment with ethylene before storage at 5 °C showed no significant difference. Storage of treated Lime for 28 days reduced Limonin 71- 75% citric acid ascorbic acid pH total soluble solids and naringin content less dropped.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำ ปรีกษา แก้ไขปัญหาต่างๆ ในระหว่างปฏิบัติการรวมทั้งแก้ไขตรวจสอบรูปเล่มจนเสร็จสมบูรณ์จาก ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการ ดร.พอใจ งามาการ และ ดร. กิตติชัย บรรจง ที่ช่วยแก้ไขและให้คำแนะนำ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจมากขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร. มนัส ไพฑูรย์เจริญผล อาจารย์ประจำภาควิชาสถิติประยุกต์ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวางแผนการทดลอง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษาจนข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ คุณยกเหลียน - นางดั่งดี แซ่ด่าน และคุณพัชรี พิชัยวงศ์วงศ์ ที่ให้กำลังใจ และเป็นห่วงตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณบุญ-คุณกันทิมา พิชัยวงศ์วงศ์ ที่ให้คำแนะนำและให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณบุญกิต-คุณพนิดา พิชัยวงศ์วงศ์ ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการพิมพ์วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิคและเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณภาวิณี คุณจันทร์ คุณวาสนี จริญยานนท์ ที่คอยให้กำลังใจยามท้อแท้และคอยเป็นที่ปรึกษา และ ขอขอบคุณ คุณพัชนี (นักศึกษาปริญญาโท) ที่มีจิตใจเอื้อเฟื้อที่พักอาศัยในระหว่างดำเนินปฏิบัติการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ จนเสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณธวัชชัย คุณสมชาย และคุณสุกัญญา พิชัยวงศ์วงศ์ ที่มอบแต่สิ่งดี ๆ ให้ตลอดมา ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุวรรณา พิชัยวงศ์วงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พันธุ์มะนาว.....	3
2.2 โครงสร้างของผลมะนาว.....	4
2.3 คุณค่าทางอาหารของผลมะนาว.....	5
2.4 สารประกอบลิโมนอยด์.....	7
2.5 โครงสร้างลิโมนิน.....	8
2.6 การสังเคราะห์ลิโมนิน.....	9
2.7 สารนาริงจิน.....	11
2.8 โครงสร้างนาริงจิน.....	12
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างลิโมนิน และนาริงจิน.....	15
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความขม	17
2.11 การลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม.....	20
2.12 บทบาทของเอทรีลีนต่อความขม.....	26
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	28
3.1 วัสดุดิบ.....	28
3.2 สารเคมี.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 อุปกรณ์.....	29
3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	29
3.5 วิธีการทดลอง.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 ปริมาณลิโมนิน และนาริงจินในส่วนต่างๆ ของผลมะนาว และองค์ประกอบทางเคมีของมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น.....	33
4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณลิโมนินและนาริงจิน....ในน้ำมะนาว.....	38
4.3 ผลของปริมาณเอทิลีนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกับผลมะนาวต่อความขมของน้ำมะนาวที่ลดลง.....	40
4.4 ผลของการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเก็บมะนาวที่ระดับอุณหภูมิ 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียสต่อปริมาณลิโมนินและนาริงจิน.....	44
4.5 ปริมาณลิโมนินและนาริงจินบริเวณเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำเมื่อมะนาวสัมผัสเอทิลีนที่สภาวะเหมาะสม.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	66
ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก	
ก. วิธีวิเคราะห์ลิโมนิน.....	75
ข. วิธีวิเคราะห์นาริงจิน.....	80
ค. วิธีวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมด.....	83
ง. วิธีวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
จ. วิเคราะห์ค่ากรด-ด่าง (pH) และ Total Solid Solid	89
ฉ. คะแนนการเปลี่ยนสีผิวของผลมะนาว	
คะแนนการเหี่ยวของผลมะนาว.....	91
ประวัติผู้เขียน.....	132



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว	6
2.2 แสดงรายชื่อสารลิโมนอยด์ต่าง ๆ.....	7
2.3 แสดงปริมาณลิโมนินในเมล็ดของผลไม้ชนิดต่าง ๆ.....	9
2.4 แสดงการกระจายของลิโมนินและนาริงจีนในส่วนต่างๆของผลไม้ตระกูลส้ม.....	17
2.5 แสดงปริมาณลิโมนินในน้ำผลไม้ตระกูลส้มชนิดและพันธุ์ต่างๆ.....	19
4.1 แสดงน้ำหนักแต่ละส่วนของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น.....	33
4.2 แสดงปริมาณลิโมนิน (ppm) ในเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อกลีบ เม็ด และน้ำ	34
4.3 แสดงปริมาณนาริงจีน (ppm) ในเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อกลีบ เม็ด และน้ำ	36
4.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น.....	38
4.5 แสดงคุณภาพและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาว อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	56
4.6 แสดงคุณภาพและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาว อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	57
4.7 แสดงคุณภาพและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาว อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	58
4.8 แสดงคุณภาพและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาว อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	59
4.9 แสดงลักษณะปรากฏทางกายภาพภายนอกของผลมะนาวเมื่อเก็บที่ อุณหภูมิต่างๆ.....	62
4.10 แสดงปริมาณลิโมนินในเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ เมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทิลีน ที่สภาวะต่างๆ.....	63
4.11 แสดงปริมาณนาริงจีนในเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ เมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทิลีน ที่สภาวะต่างๆ.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ท-1 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแต่ละส่วนของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น.....	94
ท-2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณลิโมนิน (ppm) ในเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ.....	95
ท-3 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณนาริงจิน (ppm) ในเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ.....	96
ท-4 แสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น.....	97
ท-5 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนาริงจินและ ปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาว.....	98
ท-6 แสดงปริมาณลิโมนิน (ppm) ในน้ำมะนาวพันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับเอทิลีน ในระดับต่างๆ.....	98
ท-7 แสดงร้อยละของการลดลงของระดับลิโมนินในน้ำมะนาว พันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับเอทิลีนในระดับต่างๆ.....	99
ท-8 แสดงปริมาณนาริงจิน (ppm) ในน้ำมะนาวพันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับเอทิลีน ในระดับต่างๆ.....	99
ท-9 แสดงร้อยละของการลดลงของระดับนาริงจินในน้ำมะนาว พันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับเอทิลีนในระดับต่างๆ.....	100
ท-10 แบบประเมินผลทางประสามสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำมะนาว.....	101

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างของผลไม้ตระกูลส้ม.....	5
2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของลิโมนิน	8
2.3 แสดงวิธีการสังเคราะห์ลิโมนิน.....	9
2.4 แสดงการทำงานของเอนไซม์ลิโมนิน วงแหวนแลคโตนไดไฮโดรเลส.....	11
2.5 แสดงสูตรโครงสร้างของนาริงจีน.....	12
2.6 แสดงการไฮโดรไลส์ นาริงจีน ไปเป็น phloroglucinol และ p-coumaric acid.....	13
2.7 แสดงขั้นตอนการสลายนาริงจีนด้วยเอนไซม์นาริงจีนเนส	14
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของลิโมนิน กับนาริงจีน ในน้ำ เกรปฟรุต	15
4.1 แสดงปริมาณลิโมนิน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์ไข่.....	35
4.2 แสดงปริมาณลิโมนิน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์แป้น	35
4.3 แสดงปริมาณนาริงจีน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์ไข่.....	37
4.4 แสดงปริมาณนาริงจีน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์แป้น.....	37
4.5 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนาริงจีนในน้ำมะนาว	40
4.6 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาว.....	40
4.7 แสดงปริมาณร้อยละของลิโมนินที่ลดลงเมื่อสัมผัสเอทิลีนที่ 5 20 100 และ 200 ppm เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง.....	41
4.8 แสดงปริมาณร้อยละของลิโมนินที่ลดลงเมื่อสัมผัสเอทิลีนที่ 5 20 100 และ 200 ppm เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง.....	42
4.9 แสดงผลของปริมาณลิโมนิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	45
4.10 แสดงผลของปริมาณลิโมนิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	46
4.11 แสดงผลของปริมาณลิโมนิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	47
4.12 แสดงผลของปริมาณลิโมนิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 แสดงผลของปริมาณนาริงจิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	51
4.14 แสดงผลของปริมาณนาริงจิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	52
4.15 แสดงผลของปริมาณนาริงจิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	53
4.16 แสดงผลของปริมาณนาริงจิน (ppm) เมื่อมีการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลัง เก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	55



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะนาว (*Citrus auratifolin Swingle*) เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาผันแปรมากที่สุด ในช่วงฝนเป็นช่วงที่มะนาวออกสู่ตลาดมากและมีราคาถูก โดยถูกใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มรสชาติในการปรุงอาหารชนิดต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะในการในการทำให้รสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมพิเศษของมะนาว นอกจากนั้นแล้วยังนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เช่น น้ำมะนาว แต่ปัญหาสำคัญของน้ำมะนาวคือ รสขมที่เกิดขึ้นมาจากสารประกอบลิโมนิน (limonin) และนาริงจิน (naringin) น้ำมะนาวที่คั้นใหม่ๆ จะมีรสขมเพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่มีรสขม แต่ถ้าทิ้งไว้นานๆหรือได้รับความร้อนจะเกิดความขมเพิ่มขึ้น และรสขมที่เกิดขึ้นพบว่าลิโมนินมีบทบาทในการให้รสขมมากกว่านาริงจิน ความขมของลิโมนินเพียง 5 ppm ทำให้ผู้บริโภครับรู้รสขมได้ ในขณะที่นาริงจินจะต้องมีความเข้มข้นมากกว่า 600 ppm จึงจะรับรู้รสได้ ดังนั้นจึงได้พยายามหาวิธีการกำจัดรสขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้มด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้สารเคมี การใช้เอนไซม์และจุลินทรีย์ การใช้ตัวดูดซับ การใช้เปลือกไข่ แต่ละวิธีสามารถลดความขมได้แตกต่างกัน และบางวิธีอาจใช้ค่าใช้จ่ายสูง มีผลกระทบต่อสารเคมี และอาจทำให้องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพน้ำผลไม้ตระกูลส้มเปลี่ยนแปลงไป

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้เอทริสในการลดปริมาณความขมในน้ำมะนาวเบื้องต้นให้น้อยลงหลังจากนั้นนำมาใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆ เพื่อเป็นการลดความขมส่วนที่เหลือ และเป็นการประหยัดต้นทุนและค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่จะนำมาใช้ในการลดความขมต่อไป

1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณสารให้ความขมในมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้นและการลดความขมของน้ำมะนาวโดยเอทิลีนที่ความเข้มข้นต่างๆ กันโดยเก็บที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กัน รวมทั้งปริมาณของสารให้ความขมที่มีในส่วนต่างๆ หลังจากการสัมผัสเอทิลีน

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาปริมาณของลิโมนีนและนาริงจินในมะนาวพันธุ์ไข่และมะนาวพันธุ์แป้นที่ปลูกเป็นการค้า

1.3.2 เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาในการเกิดความขมของน้ำมะนาวหลังจากคั้นจากผล

1.3.3 เพื่อศึกษาปริมาณเอทิลีนและระยะเวลาวิธีในการสัมผัสกับผลมะนาวต่อระดับความขมของน้ำมะนาว

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 พันธุ์มะนาว

มะนาวจัดเป็นผลไม้ตระกูลส้ม (citrus fruit) ชนิดหนึ่ง หมายถึงผลไม้ที่มีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุด มะนาวจัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ คือ มะนาว (lime) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* Swing

และเลมอน (lemon) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus limon* Burm. f.

ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกันมาก แต่จะมีส่วนที่แตกต่างกันคือ lemon จะมีขนาดใหญ่กว่า ปริมาณน้ำมากกว่าแต่มีความเปรี้ยวน้อยกว่า lime (ชาญชัย โอหมชล และพนาไพร งานศิริ. 2535) สำหรับพันธุ์มะนาวที่ปลูกในประเทศไทยขณะนี้มีอยู่หลายพันธุ์ แต่พันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่

2.1.1 มะนาวหนัง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาว หัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะค่อนข้างยาว มีกลมนับว่าเล็กน้อย ด้านหัวมีจุดเล็กๆ มีเปลือกค่อนข้างหนาทำให้การบีบคั้นน้ำออกจากผลไม่สะดวกเท่ามะนาวที่เปลือกบางกว่า พันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่มีรสเปรี้ยวจัดเพราะมีเปอร์เซ็นต์กรดค่อนข้างสูง

2.1.2 มะนาวไซ้ มีขนาดและคล้ายมะนาวหนังเกือบทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาว หัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมมนเป็นส่วนมาก เปลือกบางใส ออกลูกดก และผลมีน้ำมาก มีเมล็ดค่อนข้างน้อย ผลโตกว่ามะนาวหนัง

2.1.3 มะนาวแป้น เป็นมะนาวที่สามารถให้ดอกออกผลตลอดปี ผลมีขนาดกลาง ทรงแป้น เปลือกบางใสมีสีเขียวอมเหลือง มีน้ำมาก ไม่ค่อยมีเมล็ด มะนาวแป้นมีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์แป้นรำไพ แป้นทราย เป็นต้น (ศุภกิจ แก้วถนอม. 2540)

การเก็บเกี่ยวมะนาวจะทำเมื่อผลมะนาวมีอายุประมาณ 5-6 เดือน (ตั้งแต่ดอกบานถึงผลแก่) ซึ่งระยะนี้ผลเจริญเติบโตเต็มที่ (ทวีศักดิ์ ด่วงทอง. 2537)

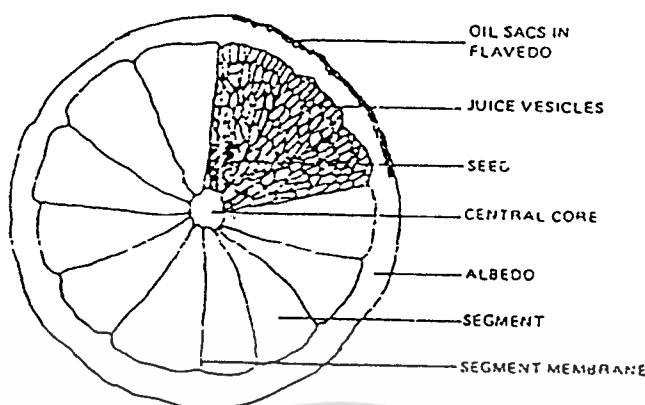
2.2 โครงสร้างของผลมะนาว

Ting and Rouseff (1980) กล่าวว่า เนื้อเยื่อของผลไม้ตระกูลส้มแบ่งได้เป็นส่วนใหญ่ ๆ คือ เปลือกชั้นนอก (flavedo) เปลือกชั้นกลาง (albedo) และกลีบผล (carpel segments) ดังนี้

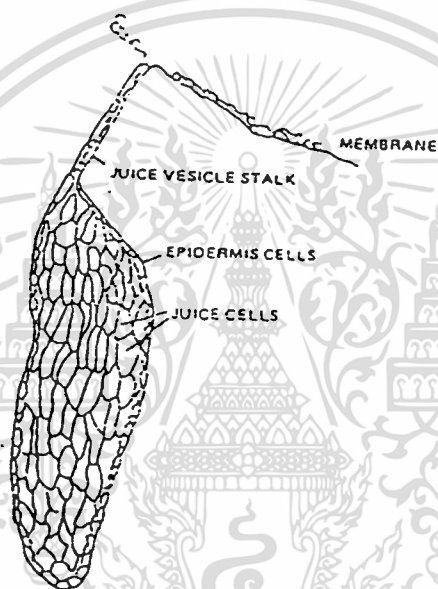
2.2.1 ชั้นแรก คือชั้นของเอปีคาร์ป (epicarp) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือกหรือเฟลวิโด (flavedo) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลายชนิด ชั้นนอกสุดเป็นชั้นเอพิเดอร์มิส (epidermis) ที่ผิวหน้าของชั้นนี้มีไคติน (chitin) และขี้ผึ้งเคลือบอยู่เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ ถัดจากเอพิเดอร์มิสลงมาคือชั้นของคอลเลนโดมา (collenchyma) และพาเรนโดมา (parenchyma) ซึ่งมีโครมาโตฟอร์ (chromatophores) และต่อมน้ำมันหอมระเหย (oil gland)

2.2.2 ชั้นที่สอง คือชั้นแอลบีโด (albedo) ประกอบด้วยเซลล์ที่อยู่กันอย่างหลวมๆ และไม่มีโครมาโตฟอร์ (chromatophores) เนื้อเยื่อนี้จะมีลักษณะนุ่มและเป็นสีขาวในตามธรรมชาติ เนื่องจากมีช่องอากาศจำนวนมากในเนื้อเยื่อนี้ อัลบีโดประกอบด้วยเซลล์พาเรนโดมาขนาดใหญ่ที่มีสารเพคตินและเฮมิเซลลูโลสมาก ห่อหุ้มส่วนของเอนโดคาร์ปซึ่งเป็นส่วนที่รับประทาน ส่วนของอัลบีโดและเฟลวิโดรวมเรียกว่าเพอริคาร์ป หรือเปลือก ดังแสดงในรูป 2.1 (ก)

2.2.3 ชั้นที่สาม คือชั้นเอนโดคาร์ป (endocarp) ประกอบด้วยกลีบผล ปกติอาจมี 9-13 กลีบ แต่ละกลีบจะถูกแบ่งออกจากกันด้วยผนังกลีบ (segment membrane) และภายในจะมีถุงน้ำ (Juice vesicles) ซึ่งติดกับผนังกลีบด้วยก้าน เป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูป 2.1(ข) และมีเมล็ด (seed) ที่ติดอยู่ที่แกนกลางของผล



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของผลไม้ตระกูลส้ม (ก) ภาพตัดขวาง (ข) ภาพประกอบของ ถุงน้ำ
ที่มา: Ting and Rouseff (1980)

2.3 คุณค่าทางอาหารของน้ำมะนาว

องค์ประกอบที่สำคัญและมีมากที่สุดคือน้ำมะนาว คือ กรด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์ กรดในน้ำมะนาวประกอบด้วยกรดชนิดต่างๆ ซึ่งมีสัดส่วนดังนี้ กรดซิตริกร้อยละ 91.8 กรดมาลิก ร้อยละ 4.9 กรดควินิกและกรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.5 กรดที่ไม่ได้จำแนกชนิดอีกร้อยละ 2.5 (Kefford. 1959) องค์ประกอบอื่นๆของน้ำมะนาวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณต่อ 100 กรัม	
	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
pH	1.7-3.2	
Soluble solid ,total (° Brix)	8.3-14.1	10
Acid, total, as anhyd. Citric (g)	4.94-8.32	5.97
Sugar, total as invert (g)	0-1.74	0.14
Reducing sugar (g)		
Sucrose (g)		
Protein (total Nx6.25) (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 (mg)	4.5-10.4	7
Phosphorus (mg)	9.3-11.2	10
Iron (mg)	0.19-0.92	0.6
Magnesium (mg)		
Potassium (mg)		
Sodium (mg)		
Chlorine (mg)		
Vitamin		
Thiamin (µg)	11-28	28
Riboflavin (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

ที่มา : Tressler and Joslyn (1961)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สารประกอบลิโมนอยด์ (Limonoid)

สารลิโมนอยด์ (Limonoid) เป็นสารประเภทอนุพันธ์ของไตรเทอร์ปีน (triterpene derivative) ซึ่งประกอบด้วยสารสำคัญ ๆ ที่เป็นสาเหตุของความขม มี 5 ชนิด ใน 17 ชนิดของลิโมนอยด์ที่มีความขม ได้แก่ นอมิลิน (Nomilin) ไอชานจิน (Ichangin) นอมิลินิก แอซิก (Nomilinic acid) โอบาคิวโนอิก (Obacunoic acid) และลิโมนิน (Limonin) ยังมีสารประกอบลิโมนอยด์อื่นๆ ที่ขมเล็กน้อย และไม่มีรสขม ดังตารางที่ 2.2 (Maier *et al.* 1977)

Maier *et al.* (1970) กล่าวว่า สารลิโมนอยด์ที่พบมากที่สุดในเมล็ด คือ ลิโมนิน ซึ่งสารตัวนี้เป็นตัวทำให้เกิดรสขมในน้ำผลไม้ โดยเฉพาะ Grapefruit Navel orange และ lime สารลิโมนินถูกค้นพบว่าเป็นสารประกอบผลไม้ตระกูลส้มตั้งแต่ปี 1841 ซึ่งสามารถตรวจสอบโครงสร้างลิโมนินได้โดยการใช้เทคนิคของ X – ray crystallography (Kefford and Chandler.1970)

ลิโมนินเป็นสารจำพวกเททรานอร์ไตรเทอร์ปีนอยด์ (Tetanortriterpenoid) ที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม (Chloroform) อะซิโตไนไทรล์ (Acetonitrile) และไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) (Maier *et al.*1977)

ตารางที่ 2.2 แสดงรายชื่อสารลิโมนอยด์ต่าง ๆ และรสชาติ

สารลิโมนอยด์	รสชาติ
ลิโมนิน (Limonin)	ขม
ดีออกซีลิโมนิน (Deoxylimonin)	ไม่ขม
โอบาคิวโนน (Obacunone)	ไม่ขม
นอมิลิน (Nomilin)	ขม
ลิโมนิก แอซิด (Limonic acid)	ไม่ขม
ลิโมนิกแอซิดวงแหวนแลคโตน (Limonic acid A-ring Lactone)	ไม่ขม
ดีอะซีทิลนอมิลิน (Deacetylnomilin)	ไม่ขม
ไอชานจิน (Ichangin)	ขม
นอมิลินิก แอซิด (Normilinic acid)	ขม
17-ดีไฮโดรลิโมนอิก แอซิด วงแหวนแลคโตน (17-Dehydrolimononic acid A-ring lactone)	ไม่ขม
ลิโมนิกแอซิด (Limonexic acid)	ไม่ขม
ดีออกซีลิโมนิก แอซิด (Deoxylimononic acid)	ไม่ขม
โอบาคิวโนอิก (Obacunoic acid)	ขม
โปรโตลิโมนิน I (Protolimonin I)	ขมเล็กน้อย
โปรโตลิโมนิน II (Protolimonin II)	ไม่ขม
ลิโมนิลิก แอซิด (Limonilic acid)	ไม่ขม
ลิโมนอล (Limonol)	ไม่ขม

ที่มา : Mailer *et al.* (1977)

2.5 โครงสร้างลิโมนิน

ลิโมนินมีสูตรโมเลกุล คือ $C_{26}H_{30}O_8$ มวลโมเลกุล 470 จุดหลอมเหลว 298°C

โครงสร้างลิโมนินประกอบด้วย Dicarbocyclic (B and C)

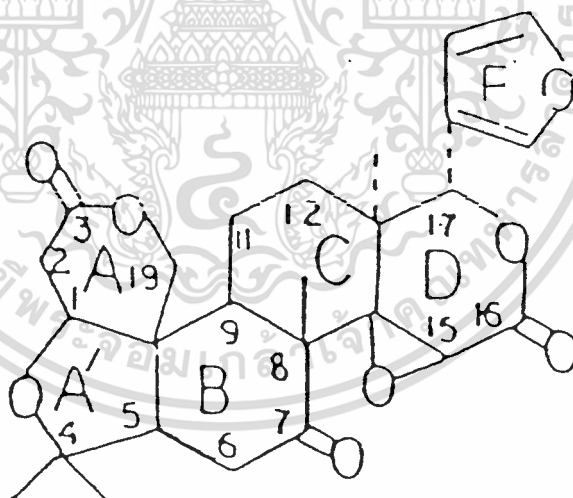
Furan ring (F)

Epoxide group (E)

γ -Lactone 2 rings (A and D)

Ether ring (A')

โดยมีวงแหวนฟูราน (Furan ring) ต่อกับ วงแหวนแกมมาแลคโตน D (γ -Lactone D-ring) ที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 17 ที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 3, 4, 7, 16, และ 17 จะมีออกซิเจนอยู่รวมด้วย (Oxygen containing functional groups) ระหว่างคาร์บอนที่ 14 และ 15 จะมีหมู่เอพอกไซด์ (Epoxide group) และคาร์บอนที่ 19 จะมีหมู่ออกซีเมทิลีน (Oxymethylene) (Wilson and Crutechfeld, 1968 ; Maier *et al.* 1977)



รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของลิโมนิน

ที่มา: Maier *et al.* (1977)

2.6 การสังเคราะห์ลิโมนิน

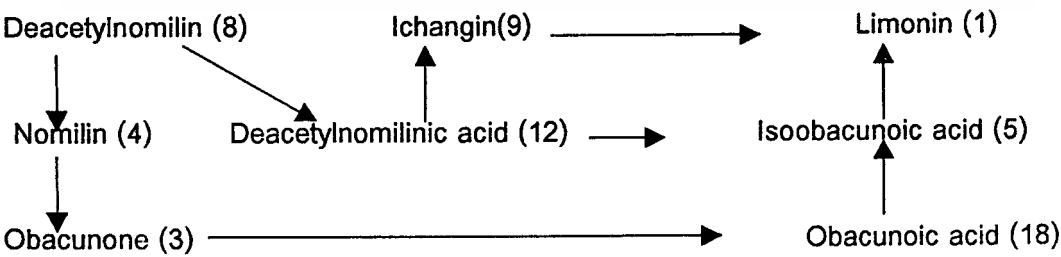
Datta and Nicholas (1968) ได้ศึกษาการสังเคราะห์สารลิโมนอยด์ในเมล็ดส้มหวานพันธุ์วาเลนเซีย (Valencia) โดยการใช้กรดเมวาโลนิค (Mevalanic acid) พบว่าแหล่งสังเคราะห์ของสารลิโมนอยด์ไม่ใช่เมล็ด ต่อมา Maier *et al.* (1977) ได้กล่าวว่าสารลิโมนินจะถูกสังเคราะห์ที่บริเวณใบ โดยเริ่มจากสารตั้งต้น ลิโมนโนเอท เอ-ริง แลคโตน (Limonate A-ring lactone) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ไม่มีรสขม แล้วถูกเคลื่อนย้ายไปสู่เปลือกชั้นใน (albedo) และผนังกลีบส้ม (segment walls) เป็นอันดับแรก แล้วจึงถูกเคลื่อนย้ายต่อไปในเมล็ด ในผลไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณลิโมนินแตกต่างกัน ในผล Meyer lemon จะมีปริมาณลิโมนินมากที่สุด รองลงมา Orange และ lime ตามลำดับ (Kefford and Chandler. 1970) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณลิโมนินในเมล็ดของผลไม้ชนิดต่าง ๆ

ผลไม้	ปริมาณลิโมนินในเมล็ด (W/W)
orange	0.54
lime	0.21
lemon	0.08
mandarin	0.07
trifoliate orange	0.09
Meyer lemon	16.00

ที่มา : Kefford and Chandler (1970)

นอกจากนี้ Maier *et al.*(1977) ได้เสนอวิถีทางการเกิดลิโมนินในผลไม้ตระกูลส้ม (รูปที่ 2.3) สามารถสรุปเป็นแผนผังดังนี้



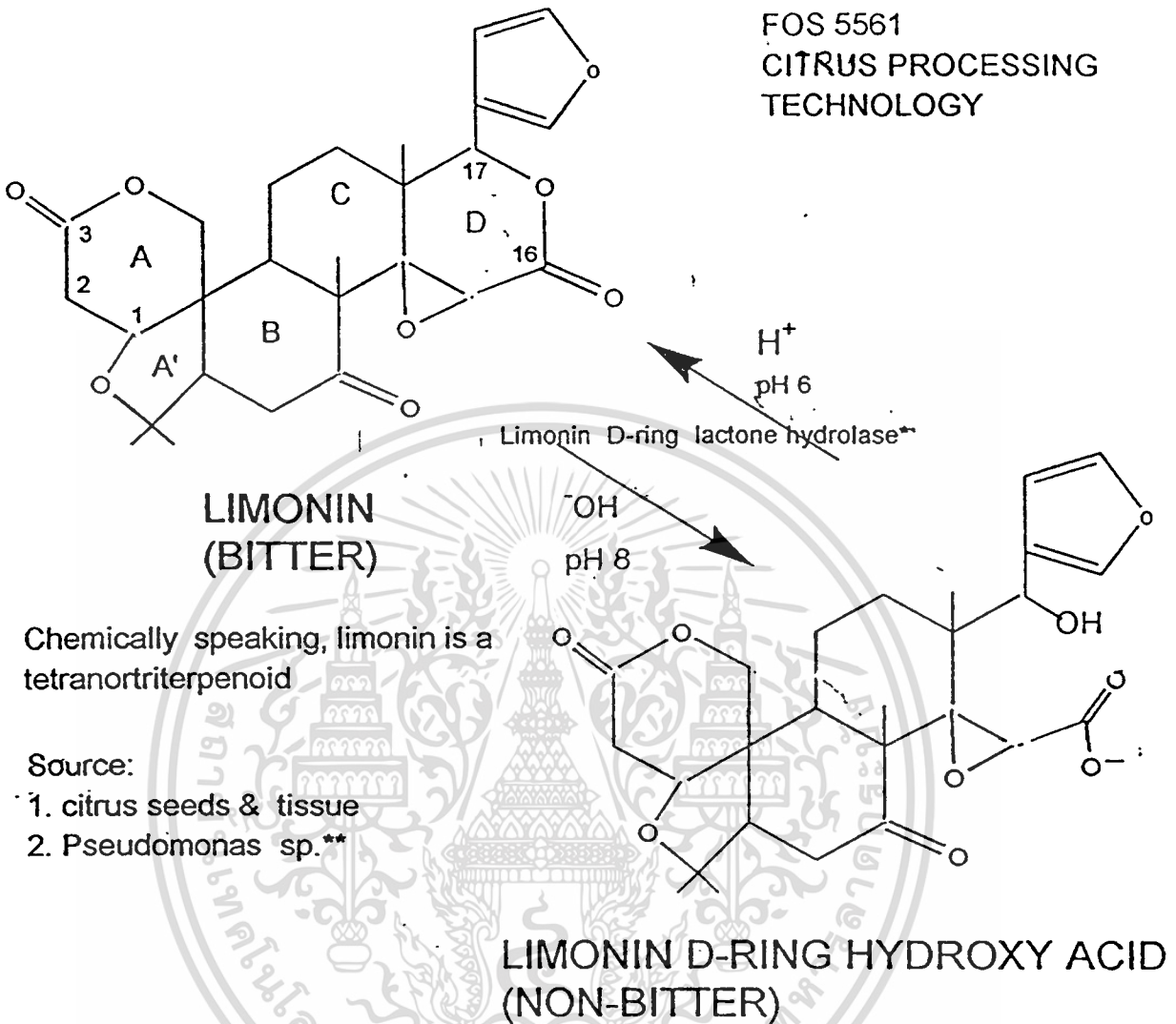
รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการสังเคราะห์ลิโมนิน

ที่มา : Maier *et al.* (1977)

ทางที่ 1 โดยเริ่มจาก Deacetylnomilin(8) $\longrightarrow$ Nomilin(4) $\longrightarrow$ Obacunone (3)
 $\longrightarrow$ Obacunoic acid (18) $\longrightarrow$ Isoobacunoic acid (5) $\longrightarrow$ Limonin (1) ตามลำดับ
 ซึ่งเป็นทางหลัก และวิธีทางที่รองลงมา Bennett (1971) ได้แยก Deacetylnomilinic acid จาก
 เมล็ดของ grapefruit สามารถเปลี่ยนเป็นสาร 2 ตัว คือ Isoobacunoic acid และ Ichagin ซึ่ง
 เป็น immediate precursor ของลิโมนิน และเป็นสาร intermediate ในกระบวนการสังเคราะห์ลิโมนิน
 ในผลไม้ Kefford and Chandter (1970) ให้เหตุผลที่ Ichagin (9) เป็นวิธีทางที่รอง
 เพราะ Ichagin เพียงชนิดเดียวที่พบปริมาณน้อยใน lemon ขณะที่ Nomilin และ Obacunone
 พบในเมล็ดของผลไม้ตระกูลส้มเกือบทุกชนิด อย่างไรก็ตามก็ยังทำการแยก Ichagin จากเมล็ด
 ของ lemon และ grapefruit และยังได้อธิบายการเกิดลิโมนินที่ผ่าน Ichagin ไว้ว่า เริ่มจาก
 Deacetylnomilin (8) ไปเป็น Deacetylnomilinic acid (12) Ichagin (9) Limonin (1)
 ตามลำดับ

ทั้ง 3 แนวทางนี้จะเกิดขึ้นในส่วนของใบไม้ตระกูลส้มก่อนและผลสุดท้ายจะได้ Limonin
 ที่ปรากฏอยู่ในเมล็ด แต่รูปแบบของลิโมนินที่พบในเนื้อเยื่อผลไม้จะแตกต่างจากที่พบในเมล็ด
 โดยลิโมนินจะอยู่ในรูปลิโมนโนโนเอท เอ-ริง แลคโตน (Limonate A-ring lactone) ซึ่งเป็นสารตั้ง
 ต้นที่ไม่มีรสขมไปเป็นลิโมนินสารที่มีรสขมโดยอาศัยเอนไซม์ Limonin D-ring lactone hydrolase
 และเมื่อสภาพของน้ำผลไม้ขณะนั้นเป็นกรดและการคั้นที่รุนแรง หรือเนื้อเยื่อได้รับความเสียหาย
 ทำให้ D ring ปิด ทำให้เกิดลิโมนิน และปฏิกิริยาดังกล่าวนี้อาจผันกลับได้หากมีการเปลี่ยนแปลง
 ระดับความเป็น กรด และ เบส ดังรูปที่ 2.4 และเอนไซม์ชนิดนี้จะพบอยู่มากในเมล็ดเช่น
 กัน (Maier et al. 1980)

FOS 5561
CITRUS PROCESSING
TECHNOLOGY



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของเอนไซม์ลิโมนิน วงแหวนแลคโตนดีไฮโดรเลส

ที่มา : Maier *et al.* (1980)

2.7 สารนาริงจีน

นาริงจีน (Naringin) เป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ที่ให้รสขม ซึ่งพบครั้งแรกในปี 1857 ในดอกของต้น grapefruit ซึ่งจะพบสารนี้มากในผลไม้ที่ยังไม่สุก และปริมาณจะลดลงเมื่อผลไม้สุกมากขึ้น น้ำผลไม้และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผล grapefruit ที่มีปริมาณความเข้มข้นของนาริงจีนสูงมากจะทำให้เกิดรสขมที่ไม่สามารถยอมรับได้

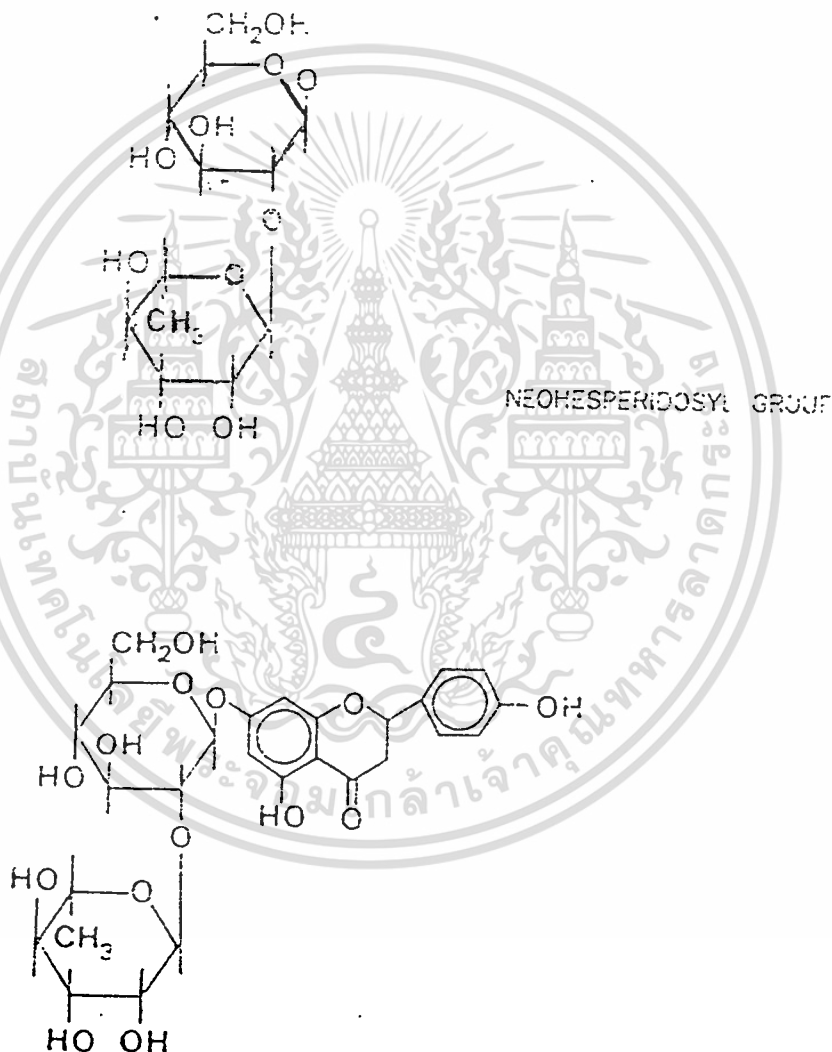
(บุศรภา ลีละวัฒน์ และ อรุณี เพียรทวิรัชต์. 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 โครงสร้างนาริงจิน

นาริงจิน (4,5,7-trihydroxy – flavanone-7-rhamnoglucoside) เป็นผลึกของ glucoside ที่มีสีขาว จนถึงสีค่อนข้างเหลือง

นาริงจินประกอบด้วย neohesperidosyl group ต่อพันธะ 1, 6 กับ hesperidin group โดย neohesperidosyl ประกอบด้วยน้ำตาล L – rhamnose และ D- glucose ต่อกันด้วยพันธะ 1, 2 glucosidic linkage ดังรูป 2.5 (Dominic.1989)



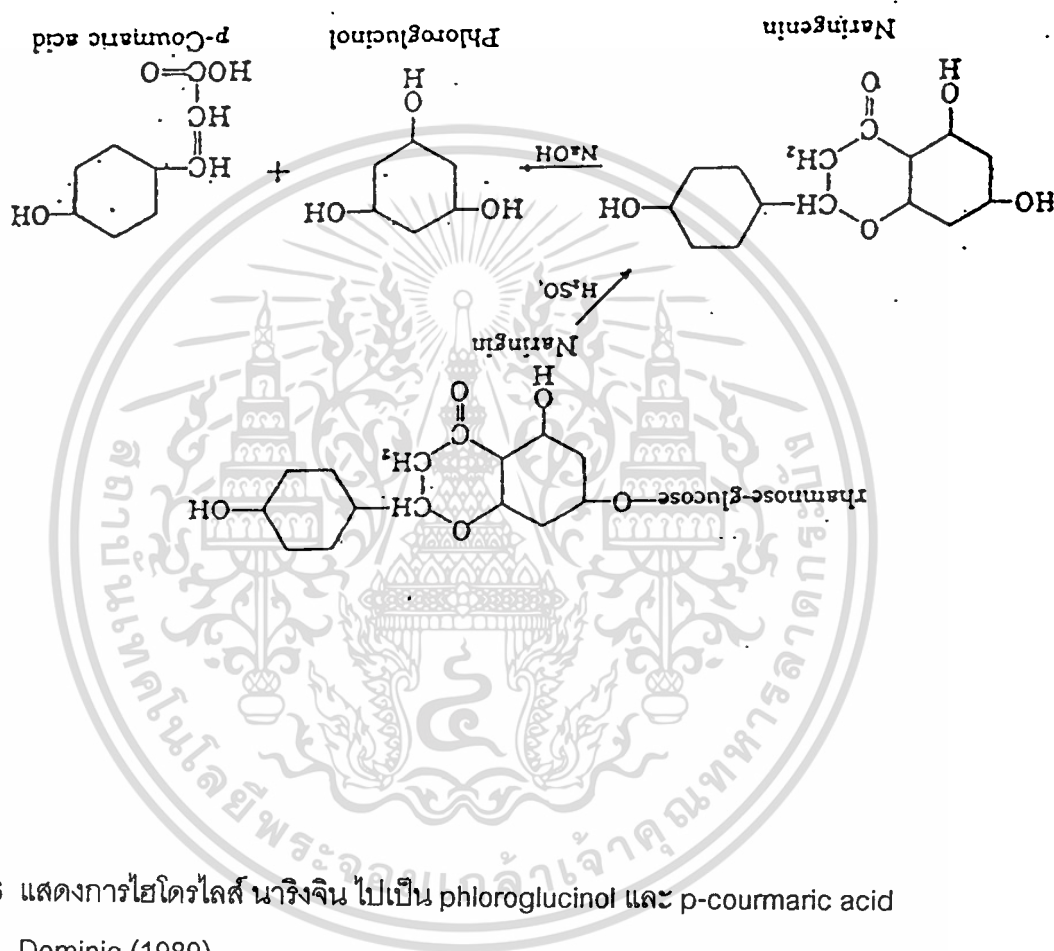
NARINGIN

รูปที่ 2.5 แสดงสูตรโครงสร้างของนาริงจิน

ที่มา : Dominic (1989)

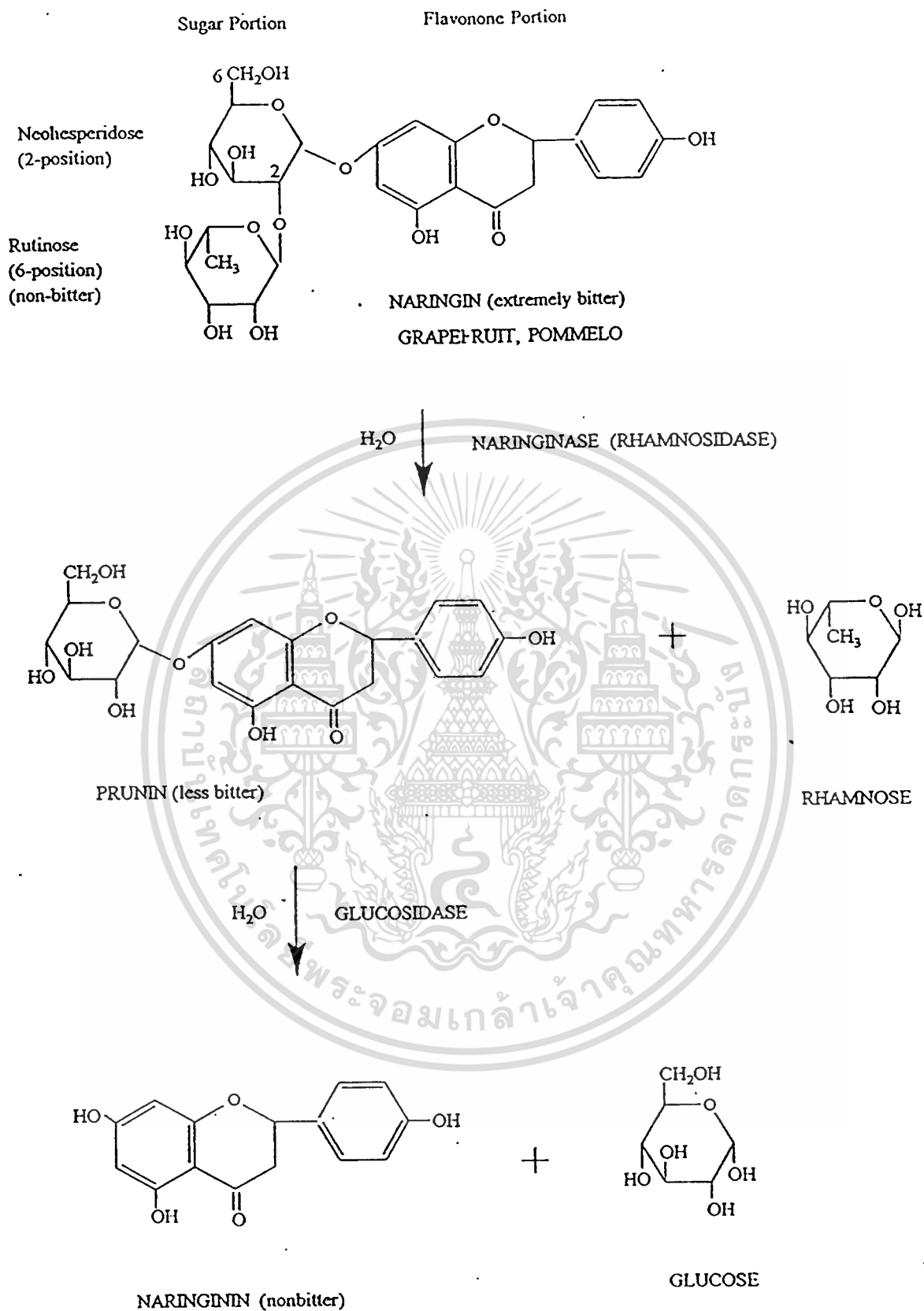
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนaringeninถูกไฮโดรไลส์ด้วยกรดจะได้น้ำตาล กลูโคส แรมโนส และ naringenin (4,5,7-trihydroxy – flavanone-7-rhamnoglucoside) และเมื่อนaringeninถูกไฮโดรไลส์ต่อด้วยต่างจะได้ phloroglucinol และ p-coumaric acid ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการไฮโดรไลส์ นาริงจิน ไปเป็น phloroglucinol และ p-coumaric acid
ที่มา : Dominic (1989)

นาริงจินเป็นสารที่มีอยู่ในผลไม้ตระกูลส้มทั่วไปเมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ตระกูลส้มจะมีรสขม ซึ่งสามารถลดความขมได้โดยใช้เอนไซม์นาริงจินเนส (4-5,7-trihydroxy – flavanone-7-rhamnoglucoside) เปลี่ยนนาริงจิน ให้เป็นพรุนิน และน้ำตาลแรมโนส ส่วนเอนไซม์ rhamnosidase จะทำหน้าที่เปลี่ยนพรุนินต่อไปเป็น นาริงจินิก (ไม่ขม) และน้ำตาลกลูโคส (Hablitz and Pitiner. 1983) ดังรูปที่ 2.7



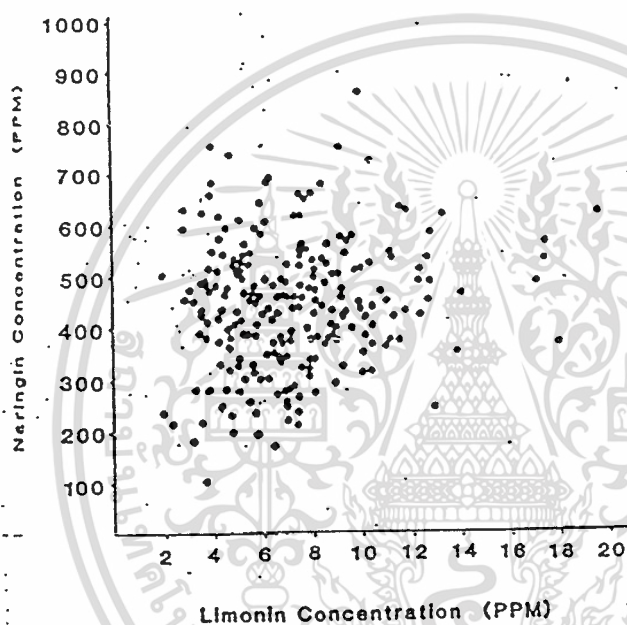
รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการสลายนาริงจินด้วยเอนไซม์นาริงจินเนส

ที่มา : Hablt and Pitiner (1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างลิโมนิน และนาริงจีน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของลิโมนิน และนาริงจีน McIntosh *et al.* (1987) ใน น้ำเกรปฟรุตจำนวน 236 ตัวอย่าง จากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.8 พบว่า การวิเคราะห์ ความเข้มข้นของลิโมนิน ไม่สามารถให้คาดคะเนความเข้มข้นของนาริงจีนได้ และความเข้มข้น ของนาริงจีนก็ไม่สามารถให้คาดคะเนความเข้มข้นของลิโมนินได้เช่นกัน



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของลิโมนิน กับนาริงจีน ในน้ำ เกรปฟรุต ที่มา: McIntosh *et al.* (1987)

ความสัมพันธ์เกี่ยวกับวิธีการเกิดของลิโมนินและนาริงจีน พบว่า ลิโมนิน หรือ A-ring lactone ถูกสังเคราะห์จากใบไม้หรือลำต้น และเคลื่อนย้ายมาอยู่ในผลไม้โดยจะรวมตัวกันอยู่ใน เมล็ดและส่วนอื่นๆ ของผลไม้ (Maier *et al.* 1977) ส่วนนาริงจีน สามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นทั้งใน เนื้อเยื่อพืช และในผลไม้ ซึ่งจะไม่มีการเคลื่อนย้ายอีกต่อไป ดังนั้น เนื่องจากสารประกอบทั้ง 2 ตัว นี้มีโครงสร้างและการเกิดที่ไม่สัมพันธ์กัน และมีการกระจายที่แตกต่างกันภายในผล

Cecilia and Richard (1983) ได้ทำการศึกษาปริมาณลิโมนินในส่วนต่างๆของใบไม้ใน grapefruit พบว่า ในใบที่โตเต็มที่ (Flushing) จะกระจัดกระจายโดยไม่ได้แปรผันไปตามน้ำหนัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบคือมีปริมาณลิโมนินอยู่ในช่วง 40-784 ppm ส่วนใบที่แก่จะมีปริมาณลิโมนินเพียง 2-4 ppm เป็นที่ยืนยันว่าใบที่โตเต็มที่ หรือใบสีเขียว ใบแก่ จะมีปริมาณลิโมนินแตกต่างกันและมีการพัฒนาไปเรื่อยๆ และใบที่โตเต็มที่จะมีปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้บริเวณขอบใบจะมีปริมาณลิโมนินน้อยที่สุด และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ภายในของใบไม้ จากนั้นปริมาณจะเคลื่อนย้ายไปตามกิ่ง และผล ต่อไป

ในเรื่องของระดับการรับรสชมทั้ง 2 ชนิด จะสามารถรับรสชมได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ Wilson and Crutchfield (1968) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิโมนินกับระดับความขมในผลไม้ตระกูลส้ม ดังนี้

ปริมาณลิโมนิน	3 – 6 ppm	ไม่ขม
ปริมาณลิโมนิน	7 – 9 ppm	ขมน้อย
ปริมาณลิโมนิน	10 – 23 ppm	ขม
ปริมาณลิโมนิน	24 – 30 ppm	ขมมาก

ในน้ำผลไม้ที่มีลิโมนินปนอยู่มากกว่า 9 มิลลิกรัมต่อลิตร มักจะได้รับการปฏิเสธโดยนักชิมส่วนใหญ่ Maier *et al.* (1977) ได้ให้นักชิมทดสอบรสชม กล่าวคือ ระดับลิโมนิน 6 ppm และ 10 ppm จะมีเปอร์เซ็นต์ที่ผู้ทดสอบรับรสชมได้และยังยอมรับเท่ากับ 75 และ 91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ต่อมา ญัฎฐา เลาหกุลจิตต์ และคณะ (2540) ได้มีการทดลองทดสอบความขมของน้ำส้มกับปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่น พบว่า นักชิมรับรสชมของปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นที่ระดับ 4 ppm และนักชิมรับรสชมของปริมาณลิโมนินในน้ำส้มได้ที่ระดับ 9.78 ppm เนื่องจากในน้ำส้มมีน้ำตาลและกรดสามารถบดบังรสชมได้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องลดปริมาณลิโมนินให้หมดไปหรือมีค่าเท่ากับ 0 และการลดปริมาณลิโมนินให้หมดไปอาจมีผลกระทบต่อรสชาติและอาจเกิดรสแปลกปลอมของน้ำผลไม้ได้

แต่ในขณะที่นาริงจินจะสามารถรับรสได้ต้องมีปริมาณถึง 700 ppm (อรพิน ชัยประสพ. 2534)

การกระจายตัวของลิโมนินและนาริงจินในส่วนต่างๆ ของผลไม้ตระกูลส้มก็แตกต่างกันดังเช่นผลการทดลองของ Cecilia and Richard (1997) ได้วิเคราะห์ในผล grapefruit 3 พันธุ์ ได้แก่ Dunan Marh Thomson ส่วน Kasemsuksakul (1989) และ Jungsakulruijrek (1997) ได้วิเคราะห์ในผลส้ม Tangerang ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการกระจายของลิโมนินและนาริงจินในส่วนต่างๆของผลไม้ตระกูลส้ม

ส่วนประกอบ	ลิโมนิน (ppm)					นาริงจิน (ppm)				
	Dunan*	Marh*	Thoms on*	Tangeri ne**	Tangeri ne***	Dunan*	Marsh*	Thoms on*	Tangeri ne**	Tangeri ne***
เปลือกชั้นนอก	6.1	42	15.3	17	18	2701	4319	3634	5318	-
เปลือกชั้นใน	11.6	65	27.2	39	20	13010	15595	13590	3490	-
เนื้อเยื่อ	306	860	644	179	247	11448	8035	7861	1160	-
เมล็ด	1885	1188	1252	1569	1480	323	2677	295	1178	-
น้ำ	3.3	7.4	7.0	7.7	2	377	376	295	842	-

ที่มา : * Cecilia and Richard (1997)

** Kasemsuksakul (1989)

*** Jungsakulnujirek (1997)

2.10 ปัจจัยที่ผลต่อระดับความขม

การลดความขมในผลไม้ตระกูลส้มมีหลายวิธี เช่น การใช้จุลินทรีย์ร่วมกับเอนไซม์ การใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ ได้แก่ โพลีอะไมด์ (polyamide) เซลลูโลส อะซิเตท (cellulose acetate) Amberlite XAD – 2 Amberlite XAD – 7 เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้ใช้สารเคมีที่มีราคาแพงและยังลดความขมไม่หมด นอกจากนี้บางวิธีมีการเตรียมสารที่ยุ่งยากไม่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์ เพราะฉะนั้นในการลดความขมของน้ำมะนาวจึงมีการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณลิโมนิน และนาริงจินที่เปลี่ยนแปลงเพื่อเป็นแนวทางในการลดความขมในผลิตภัณฑ์ ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

2.10.1 ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว

ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวจะมีผลต่อปริมาณลิโมนินในผลไม้ตระกูลส้ม กล่าวคือ ถ้าหากเก็บผลไม้ในช่วงต้นฤดู (commercial maturity) ปริมาณลิโมนินจะสูง แต่ถ้าเก็บในช่วงปลายฤดู ปริมาณลิโมนินจะต่ำ (Albach *et al.*1981) และเมื่อแก่จัดปริมาณลิโมนินจะลดต่ำลง ซึ่ง อัจฉรา ปิติปัญญากุล (2532) ได้อ้างถึงการศึกษาของ Rodrigo and Casas ว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณลิโมนินระหว่างการเจริญเติบโตของ Washington Navel Orange พบว่า หลังจากต้นส้มออกดอก ปริมาณลิโมนินจะค่อยเพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงสุดเมื่อผลส้มยังมีอายุน้อยและปริมาณจะค่อยๆ น้อยลงเมื่อผลส้มแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 ชนิดและพันธุ์

ผลไม้ต่างชนิดกันจะมีปริมาณลิโมนินต่างกัน หรือผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์ ปริมาณลิโมนินก็ต่างกันไป เช่น lime มีอยู่ 2 พันธุ์ ได้แก่ Key และ Persian มีปริมาณลิโมนิน 6 และ 1 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีผลไม้ตระกูลส้มชนิดอื่นๆ ดังสรุปในตารางที่ 2.5 (Maier et al. 1977)

2.10.3 ตำแหน่งความขม

สารให้ความขมประเภทลิโมนิน ส่วนใหญ่จะอยู่ตามเปลือกชั้นใน ผงังกลีบส้ม และพบว่า ในเมล็ดจะทำให้เกิดความขมของลิโมนินมากที่สุด เนื่องจากในเมล็ดจะมีเอ็นไซม์ Limonin D-ring lactone hydrolase อยู่มากทำให้ Limonoate A-ring lactone (ไม่ขม) เปลี่ยนเป็น Limonin (ขม) (Maier et al.1980) ส่วนนารังจันมีอยู่มากที่สุดในส่วนเปลือกชั้นนอก (albedo) รองลงมาคือ ส่วนถุงเล็กๆ (juice sac) ดังนั้นถ้าปอกเปลือกผลไม้ตระกูลส้มด้วยมือหรือทำการแยกเมล็ด จะทำให้รสขมส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกไปกับเปลือกและเมล็ด แต่ในระดับอุตสาหกรรมจึงไม่นิยมเนื่องจากซ้ำและสิ้นเปลืองแรงงาน (อรพิน ชัยประสบ. 2534)

2.10.4 สภาวะภายหลังการเก็บเกี่ยว

การควบคุมสภาวะในระหว่างการเก็บจะสามารถลดความขมได้ กล่าวคือ เก็บไว้ในห้องที่อบอุ่นและมีความชื้น การใช้เอทิลีน 20 ppm สัมผัสกับผลส้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจะสามารถลดปริมาณลิโมนินได้ การใช้เอทิลีน treat ส้มในช่วงต้นฤดูการ เป็นเวลา 8 ถึง 24 ชั่วโมง เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวเป็นสีเหลือง จะมีส่วนช่วยลดปริมาณลิโมนินได้เช่นกัน

การเก็บรักษาผลมะนาวไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นผลมะนาวคงที่ (อนุกุล แต้มประเสริฐ. 2525) และสามารถเก็บน้ำมะนาวสดที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 7 วัน โดยปริมาณลิโมนินไม่เปลี่ยนแปลงและพบว่าเมื่อเก็บที่ 4 องศาเซลเซียสสามารถเก็บได้ถึง 1 เดือน (สุชาติ ไชยสวัสดิ์ และคณะ. 2540)

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณลิโมนินในน้ำผลไม้ตระกูลส้มชนิดและพันธุ์ต่างๆ

Type of Juice	Growing Region	Juice Source	Variables Studied or Samples Tested	Limonin Content (ppm)	Source
Grapefruit					
Marsh	Arizona	Laboratory	Jan.-June	9-3	1
Marsh	California	Laboratory	Avg of 4 samples	4	2
Marsh	California	Laboratory	Late-season	2.2	3
Duncan	Florida	Pilot plant	1 sample	2	4
Canned	Florida	Commercial	3 samples	12, 12, 16	5
Canned	Florida	Commercial	17 samples	16-2	6
Reconstituted concentrate	California	Commercial	1 sample	9.5	7
Reconstituted concentrate	California	Commercial	2 samples	14, 15	3
Lemon					
Eureka	California	Laboratory	Avg of 4 samples	6	2
Meyer	Florida	Laboratory	1 sample	2	6
Reconstituted concentrate	Arizona-California	Commercial	5 samples	2.9, 3.7, 4.2, 6.0, 14	3
Reconstituted concentrate	Florida	Commercial	1 sample	2	6
Lime					
Key	Florida	Laboratory	1 sample	6	6
Persian	Florida	Laboratory	1 sample	1	6
Natsudaikai	Japan	Laboratory	Feb., Mar., Apr.	65, 48, 30	8
Orange					
Hamlin	Texas	Laboratory	Sept.-Jan.	6.6-2.0	9
Marrs	Texas	Laboratory	Sept.-Jan.	5.4-1.6	9
Murcott	Florida	Laboratory	Rootstock and Local	9.4-19	6
Navel	Australia	Laboratory	Own rootstock	7.5	10
Navel	Australia	Laboratory	Trifoliate orange rootstock	8.0	10
Navel	Australia	Laboratory	Sweet orange rootstock	11	10
Navel	Australia	Laboratory	Rough lemon rootstock	17	10
Navel	California	Laboratory	Dec.-March	25, 24, 12, 6	2
Page	Florida	Laboratory	2 seasons	2, 1	6
Satsuma	Florida	Laboratory	1 season	0	6
Temple	Florida	Laboratory	3 seasons	3, 3, 4	6
Valencia	California	Laboratory	Early-season	2.3	3
Hamlin	Florida	Pilot plant	Low and high extraction pressures	1.5-5.5	4
Hamlin	Florida	Pilot plant	1 sample	2.0	4
Navel	Florida	Pilot plant	1 sample	4.0	4
Navel	Australia	Pilot plant	4 samples	3, 10, 15, 21	11
Navel	Florida	Pilot plant	1 sample	1.5	4
Parson Brown	Florida	Pilot plant	Low and high extraction pressures	<1-38	4
Pineapple	Florida	Pilot plant	Low and high extraction pressures	<1-5	4
Valencia, early	Florida	Pilot plant	Low and high extraction pressures	<1-7	4
Valencia, late	Florida	Pilot plant	Low and high extraction pressures	<1-7	4
Valencia	Florida	Pilot plant	1 sample	2.0	4
Canned	U.S.	Commercial	Dec.-Feb.	6, 2, 2	4
Canned	U.S.	Commercial	Dec.-Feb.	2, 2, 2	4
Chilled	Florida	Commercial	4 samples	3, 4, 5, 5	5
Navel	Arizona-California	Commercial	Dec.-Apr.	42-2.3	12
Navel, Reconstituted concentrate	Arizona-California	Commercial	Dec.-Apr.	35-6.1	12
Navel, Reconstituted concentrate	California	Commercial	2 samples	9.4, 11	3
Shamouti, Reconstituted concentrate	Israel	Commercial	Dec.-Mar.	25-2	13
Valencia, Reconstituted concentrate	California	Commercial	1 sample	4.6	3
Tangelo					
Minneola	Florida	Laboratory	1 season	2	6
Nova	Florida	Laboratory	2 seasons	0, 4	6
Orlando	Florida	Laboratory	2 seasons	0, 0	6
Tangerine					
Asceola	Florida	Laboratory	1 season	4	6
Bower	Florida	Laboratory	2 seasons	6, 1	6
Dancy	Florida	Laboratory	3 seasons	0, 0, 2	6
Robinson	Florida	Laboratory	2 seasons	1, 1	6

Note: This table comprises data from a number of widely different sources. It is not intended to show comprehensive range nor to serve for direct comparisons.

Sources:

- ¹ Nelson *et al.* (1968)
- ² Maier *et al.* (1973)
- ³ Maier and Grant (1970)
- ⁴ Tatum and Berry (1973)
- ⁵ Scott (1969)
- ⁶ Scott (1970)
- ⁷ Maier and Dreyer (1965)
- ⁸ Nomura and Saito (1965)
- ⁹ Albach *et al.* (1974)
- ¹⁰ Chandler *et al.* (1966)
- ¹¹ Chandler *et al.* (1968)
- ¹² Wilson and Crutchfield (1968)
- ¹³ Levi *et al.* (1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ที่มา : Maier *et al.* (1977)

แม้ว่ากรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศจะมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 สภาวะในการบดบดการบีบคั้นน้ำผลไม้

สภาวะในการบีบคั้นน้ำผลไม้จะมีผลต่อปริมาณลิโมนิน กล่าวคือ ถ้าหากใช้แรงบีบคั้นขนาดต่ำ ปริมาณลิโมนินจะต่ำ แต่ถ้าใช้แรงบีบคั้นสูงจะทำให้ปริมาณลิโมนินมีค่าสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะแรงบีบคั้นจะทำให้เนื้อเยื่อถูกกระทบกระเทือน ซึ่งเป็นการเร่งให้ limonic acid A- ring lactone เปลี่ยนไปเป็นลิโมนิน ในเชิงอุตสาหกรรมการควบคุมแรงบีบคั้นทำได้ยาก เพราะถ้าหากใช้แรงน้อย ปริมาณน้ำผลไม้ที่ได้ก็น้อยลงไปด้วย Rouseff and Mansell (1982) ได้ศึกษาผลของแรงบีบคั้นต่อปริมาณลิโมนินในน้ำผลไม้เกรฟฟรุตพันธุ์ Duncan โดยใช้แรงบีบคั้น (extractor pressure) 15, 45 และ 65 psi ปริมาณลิโมนินที่ได้ประมาณ 5, 12 และ 21 ppm ตามลำดับ

ระยะเวลาในการสัมผัสของเนื้อเยื่อกับน้ำผลไม้ การแยกเศษเนื้อเยื่อออกจากน้ำผลไม้โดยเร็วที่สุด จะสามารถช่วยลดปริมาณลิโมนินได้ ซึ่งทำให้ระดับความขมน้อยลงได้

2.10.6 การพาสเจอร์ไรซ์

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ (2521) ได้ทดลองวิเคราะห์หาปริมาณลิโมนินของน้ำมะนาวสดพบว่าน้ำมะนาวสดมีปริมาณลิโมนิน 4.55 - 6.00 ppm และจะเพิ่มขึ้นถึง 13 -15 ppm หลังจากการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของอัจฉรา ปิติปัญญากุล (2532) กล่าวคือ หลังจากการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ปริมาณลิโมนินจะเพิ่มขึ้น 2.86 เท่าของปริมาณลิโมนินน้ำมะนาวสดเนื่องจากลิโมนินเอทเอริง แลคโตนถูกเปลี่ยนเป็นลิโมนินเกือบทั้งหมดเมื่อมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.11 การลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

รสขมที่เกิดขึ้นในผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้ม ถ้ามีรสขมมากเกินไปย่อมไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้พยายามลดความขมก่อนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีต่างๆ เช่น การใช้ตัวดูดซับ การใช้สารเคมี การตกตะกอน การใช้เปลือกไข่ และการใช้เอนไซม์

2.11.1 วิธีทางกายภาพ

2.11.1.1 การใช้สารดูดซับ (Adsorbent)

การใช้ตัวดูดซับในการกำจัดรสขม หลักการคือ ใช้ตัวดูดซับดูดจับสารให้รสขมในน้ำผลไม้ไว้ ทำให้รสขมลดน้อยลงหรือหมดไป การใช้ตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ ในการกำจัดรสขมให้ผลและมีประสิทธิภาพต่าง ๆ กัน เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1.2 โพลีอะไมด์ (Polyamide)

โพลีอะไมด์ สามารถกำจัดลิโมนินและนาริงจีนในน้ำส้ม แต่โพลีอะไมด์มีความจำเพาะในการดูดจับนาริงจีนได้ดีกว่าลิโมนิน เนื่องจากฟลาโวนอน (Flavonone) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มฟีนอลิก (Phenolic) เกิดจากแรงดึงดูดกับโพลีอะไมด์ด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ง่าย (Chandler *et al.* 1968) ดังนั้นในน้ำส้มที่มีทั้งนาริงจีนและลิโมนินอยู่ นาริงจีนจะถูกดูดจับก่อนเป็นอันดับแรกทำให้เหลือความสามารถในการดูดจับลิโมนินน้อย ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพในการลดความขมมีมากขึ้นโดยเติมโพลีอะไมด์ลงในน้ำส้ม กวนเป็นเวลา 15 นาที แล้ว Centrifuge เอาตัวดูดซับออก ทำซ้ำด้วยโพลีอะไมด์ 2 ครั้ง แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือวิตามินซีจะสูญเสียไปร้อยละ 30

2.11.1.3 เซลลูโลส อะซิเตท (Cellulose acetate)

ในปี 1977 Chandler and Johnson ได้ทดลองใช้ cellulose acetate กำจัดลิโมนินในน้ำผลไม้ตระกูลส้มใช้ในรูปแบบ flake หรือ powder ถ้าในรูปแบบ powder จะใช้ 10 กรัมต่อน้ำผลไม้ 1 ลิตร จะสามารถกำจัดลิโมนินได้ร้อยละ 44 – 70 ใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ถ้าเซลลูโลสอะซิเตทในรูปแบบ flake กรรมวิธีเหมือนกับ powder โดยการเติมเซลลูโลสอะซิเตทลงไปแล้วกวนให้สัมผัสกับน้ำผลไม้ วิธีนี้วิตามินซีจะถูกลดลงเพียงเล็กน้อย

ต่อมาในปี 1979 Chandler ได้ใช้ cellulose ester ในรูปแบบ gel โดยไม่ต้องมีการ centrifugation น้ำผลไม้ก่อน โดยนำน้ำผลไม้ใส่ลงในถัง containers มีเครื่องกวนและบรรจุ gel ที่เป็นลูกบาศก์หรือทรงกลม หรือนำ gel ไปบรรจุในคอลัมน์แล้วผ่านน้ำผลไม้ลงในคอลัมน์ ซึ่งสารตัวนี้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่โดยล้างน้ำธรรมดา 2 ครั้ง

2.11.1.4 เบต้าไซโคเด็กทรีนโพลิเมอร์ (β – Cyclodextrin polymer)

Show and Wilson (1983) ประสิทธิภาพสำเร็จในการใช้ insoluble

β - Cyclodextrin ในการลดความขมของน้ำผลไม้ โดยทำการทดลองใช้ทั้งชนิด batch และ continuous flow column ปริมาณของวิตามินซีจะไม่เปลี่ยนแปลง และสามารถใช้อินทรีย์ solvent ในการนำ polymer กลับมาใช้ใหม่ ในปี 1984 Shaw *et al.* ก็ประสบความสำเร็จในการขจัดความขมในน้ำผลไม้โดยใช้ β – Cyclodextrin polymer ใน continuous flow fluidised-bed หรือ batch โดยใช้ β – Cyclodextrin polymer 1 กรัมต่อน้ำผลไม้ 50 มิลลิลิตรพบว่าสามารถลดลิโมนิน ในมิลิน และนาริงจีนใน grapefruit juice และลิโมนิน ในมิลินในน้ำส้มได้ประมาณร้อยละ 50 Polymer ชนิดนี้สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกด้วยสารละลายต่างเจือจาง หรือ เอทานอล วิธีนี้มีข้อดี คือ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงวิตามินซี ต่อมาปี 1988 Wagner *et al.* ใช้ β – Cyclodextrin polymer ใน Fluidised bed column ในระดับต้นแบบ ซึ่งใช้ทำให้การลดความขมของน้ำผลไม้ในระดับอุตสาหกรรมมีความเป็นไปได้สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1.5 Amberlite

เป็นชื่อทางการค้าของ Resin ที่ผลิตโดยบริษัท Pöhm and Haas มีลักษณะทางกายภาพ คือ ทนต่อความร้อน และไม่ละลายเมื่ออยู่ในตัวทำละลายหรือน้ำ Amberlite มีหลายชนิด เช่น

ก. Amberlite XAD – 2

เป็น non – polystyrene resin มีคุณสมบัติในการดูดซับลิโมนีนและนาริงจีนได้สูงกว่าร้อยละ 50 และสามารถดูดซับกรดได้เล็กน้อย Amberlite XAD – 2 ไม่มีผลต่อวิตามินซี ของน้ำผลไม้ แต่มีผลต่อกลิ่นเล็กน้อย

ข. Amberlite XAD – 7

เป็น Resin กลุ่ม polyacrylic ซึ่งเป็นสารที่มีขั้ว เช่นเดียวกับ Cellulose acetate มีคุณสมบัติในการดูดซับลิโมนีนและนาริงจีนสูงกว่าร้อยละ 80 Amberlite XAD – 7 ไม่มีผลต่อวิตามินซีของน้ำผลไม้ แต่ทำให้กลิ่นของน้ำผลไม้ลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ค. Amberlite XAD – 12

ดูดซับกรดได้ดี สามารถดูดซับของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำผลไม้สูงถึงร้อยละ 7 ลักษณะกลิ่นของน้ำผลไม้หายไป การดูดซับลิโมนีนและนาริงจีนได้ต่ำกว่า Amberlite XAD – 2 และ Amberlite XAD – 7

นอกจากนี้ยังมีตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งมีประสิทธิภาพและความจำเพาะในการดูดซับ ลิโมนีน นาริงจีน และ วิตามินซี ที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากความแตกต่างในด้านพื้นที่ผิว (surface) และปริมาณรู (pore) ของตัวดูดซับ Johnson and Chandler (1982) ได้สรุปการเลือกใช้ตัวดูดซับดังนี้ เช่น เซลลูโลสอะซิเตทจะมีความสามารถในการดูดซับลิโมนีน Amberlite XAD – 7 และ XAS – 2 จะมีความสามารถในการดูดซับลิโมนีนและนาริงจีน Amberlite TRA – 93 และ Amberlite TRA – 45 จะมีความสามารถในการดูดซับลิโมนีนและ วิตามินซี Deacidite – G จะมีความสามารถในการดูดซับทั้งลิโมนีน นาริงจีน และวิตามินซี

2.11.1.6 การใช้เปลือกไซ

ณัฐรา เลาหกุลจิตต์ และคณะ (2540) ได้ศึกษาการลดปริมาณลิโมนีนในน้ำเขียวหวานโดยใช้เปลือกไซพบว่า ภาวะที่สามารถลดปริมาณลิโมนีนในถึงกวนได้มากที่สุดคือ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส pH 3 – 5 เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เปลือกไซขนาด 60 – 80 เมช ปริมาณเปลือกไซ 15 กรัมต่อน้ำส้ม 100 มิลลิลิตร ที่ภาวะดังกล่าวนี้ สามารถลดปริมาณลิโมนีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก 11.39 ppm เป็น 7.8 ppm คิดเป็นการลดลงร้อยละ 31.5 โดยน้ำหนัก

วิธีนี้จะทำให้สูญเสียวิตามินซีเพียงร้อยละ 17.3 ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสภาวะมีออกซิเจน และลดกรดซิตริกได้ร้อยละ 70 เนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนของแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยโปรตีนของมิวโคพอลิแซ็กคาไรด์ ที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกไซสามารถแลกเปลี่ยนประจุกับสารอินทรีย์ได้

ประสิทธิภาพในการดูดซับของเปลือกไซใกล้เคียงกับ Amberite XAD – 12 และ Duolite A378 แต่ Amberite XAD – 12 ทำให้ค่าองค์ประกอบรีซิ่นเปลี่ยนแปลง 7 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่า Duolite A378 สามารถลดปริมาณลิโมนินและนาริงจีนได้ใกล้เคียงกับเปลือกไซก็ตาม แต่มีประสิทธิภาพในการลดกรดซิตริกได้ร้อยละ 30

2.11.1.7 การตกตะกอน

การตกตะกอน เป็นการทำให้ limonin เกิดการตกตะกอนแล้วจึงแยกเอาตะกอน limonin ออกไป วิธีนี้ทำโดยการเติมพวก pectic enzyme ซึ่งย่อย pectin เมื่อ pectin ถูกย่อย การละลายของ limonin จะลดลง ทำให้ limonin ตกตะกอนเนื่องจาก

2.11.2 วิธีการใช้วัตถุเจือปน

จากการทดลองโดยขจัดสารที่ทำให้เกิดความขมด้วย Florisil (activated magnesium silicate) พบว่า Florisil จะสามารถลดปริมาณกรดซิตริก และสารที่ทำให้เกิดรสขมคือ ลิโมนิน และนาริงจีน ลงไปพร้อม ๆ กัน โดยไม่ทำให้ปริมาณของวิตามินซี และ total soluble solid เปลี่ยนแปลงไป และจากการทดสอบประสาทสัมผัส พบว่าผู้ชิมสามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำผลไม้ที่เติม Florisil กับน้ำผลไม้ที่ไม่ได้เติม Florisil ได้ (Barnore et al. 1986)

สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และคณะ (2540) ได้ทดลองใช้ Florisil สามารถลดความขมในรูป D-limonin ได้สูงสุดถึงร้อยละ 51 เมื่อเทียบกับมะนาวสด และคุณสมบัติของน้ำมะนาวโดยเฉพาะค่า pH และ titratable acidity เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ค่าวิตามินซีลดร้อยละ 25

2.11.3 วิธีการใช้สารบดบังความขม

Guadagni et al. (1974) ได้ศึกษาใช้สารให้ความหวาน ได้แก่ น้ำตาลซูโครส Neohesperidin dihydrochalcone (NHD) Hesperetin dihydrochalcone glucoside (HDG) และ Aspartylphenylalanine methyl ester (AP) เมื่อเปรียบเทียบความหวานของ NHD HDG และ AP ที่ความความหวานเทียบเท่ากับ 1% ของน้ำตาลซูโครส พบว่า HDG ให้ความหวานมากที่สุด รองลงมาคือ AP และ NHD ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลายประเทศมักจะอนุญาตให้เติมสารที่ให้ความหวานลงในน้ำผลไม้ เช่น น้ำตาลทราย (ซูโครส) เพื่อที่จะเป็นการยอมรับของผู้บริโภคและให้ได้มาตรฐานเกรด A ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 11.5 องศาบริกซ์ เป็นอย่างน้อย ในประเทศออสเตรเลียพบว่า พืชตระกูลส้มมีความเป็นกรดสูงมาก ผู้ผลิตน้ำผลไม้จึงได้รับการอนุญาตให้เติมสารที่ให้ความหวานได้ถึงร้อยละ 4

2.11.4 การใช้จุลินทรีย์และเอนไซม์

การใช้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยากับสารให้ความหวานที่อยู่ในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม แล้วเปลี่ยนไปเป็นสารที่ไม่มีรสขมหรือขมน้อยลง สารที่มีรสขมอยู่ในน้ำผลไม้หลายตัว และเอนไซม์มีความจำเพาะกับสับสเตรท (substrate) ดังนั้นการใช้เอนไซม์เพื่อกำจัดรสขมจึงมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว เช่น

2.11.4.1 เอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัดรสขมเนื่องจากลิโมนิน

ลิโมนินเป็นสารประกอบลิโมนอยด์ที่ให้รสขมในพืชตระกูลส้ม โดยธรรมชาติจะถูกสร้างขึ้นในรูปลิโมนเอท เอ ริง แลคโตน (limonoate A ring lactone) ซึ่งไม่มีรสขม ซึ่งสามารถป้องกันโดยใช้เอนไซม์

2.11.4.2 เอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัดรสขมเนื่องจากนาริงจิน

Hasegawa (1983) พบว่า เอนไซม์นาริงจินเนส จากเชื้อรา (fungal naringinase) เป็น Mixture enzyme ประกอบด้วย α -rhamnosidase และ β -glucosidase ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถย่อยสลาย นาริงจิน เป็น พรูนิน (prunin) ซึ่งมีรสขมเล็กน้อย แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส นาริงจิน จะเปลี่ยนเป็นสารพวก ไกลโคล (glycone) และนาริงจินิน (naringenin) ซึ่งไม่มีรสขม

2.11.5 การยับยั้งการสังเคราะห์ลิโมนินตามธรรมชาติ

Maier *et al.* (1971) ได้ทำการทดลอง treat เอทธีลีน 20 ppm สัมผัสกับ Navel Orange หลังจากนั้นนำไปเก็บในภาชนะที่ไม่ได้บรรจุเอทธีลีนเป็นเวลา 5 วัน เปรียบเทียบกับการ treat เอทธีลีน 20 ppm ตลอดการทดลอง 5 วัน ตั้งทิ้งไว้ที่ 70 องศาฟาเรนไฮด์ พบว่า ปริมาณลิโมนินที่ลดลงทั้ง 2 การทดลองไม่แตกต่างกันมากนักคือ ร้อยละ 32 และ 36 ตามลำดับ เอทธีลีนสามารถลดปริมาณลิโมนินได้เนื่องจากเอทธีลีนจะทำให้ ลิโมนเอท เอ ริง แลคโตน (Limonoate A - ring lactone) หยุดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นลิโมนิน ซึ่งหากใช้เอทธีลีนสัมผัสกับผลไม้ตระกูลส้มเพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งจะเป็นผลดีในการประหยัดต้นทุนและยังได้รสชาติที่ดีกว่าการใช้เอทธีลีนตลอดการทดลอง

นอกจากนี้ยังมีสารตัวหนึ่งเมื่อสลายตัวแล้วจะให้เอทธิลีนคือ 2-chloroethylphosphonic acid (CEPA) แต่ยังคงอยู่ในขั้นการศึกษาด้าน toxicological การให้เอทธิลีนจากภายนอกของผลไม้ไม่เพียงแต่กระตุ้นให้มีการหายใจเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังกระตุ้นให้ผลนั้นสร้างเอทธิลีนขึ้นเองได้ด้วยการสร้างเอทธิลีนของผลแบบนี้เรียกว่า Autocatalytic Ethylene Producing System เอทธิลีนที่ถูกสร้างขึ้นหรือถูกกระตุ้นในจุดใดจุดหนึ่งจะกระตุ้นเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงและไกลออกไปทำให้เกิดการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์ภายในผลิตผลมีการสร้างเอทธิลีนขึ้นพร้อมกัน (จิรา ณ หนองคาย. 2531)

การใช้เอทธิลีน treat สัมในช่วงต้นฤดูกาล เป็นเวลา 8 – 24 ชั่วโมง เพื่อให้สัมเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองจะมีส่วนลดปริมาณลิโมนินได้ด้วย

อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บ โดยทดลองเก็บที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซียเซียลเป็นเวลา 30 วัน พบว่าปริมาณความขมจะลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น และยังพบอีกว่าถ้านำผลไม้ไปผ่าน pretreatment ด้วยเอทธิลีนก็จะช่วยลดความขมได้อีกด้วย (Sakamoto *et al.* 1985)

ต่อมา Maier *et al.* (1973) พบว่ามีสารอีกตัวหนึ่งเมื่อสลายตัวจะให้เอทธิลีน สารชนิดนั้นคือ ใช้ 2-chloroethylphosphonic acid (CEPA) จากการทดลองได้ใช้ CEPA 1000 ppm สัมผัสกับผล Lemon เป็นเวลา 0 6 13 20 และ 27 วันตามลำดับ ผลปรากฏว่าปริมาณลิโมนินบนผิวเปลือก (Peel) มีปริมาณ 374 285 และ 138 ppm ตามลำดับ ส่วนปริมาณลิโมนินในน้ำมีปริมาณ 6 5 2.9 2.4 และ 1.6 ppm ตามลำดับ สาร CEPA ยังต้องมีการศึกษาด้าน toxicological ต่อไป ก่อนที่จะได้รับอนุญาตจาก FAD

Maier *et al.* (1973) ยังได้ทดลองใช้เอทธิลีนสัมผัสกับ Navel Oranges ในระดับปริมาณต่างๆ คือ 0 0.2 1.8 24 และ 183 ppm เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการย้ายไปสู่อีกภาชนะที่ไม่มีเอทธิลีนและเก็บที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮด์ เป็นเวลา 6 วัน ผลการทดลองปรากฏว่าปริมาณลิโมนินในน้ำที่ลดลงเป็นร้อยละ 25 25 29 38 และ 39 ตามลำดับ ซึ่งการใช้ปริมาณเอทธิลีนที่ระดับ 24 ppm กับ 183 ppm ปริมาณลิโมนินที่ลดลงไม่แตกต่างกันมาก แต่ที่ระดับ 183 ppm เกิด off flavors และปริมาณลิโมนินจะลดลงหากมีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีก นอกจากนี้ยังมีข้อสรุปได้ว่าเอทธิลีนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนาริงจีนและวิตามินซี

ต่อมา Maier *et al.* (1980) ได้ทำการยับยั้งการสังเคราะห์ลิโมนอยด์โดยใช้สารเคมีคือ Triethylamine derivative เช่น 2-(4-ethylphenoxy) triethylamine และ 2-(3,4-dimethylphenoxy)-triethylamine สารนี้สามารถยับยั้งการสะสมของสารลิโมนอยด์ในใบของผลไม้ตระกูลส้ม ตัวอย่าง เช่น ใบของต้นเลมอนที่ฉีดพ่นด้วย 2-(4-ethylphenoxy) triethylamine เพิ่มขึ้น

500 ppm จะมีความเข้มข้นของ limonoic acid A-ring lactone 27 ppm หลังจากที่ได้ฉีดพ่นแล้ว 8 วัน ในขณะที่ใบที่ไม่ได้ฉีดพ่นด้วยสารนี้ จะมีความเข้มข้นของสารลิโมนอยด์ถึง 344 ppm

2.12 บทบาทของเอทิลีนต่อความขม

ผลไม้ตระกูลส้มเป็นผลไม้ที่ไม่มีที่จัดอยู่ในประเภท Non – climacteric จะมีการสร้างเอทิลีนเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการแก่และสุก อย่างไรก็ตามผลไม้ตระกูลส้มที่ยังไม่แก่ ภายหลังเก็บจากต้นแล้วจะมีอัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น สำหรับมะนาวตลอดระยะเวลาการแก่สุก ความเข้มข้นภายในผล (Internal concentration) จะอยู่ในช่วง 0.1-0.2 ppm (จิราณ หนองคาย 2531)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่ควบคุมกระบวนการสุกของผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ประเภท Climacteric ซึ่งในขณะที่เกิดการสุกจะมีการสร้างเอทิลีนขึ้นมามาก ส่วนผลไม้ประเภท Non – Climacteric จะมีการสร้างเอทิลีนค่อนข้างต่ำ และสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาของการแก่และสุก อย่างไรก็ตามการให้เอทิลีนจากภายนอกสามารถทำให้ผลไม้ประเภทนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น เช่น การสุกสูญเสียเขียวที่ผิว การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ

2.12.1 การทำงานของเอทิลีนในพืช

การทำงานของเอทิลีนในการทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ ในพืชต้องอยู่ในสภาพบรรยากาศที่ออกซิเจนเป็นปกติ กล่าวคือในสภาพที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนเป็นปกติ เอทิลีนจะเข้าไปจับกับส่วนที่เป็นโลหะของเอนไซม์ (Metallic enzyme acceptor) ซึ่งอยู่ในเนื้อเยื่อพืช โลหะนี้เป็นตัวเดียวกับที่ออกซิเจนไปเกาะอยู่ ในสภาพที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าปกติหรือมีสารพวก Norbornadiene ความสามารถในการทำงานของเอทิลีนจะลดลง เนื่องจาก ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ และ Norbornadiene จะเข้าไปจับกับโลหะแทนที่เอทิลีนในลักษณะ Competitive inhibitor นอกจากนี้ Ag^+ สามารถลดประสิทธิภาพการทำงานของเอทิลีนได้เช่นกัน โดยคาดว่า Ag^+ จะเข้าไปจับกับโลหะทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ หรืออาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง (นฤต เพ็ญพยับ. 2532)

2.12.2 การให้เอทิลีนกับผลมะนาว

เอทิลีนที่ใช้ในการบ่มผลไม้อยู่ในรูปของเอทิลีนค่อนข้างบริสุทธิ์ในถัง (cylinder) ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง แต่การใช้เอทิลีนโดยตรงจากถังนี้ค่อนข้างอันตราย เนื่องจากเอทิลีนอาจเกิดระเบิด

ได้ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 3.1 – 3.2 หากมีเปลวไฟหรือประกายไฟเกิดขึ้น ความเข้มข้นระดับนี้ แม้จะสูงกว่าช่วงที่ใช้ประโยชน์ (ประมาณ 100 ppm) ไปถึง 300 – 3,000 เท่า

การนำเอทิลีนสัมผัสกับผลไม้ไม่สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. ระบบ shot

เป็นการให้เอทิลีนในปริมาณมากๆ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการในเวลาอันสั้นหลังการปิดห้อง เมื่อได้ความเข้มข้นตามต้องการแล้ว ปล่อยให้ไล่ตามระยะเวลาที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงเปิดห้องเพื่อระบายปริมาณ CO_2 ออกจากห้อง และให้ O_2 เข้ามาทดแทน ส่วนที่ถูกใช้ไปในการหายใจ แล้วทำการปิดห้องเติมเอทิลีนให้ใหม่ ทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกระทั่งผลสุก หรือกระทั่งผลไม้นั้นๆ ไม่ต้องการเอทิลีนจากภายนอกอีกก็สามารถได้ในเวลาอันรวดเร็ว วิธีนี้เหมาะกับห้องที่มีการอุดรอยรั่วต่างๆ เป็นอย่างดี เพราะมิฉะนั้นความเข้มข้นของเอทิลีนจะลดลงเร็วมาก

2. ระบบ trickler

วิธีนี้เป็นการค่อยๆ ให้เอทิลีนเข้าไปในห้องบ่ม ต้องใช้เวลานานกว่าระบบแรก และให้เอทิลีนเข้าไปเรื่อยๆ ตลอดเวลาการบ่ม การให้เอทิลีนจากถังเช่นเดียวกับวิธีแรกหรืออาจใช้เครื่องกำเนิดเอทิลีนก็ได้ ระบบ trickler นี้ปลอดภัยกว่าระบบแรก เนื่องจากห้องบ่มไม่จำเป็นต้องปิดสนิทเท่ากับวิธีแรกเพราะมีเอทิลีนไหลเข้าอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นอาจต้องมีการระบายอากาศในห้องเป็นครั้งคราวหาก O_2 ลดต่ำลงและ CO_2 เพิ่มสูงเกินไป

3. ระบบ flow through

เป็นวิธีดัดแปลงจากระบบ trickler ด้วยการให้เอทิลีนกับอากาศผ่านเข้าไปในห้องพร้อมๆ กับระบายอากาศจากห้องออกตลอดเวลา วิธีนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องการควบแน่นของน้ำและการสะสม CO_2 และค่อนข้างปลอดภัย (จริงแท้ ศิริพานิช. 2541)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 มะนาว

มะนาว(Lime) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Citrus auratifolin* Swingle โดยคัดเลือกมะนาวพันธุ์ไข่ และมะนาวพันธุ์แป้น ที่ได้จากการสวนแห่งเดียวกันในอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารลิโมนีนบริสุทธิ์

3.2.2 สารนาริงจินบริสุทธิ์

3.2.3 Chloroform

3.2.4 Sodium hydroxide (NaOH)

3.2.5 Potassium hydrogen phythalate ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)

3.2.6 Phenolphthalein 1 %

3.2.7 Metaphosphoric acid (HPO_3)

3.2.8 Ascorbic acid (A.R grade)

3.2.9 2, 6 – chlorophenolindophenol

3.2.10 Isopropanol

3.2.11 Copper sulfate

3.2.12 Ethylene

3.2.13 4-(Dimethyl amino) Benzaldehyde

3.2.14 Acetic acid

3.2.15 70% Perchloric acid

3.2.16 Diethylene glycol

3.2.17 Oxalic acid

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น UV-1601 ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

3.3.2 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) รุ่น GC-10 ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

3.3.3 เครื่องสั่นหลอดทดลอง (Vortex mixer) ของ Scientific Industries

3.3.4 อ่างน้ำร้อน (Water bath)

3.3.5 Hand refractometer รุ่น N-1 ผลิตโดยบริษัท ATAGO ประเทศญี่ปุ่น

3.3.6 เครื่องวัด pH รุ่น HM – 7E ของ TOA Electronics

3.3.8 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น A-200s ของ Satorious

3.3.9 เครื่องบดละเอียด รุ่น Type 643 ผลิตโดยบริษัท Moulinex จากประเทศฝรั่งเศส

3.3.8 เครื่องคั้นน้ำมะนาวไฟฟ้า (Screw Pressed Extractor) ผลิตโดยบริษัท Moulinex จากประเทศฝรั่งเศส

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 ศึกษาพันธุ์มะนาวที่มีผลต่อปริมาณลิโมนินและนาริงจินในส่วนต่างๆของผลมะนาว 2 พันธุ์

1. พันธุ์มะนาว

มะนาวที่ใช้ในการวิจัยมี 2 พันธุ์ คือ นามะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น ที่ได้จากการสวนแห่งเดียวกันในอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี ช่วงอายุประมาณ 5 - 5.5 เดือนนับจากผลิดอกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว

2. การเตรียมมะนาว

นำมะนาวแต่ละผลมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง วิธีการแยกน้ำออกจากผล โดยผ่าครึ่งผลมะนาวและแคะคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ไฟฟ้ายี่ห้อ Moulinex นำน้ำไป centrifuge 400 x g 5 นาที ใช้น้ำส่วนใสให้ความร้อนที่ 80-85 องศาเซลเซียส เพื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นลิโมนิโนเอท เอ-ริง แลคโตน ให้เป็นลิโมนินทั้งหมด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หัวข้อ 3.5.1

3. การเตรียมส่วนประกอบต่างๆ ของผลมะนาว

ทำการแยกส่วนต่างๆ ได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำออกจากผล โดย เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด บดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด ยี่ห้อ Moulinex วิธีการสกัดตามภาคผนวก ก

4. วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

4.1 ปริมาณลิโมนิน โดยวิธีวัดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (รุ่น UV-1601 ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น) โดยวิธี Vaks B and Litshitz A (1981)

4.2 ปริมาณนาริงจีน โดยวิธีวัดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยวิธี Davis Test (1947)

4.3 ปริมาณวิตามินซี โดยวิธีวัดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยวิธี Pearson (1976)

4.4 ปริมาณกรดซิตริก โดยวิธี A.O.A.C (1995)

4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) โดยใช้ hand - refractometer (รุ่น N-1 ผลิตโดยบริษัท ATAGO ประเทศญี่ปุ่น)

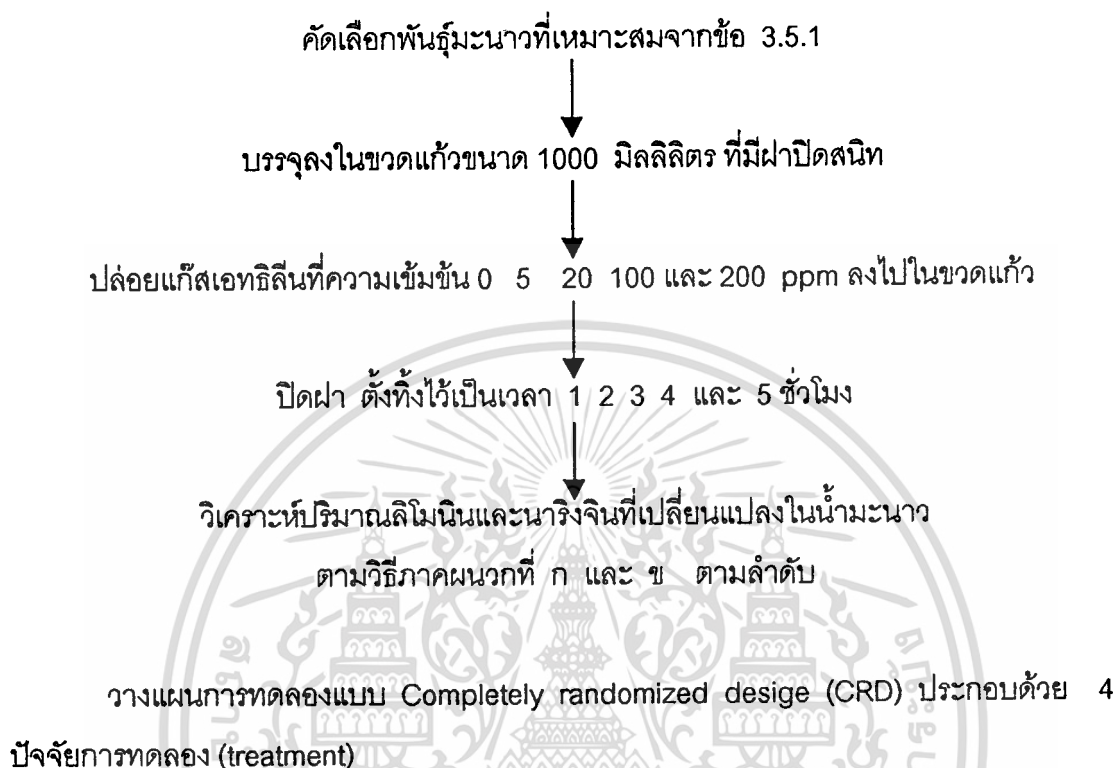
4.6 ปริมาณความเป็นกรด – ต่าง โดยใช้เครื่อง pH meter (รุ่น HM – 7E ของ TOA Electronics)

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) ในแต่ละปัจจัยใช้ตัวอย่างมะนาว 15 ผลต่อหน่วยการทดลอง (treatment) ๓ โดยแบ่งเป็น 3 ซ้ำ (replication) ในแต่ละซ้ำมีมะนาว 5 ผล

3.5.2 การศึกษาระยะเวลาในการเกิดความคมของน้ำมะนาว

ทำการแยกน้ำมะนาวออกจากผล โดยผ่าครึ่งผลมะนาวและคั้นด้วยเครื่องคั้นไฟฟ้า (Screw Pressed Extractor) ยี่ห้อ Moulinex นำน้ำไป centrifuge 400 x g 5 นาที นำน้ำส่วนใสแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 2 เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส วิเคราะห์หาปริมาณลิโมนินและนาริงจีนที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาแตกต่างกันทุก 30 นาที ส่วนนี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การศึกษาหาปริมาณของเอธิลีนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกับ ผลมะนาวต่อระดับความขม



3.5.4 การศึกษาการสัมผัสเอธิลีนก่อนและหลังเก็บที่อุณหภูมิ 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียสต่อปริมาณลิโมนินและนาริงจิน

นำมะนาวพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาทดลองสัมผัสกับเอธิลีนและเก็บที่
อุณหภูมิต่างๆ โดยแบ่งการทดลองดังนี้

- กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม (control)
- กลุ่มที่ 2 มะนาวจะสัมผัสเอธิลีนที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.3 ก่อนนำไป
เก็บที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส (Pre-storage)
- กลุ่มที่ 3 มะนาวเก็บที่อุณหภูมิ 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส
เช่นเดียวกับกลุ่มที่ 2 จึงนำมาสัมผัสกับเอธิลีนภายหลัง (Post-storage)

นำมะนาวจากกลุ่มที่ 1 2 และ 3 มาวิเคราะห์หาปริมาณลิโมนิน นาริงจิน
วิตามินซี กรดซิตริก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรด-ด่าง การเปลี่ยนสีผิวของผล
มะนาว และการเหี่ยวของผลมะนาว ตามภาคผนวก ก ถึง ข โดยทำการวิเคราะห์ทุกๆ 7 วันเป็น
ระยะเวลา 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางแผนการทดลองแบบ Split-plot design โดยให้ Main-plot คือ เอธิลีน และ Sub-plot คือ อุณหภูมิ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.5.5 การศึกษาปริมาณสารความขมบริเวณเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ เมื่อมีการสัมผัสเอธิลีนที่สภาวะที่เหมาะสมในข้อ 3.5.4

นำผลมะนาวที่ผ่านการคัดเลือกในสภาวะที่ดีที่สุดข้อ 3.5.4 มาวิเคราะห์ปริมาณลิโมนิน และนาริง ที่บริเวณเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ ตามภาคผนวก ก ถึง ข เมื่อเก็บตามระยะเวลาที่กำหนด

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan ' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ปริมาณของติโมนิน นาริงจีนในส่วนต่างๆของผลมะนาว และองค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆของน้ำมะนาว พันธุ์ไข่ และพันธุ์แป้น

4.1.1 น้ำหนักของส่วนต่างๆ ของผลมะนาว

น้ำหนักส่วนต่างๆของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น ได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อกลีบ เม็ด และน้ำ ดังแสดงในตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักแต่ละส่วนของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น

ส่วนประกอบ	พันธุ์มะนาว			
	ไข่		แป้น	
	Mean $\pm$ SD	ร้อยละ	Mean $\pm$ SD	ร้อยละ
เปลือกชั้นนอก (กรัม)	4.62 $\pm$ 0.27	12.28	4.84 $\pm$ 0.14	10.81
เปลือกชั้นใน (กรัม)	3.23 $\pm$ 0.17	8.59	3.81 $\pm$ 0.22	8.26
เนื้อเยื่อกลีบ (กรัม)	9.55 $\pm$ 0.17	25.38	11.46 $\pm$ 0.36	25.23
เม็ด (กรัม)	1.61 $\pm$ 1.92	4.27	1.52 $\pm$ 0.08	3.47
น้ำ (มิลลิลิตร)	18.62 $\pm$ 0.28	49.49	22.21 $\pm$ 0.34	50.66
ทั้งหมด (กรัม)	37.63 $\pm$ 0.59	100.00	43.80 $\pm$ 0.92	100.00

จากตาราง 4.1 พบว่ามะนาวพันธุ์ไข่มีน้ำหนักเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ เท่ากับ 4.62 3.23 9.55 1.61 และ 18.62 ตามลำดับ

มะนาวพันธุ์แป้นมีน้ำหนักเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ เท่ากับ 4.84 3.81 11.46 1.52 และ 22.21 ตามลำดับ

และพบว่ามะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณน้ำมากที่สุดคือร้อยละ 50.66 ซึ่งในการผลิตน้ำมะนาวในเชิงพาณิชย์จะให้ความสำคัญในแง่ปริมาณน้ำเป็นอันดับแรกเพราะจะช่วยในการเพิ่มผลผลิตสูง และปริมาณน้ำมะนาวพันธุ์แป้นมีมากกว่าพันธุ์ไข่ร้อยละ 1.17

4.1.2ปริมาณลิโมนิน

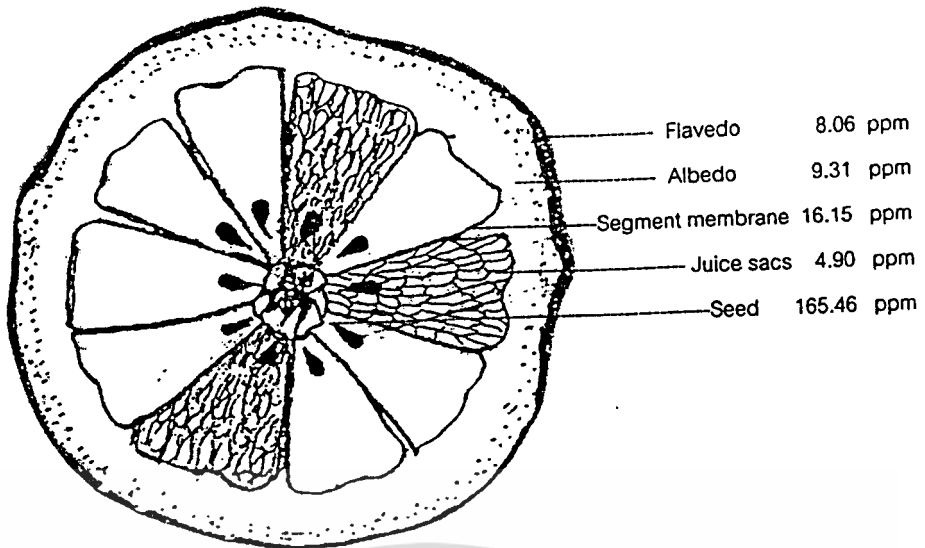
ปริมาณของลิโมนินในส่วนต่างๆ ได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อลิบ เม็ด และ น้ำของผลมะนาวพันธุ์ไช่และพันธุ์แป้นดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณลิโมนิน (ppm) ในเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ

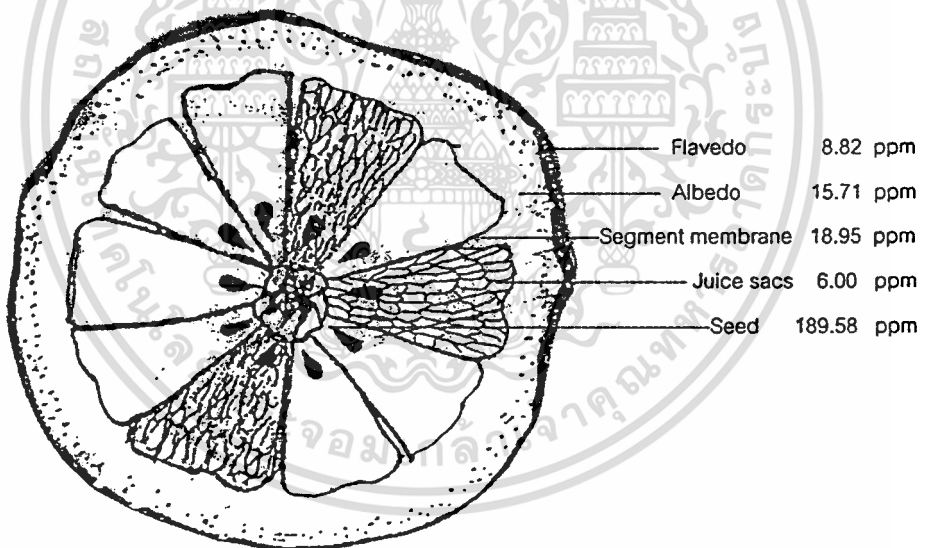
ส่วนประกอบ	พันธุ์มะนาว	
	ไช่	แป้น
	Mean ± SD	Mean ± SD
เปลือกชั้นนอก	8.06±0.06	8.82±0.24
เปลือกชั้นใน	9.31±0.26	15.71±1.16
เนื้อเยื่อลิบ	16.15±0.85	18.95±0.99
เม็ด	165.46±1.92	189.58±2.14
น้ำ	4.90±0.28	6.00±0.16

จากตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าปริมาณลิโมนินทั้ง 5 ส่วน ของพันธุ์ไช่ และพันธุ์แป้นบริเวณที่มีปริมาณลิโมนินมากที่สุดคือ ส่วนเม็ด รองลงคือ เนื้อเยื่อลิบ เปลือกชั้นใน เปลือกชั้นนอก และ น้ำ ตามลำดับ ในเม็ดมีปริมาณมากเนื่องจากลิโมนินจะถูกสังเคราะห์ขึ้นในระหว่างการเจริญเติบโตของผลไม้ตระกูลส้ม โดยลิโมนินจะถูกสังเคราะห์ที่บริเวณใบ แล้วถูกเคลื่อนย้ายสู่เนื้อเยื่อและสู่เม็ดเป็นอันดับสุดท้าย (Maier et al. 1977 ,1980) ทำให้เม็ดมีรสขมมากกว่าส่วนอื่นๆ ในขณะที่น้ำจะมีปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cecilia and Richard (1997) ได้ทำการศึกษาปริมาณลิโมนินในส่วนต่างๆของผล grapefruit 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Duncan Marsh และ Thomson ดังตารางที่ 2.4 นอกจากนี้ผลไม้ตระกูลส้มชนิดต่างๆจะมีปริมาณลิโมนินแตกต่างกันไป ดังตาราง 2.5 แต่ถึงอย่างไรก็ตามน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่สกัดจากผลไม้ที่ไม่มีเมล็ดจะมีรสขมที่เกิดจากลิโมนินมากกว่าน้ำผลไม้ที่สกัดจากผลไม้ที่มีเมล็ด

ปริมาณลิโมนินในน้ำของพันธุ์แป้นจะมีมากกว่าพันธุ์ไช่ร้อยละ 18 เพราะฉะนั้นในการวิจัยหัวข้อต่อไปจะคัดเลือกพันธุ์แป้นมาทำการทดลองต่อเนื่องจากมีปริมาณลิโมนินมากและง่ายต่อการวิเคราะห์



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณลิโมนิน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์ไซ



รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณลิโมนิน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์แป้น

4.1.3 ปริมาณนาริงจิน

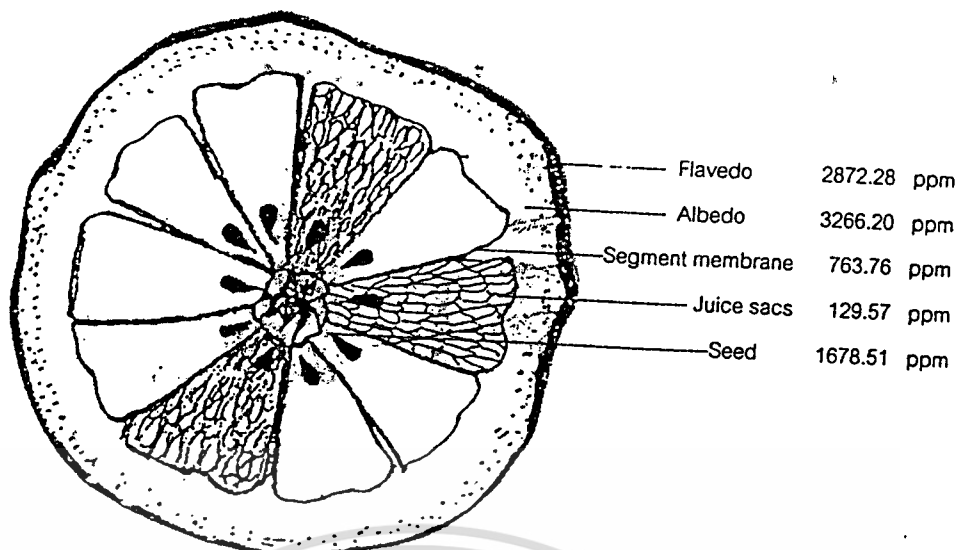
ปริมาณของนาริงจินในส่วนต่างๆได้แก่ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อลิบ เม็ด และน้ำของผลมะนาวพันธุ์แป้นและพันธุ์ไช่ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณนาริงจิน (ppm) ในเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ ลิบ และน้ำ

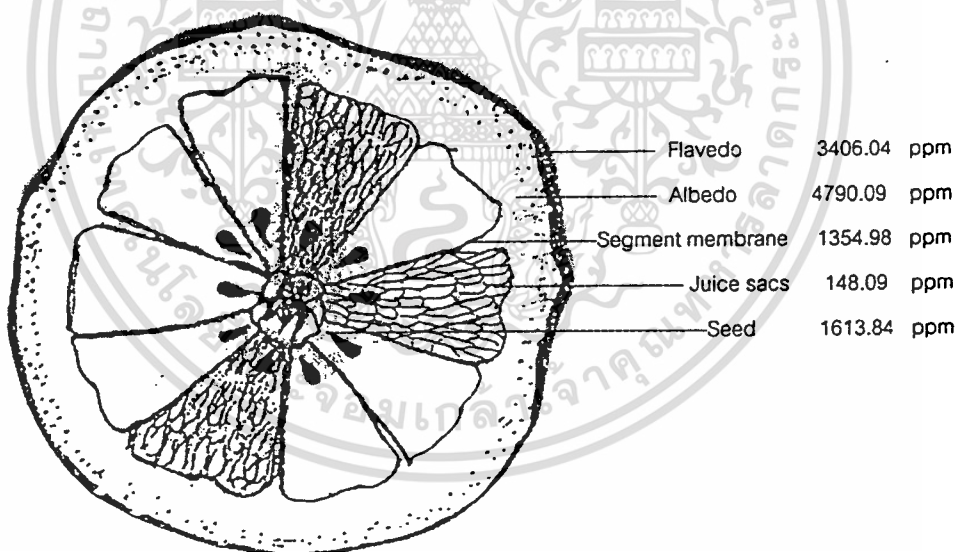
ส่วนประกอบ	พันธุ์มะนาว	
	ไช่	แป้น
	Mean ± SD	Mean ± SD
เปลือกชั้นนอก	2872.28±141.88	3406.04±176.99
เปลือกชั้นใน	3266.20±283.57	4790.09±449.61
เนื้อเยื่อลิบ	763.76± 59.06	1354.98± 86.31
เม็ด	1678.51± 65.04	1613.84±133.10
น้ำ	129.57± 2.63	148.09± 1.25

จากตาราง 4.3 รูปที่ 4.3 และ4.4 พบว่าปริมาณนาริงจินทั้ง 5 ส่วนของมะนาวพันธุ์ไช่ และพันธุ์แป้น บริเวณที่ปริมาณนาริงจินมากที่สุดคือ ส่วนเปลือกชั้นใน รองลงคือ เปลือกชั้นนอก เม็ด เนื้อเยื่อลิบ และ น้ำ

ปริมาณการกระจายตัวของนาริงจินจะแตกต่างจากลิโมนินเนื่องจาก นาริงจินจะถูกสังเคราะห์ขึ้นในเนื้อเยื่อพืช และในผลไม้โดยตรง จะไม่มีการเคลื่อนย้ายไปยังเม็ดเหมือนดังเช่น ลิโมนิน (บุศราภา ลีละวัฒน์ และ อรุณี เพียรทวิรัชต์. 2533) และ บริเวณที่มีอยู่มากที่สุดในส่วนเปลือกชั้นใน แต่ถึงอย่างไรก็ตามส่วนที่มีปริมาณน้อยที่สุดยังเป็นคือน้ำ เช่นเดียวกับปริมาณลิโมนินในน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cecilia and Richard (1997) ได้ทำการศึกษ ปริมาณนาริงจินในส่วนต่างๆของผล grapefruit 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Duncan Marsh และ Thomson ดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณนาริงจิน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์ไข่



รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณนาริงจิน (ppm) ในส่วนต่างๆ ของผลมะนาวพันธุ์แป้น

4.1.3 องค์ประกอบของน้ำมะนาว

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น

ส่วนประกอบ	พันธุ์มะนาว	
	ไข่	แป้น
	Mean ± SD	Mean ± SD
กรดแอสคอบิก (มก./ 100มล.)	46.50±0.30	45.56±1.40
กรดซิตริก (เปอร์เซ็นต์)	7.07±0.00	6.70±0.17
pH	2.82±0.02	2.84±0.02
°Brix	7.50±0.00	7.00±0.00

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมะนาวข้างต้น จะพบว่าปริมาณกรดซิตริกและกรดแอสคอบิกในน้ำมะนาวไทยจัดอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าน้ำผลไม้ตระกูลส้มชนิดอื่นๆ

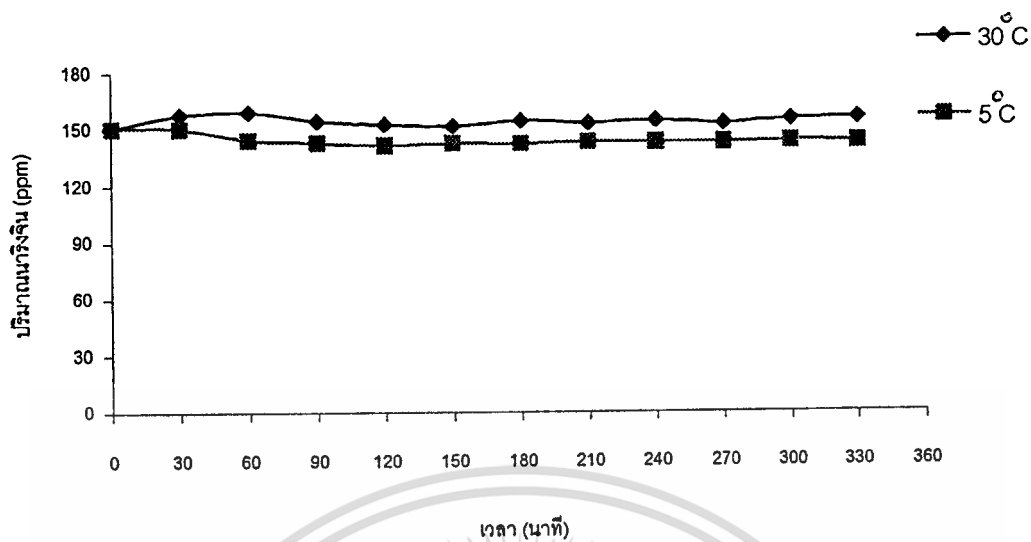
ส่วนค่าความเป็นกรดของน้ำมะนาวมีระดับ pH 2.82-2.84 ซึ่งอยู่ในระดับ pH ที่สูงที่จะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเพิ่มปริมาณลิโมนินได้ดี และก่อให้เกิดรสขม จากการศึกษาของสุขาดา ไชยสวัสดิ์ และคณะ (2540) ได้ทำการเพิ่ม pH ของน้ำมะนาวจาก 2.3 ไปเป็น 3.8-4.0 ด้วย sodium citrate และ sodium bicarbonate สามารถลดความขมของน้ำมะนาวได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ได้สูงสุดร้อยละ 26.16 และ 16.54 ตามลำดับ

4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณลิโมนินและนาริงจินในน้ำมะนาว

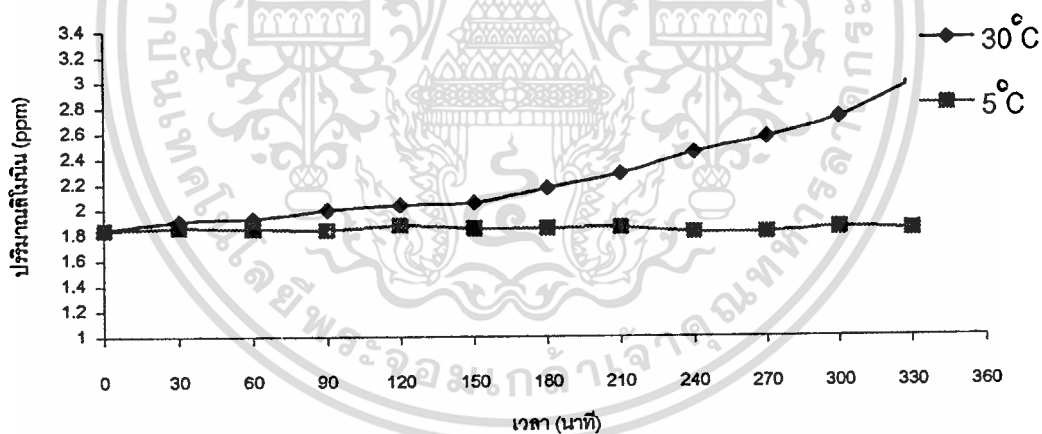
จากการทดลองโดยทำการแยกน้ำมะนาวออกจากผล ผ่าครึ่งผลมะนาว คั้นด้วยเครื่องคั้นไฟฟ้า (screw pressed extractor) นำไป centrifuge แยกส่วนสารละลายใสไปทำการทดลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความขมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาผ่านไปทุกๆ 30 นาที พบว่า เมื่อนำน้ำมะนาวเก็บที่ 30 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 5.30 ชั่วโมง ปริมาณนาริงจินเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย (ตารางผนวก ข-5 รูปที่ 4.5)

ส่วนความขมของน้ำมะนาวที่เกิดจากลิโมนิน(รูปที่4.6) เมื่อนำน้ำมะนาวที่คั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงระดับความขมเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของ Limonate A-ring lactone การเพิ่มของลิโมนินที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นั้นแสดงว่า Limonate A-ring lactone ถูกเปลี่ยนเป็นลิโมนินที่อุณหภูมิสูงได้ดีเพราะเอนไซม์ Limonate A-ring lactone ทำงานได้ดีกว่า ดังเช่นการทดลองของอัจฉรา ปิติปัญญากุล (2532) ที่ให้ความร้อนแก่น้ำมะนาว 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สามารถเปลี่ยน Limonate A-ring lactone เป็นลิโมนินได้สมบูรณ์

ในการเก็บน้ำมะนาวที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณลิโมนินไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งจะเป็นผลดีในการเก็บรักษาคุณภาพของน้ำมะนาวเพื่อรอการแปรรูปเป็นอุตสาหกรรมน้ำดื่มต่อไป สุขาดา ไชยสวัสดิ์ และคณะ (2540) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมะนาวสดเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่เก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าน้ำมะนาวมีค่า pH total soluble solid กรดซิตริก วิตามินซี และลิโมนิน เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าน้ำมะนาวสดสามารถเก็บไว้ในตู้เย็น 4-10 องศาเซลเซียส ได้นานอย่างน้อย 7 วัน โดยที่คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาในน้ำผลไม้ชนิดอื่นๆโดยในปี 1995 Premi *et.al* ซึ่งทำการศึกษาใน kinnow juice และพบว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นานถึง 1 เดือนโดยที่คุณสมบัติของน้ำผลไม้ kinnow juice ไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ อัจฉรา ปิติปัญญากุล (2532) ได้ทำการเก็บน้ำมะนาวสดในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่า สามารถเก็บน้ำมะนาวได้นานถึง 20 วันโดยที่ปริมาณลิโมนินและปริมาณกรดซิตริกจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่ปริมาณวิตามินซีลดลงร้อยละ 3.5



รูปที่ 4.5 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำมะนาว

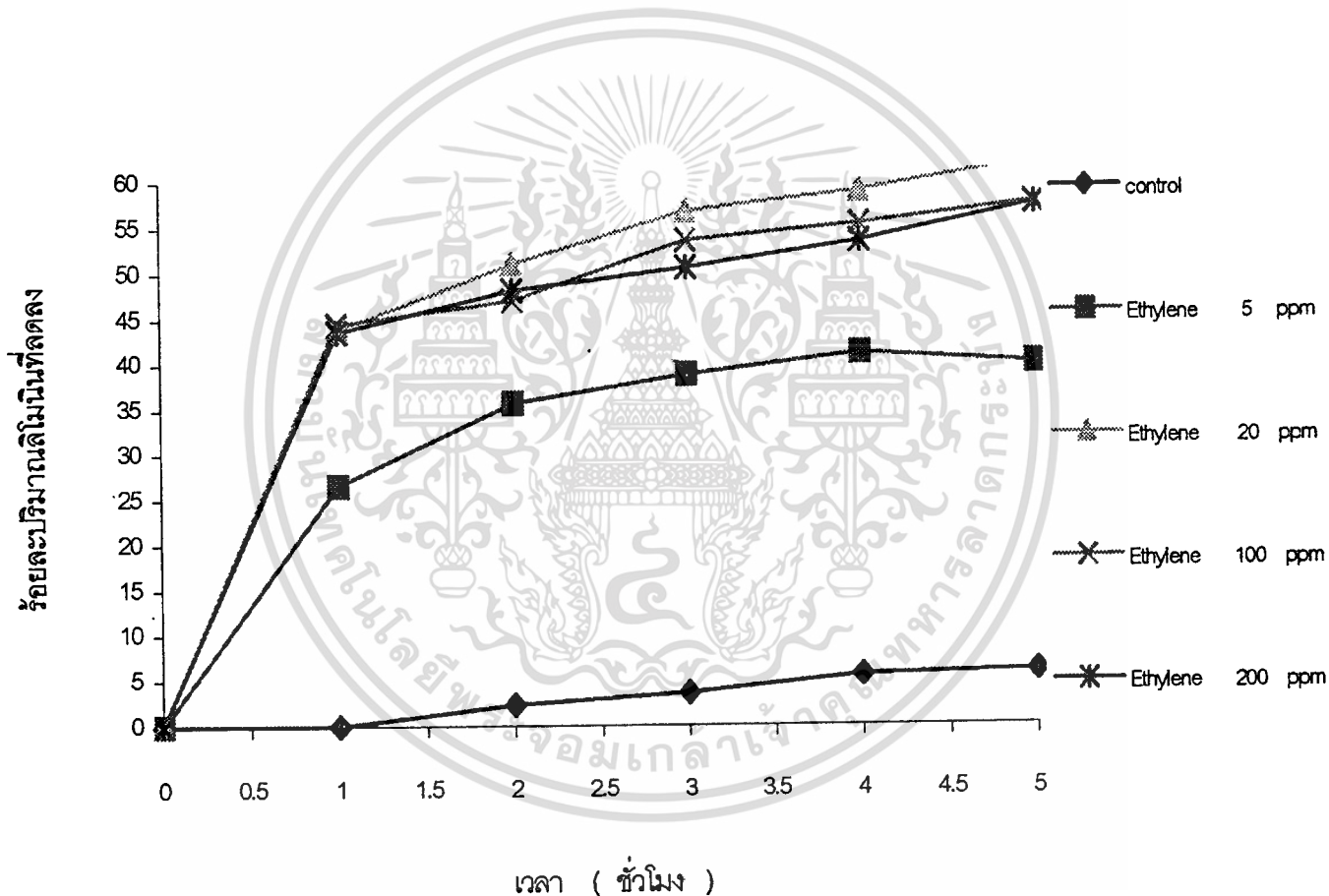


รูปที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณลิโมนีนในน้ำมะนาว

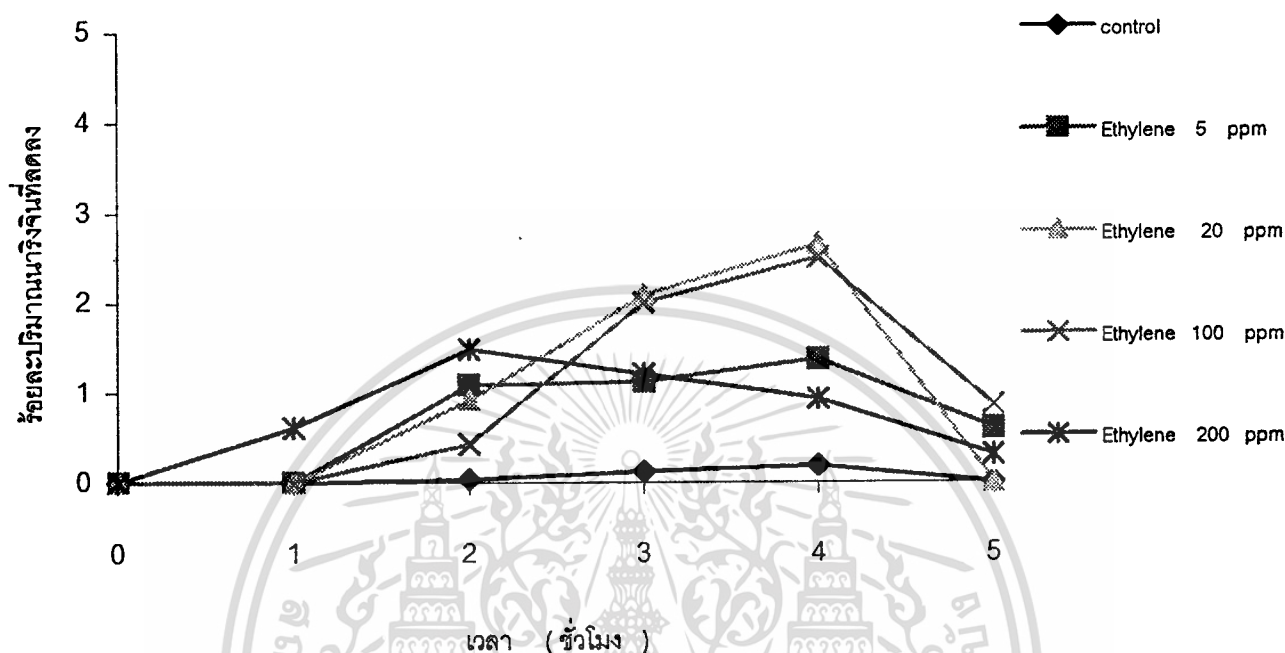
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของปริมาณของเอทิลีนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกับผล มะนาวต่อระดับความขมที่ลดลง

จากการศึกษาการลดปริมาณลิโมนินและนาริงจินโดยใช้เอทิลีนที่ระดับความเข้มข้น
ต่างๆ คือ 5 20 100 200 ppm สัมผัสผลมะนาวที่บรรจุอยู่ในขวดสุญญากาศซึ่งแต่ละความ
เข้มข้นจะสัมผัสเป็นระยะเวลาต่างๆ คือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.7 และ
4.8 (ตารางภาคผนวกที่ ข-6-9)



รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณร้อยละของลิโมนินที่ลดลงเมื่อสัมผัสกับเอทิลีนที่ 5 20 100 และ
200 ppm เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณร้อยละของนาริงจินที่ลดลงเมื่อสัมผัสกับเอทิลีนที่ 5 20 100 และ 200 ppm เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.7 (ตารางภาคผนวก ข-6-7) พบว่าปริมาณเอทิลีนที่ระดับ 5 ppm ยังสามารถลดระดับปริมาณลิโมนีนได้ แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 50 เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของเอทิลีนที่ระดับ 20 100 และ 200 ppm ปริมาณลิโมนีนลดลงได้เกือบร้อยละ 50 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 2 3 4 5 ชั่วโมง ปริมาณลิโมนีนลดลงได้มากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่ไม่ได้สัมผัสเอทิลีนผลปรากฏว่าปริมาณลิโมนีนลดลงในปริมาณที่ต่ำมาก ส่วนปริมาณนาริงจินมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยคือมีปริมาณนาริงจินที่ลดลงสูงสุทธ้อยู่ที่ระดับเอทิลีน 20 ppm เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.8 (ตารางภาคผนวก ข-8-9) เนื่องมาจากเอทิลีนที่ไม่ได้สัมผัสเอทิลีนลดปริมาณความเข้มข้นของนาริงจิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Maier *et al.*(1973) ได้ทดลองใช้เอทรีลีน สัมผัสกับผลส้มพันธุ์ Navel Oranges ในระดับปริมาณต่างๆ คือ 0 0.2 1.8 24 และ 183 ppm เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ปรากฏว่าปริมาณลิโมนินในน้ำลดลงเป็นร้อยละ 25 25 29 38 และ 39 ตามลำดับ การใช้ปริมาณเอทรีลีนที่ระดับ 24 ppm กับ 183 ppm ปริมาณลิโมนินที่ลดลงไม่แตกต่างกันมาก แต่ที่ระดับ 183 ppm เกิด off flavors และเอทรีลีนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนาริง จินและวิตามินซี

การให้เอทรีลีนสัมผัสกับผลมะนาวเนื่องจากเอทรีลีนสามารถลดปริมาณลิโมนินได้เนื่องจากเอทรีลีนจะทำให้ ลิโมนิเอท เอริง แลคโตน (Limonate A – ring lactone) รวมวนการเปลี่ยนแปลงไปเป็นลิโมนินได้ (Maier *et al.*1971) ได้ และมะนาวเป็นผลไม้ประเภท Non – climacteric จะมีการสร้างเอทรีลีนเพียงเล็กน้อยเพียง 0.1-0.2 ppm (จิรา ณ หนองคาย 2531) หรือ 0.3-1.96 ppm (ดนัย บุญยเกียรติ. 2534) การให้เอทรีลีนจากภายนอกจะช่วยกระตุ้นเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงและไกลออกไปทำให้เกิดการสร้างแก๊สเอทรีลีนเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์ภายในผลิตผลมีการสร้างแก๊สเอทรีลีนขึ้นพร้อมกัน (จิรา ณ หนองคาย. 2531) จากผลการทดลองถึงแม้ว่าผลมะนาวที่ไม่ได้ผ่านการสัมผัสกับเอทรีลีน เมื่อนำน้ำมะนาวไปวิเคราะห์หาปริมาณลิโมนินที่ลดลงปรากฏว่าร้อยละปริมาณลิโมนินที่ลดลงมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป . เนื่องจากผลมะนาวยังมีการผลิตเอทรีลีน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maier *et.al* (1971) พบว่า ปริมาณลิโมนินในน้ำส้ม Navel Orange ที่ไม่ได้ผ่านการ treat ด้วยเอทรีลีนเป็นระยะเวลา 5 วัน ปริมาณลิโมนินจะลดลงร้อยละ 14

เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณลิโมนินลดลงน้อยเนื่องจากการหายใจของมะนาวลดลงใน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอทรีลีนลดลงได้ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนลดลง เพราะออกซิเจนจะช่วยในการสร้างเอทรีลีนและยังจำเป็นในการทำงานของเอทรีลีนอีกด้วย (Young 1980) แต่ในทางการค้าหากมีการใช้ระยะเวลาสั้นจะเป็นผลดีต่อการผลิต และเป็นผลดีต่อคุณภาพทางด้านคุณสมบัติของน้ำมะนาวที่จะได้ไม่ต้องสัมผัสกับเอทรีลีนนานจนเกินไปยังได้รสชาติที่ดีกว่าการใช้ก๊าซเอทรีลีน Treat กับผลมะนาวเป็นระยะเวลานานๆ

ผลจากการทดลองโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสกลิ่นรสของน้ำมะนาว ที่ผ่านการสัมผัสผลมะนาวด้วยเอทรีลีนที่ระดับความเข้มข้น 20 ppm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าจากผู้ทดสอบ 20 คน มีผู้ทดสอบ 19 คน ที่ไม่ได้กลิ่นของเอทรีลีนทั้ง 2 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 95 ทำให้ ระดับเอทรีลีนในระดับนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของน้ำมะนาวเนื่องมาจาก ระดับเอทรีลีนที่ให้อยู่ในระดับที่ต่ำ

4.4 ผลของการสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียสต่อปริมาณลิโมนินและนาริงจีน

4.4.1 ปริมาณลิโมนิน

อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

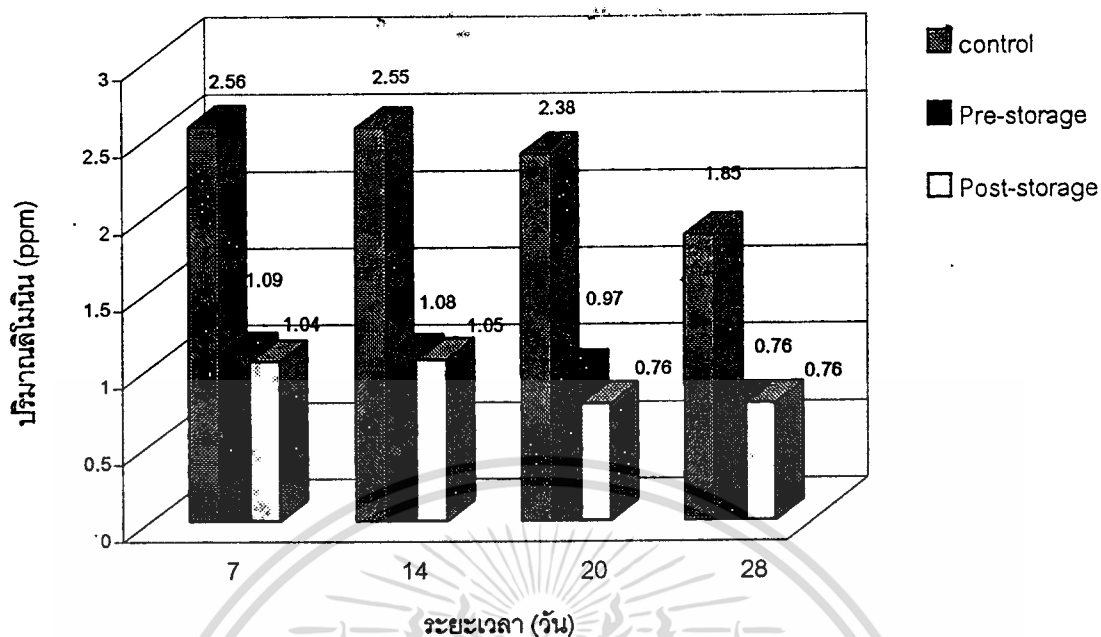
- การสัมผัสเอทิลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.9 (ตารางภาคผนวกที่ 11) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม (Pre-storage) ปริมาณลิโมนินในกลุ่ม (Pre-storage) จะลดลงซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม pre-treat มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 14 20 28 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณลิโมนินเท่ากับ 1.09 และ 1.08 ppm ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 20 วันปริมาณลิโมนินจะลดลงเหลือ 0.97 ppm และจะลดลงอีก 0.76 ppm เมื่อผ่านไป 28 วันซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Post-storage จะพบว่าปริมาณลิโมนินในกลุ่ม Post-storage จะลดลงซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม post-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 14 20 28 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณลิโมนินเท่ากับ 1.04 และ 1.05 ppm ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 20 วัน ปริมาณลิโมนินจะลดลงเหลือ 0.76 ppm และจะไม่ลดลงเมื่อผ่านไป 28 วันซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ปริมาณลิโมนินจะแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ใน 14 วันแรกและ 14 วันหลัง

การสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วัน มีค่าปริมาณลิโมนินไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาให้นานยิ่งขึ้นนั้น จะทำให้ปริมาณลิโมนินทั้ง 2 วิธีลดลงจาก 14 วันแรกซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การทดลองนี้จะพบว่าการเพิ่มระยะเวลาต่างๆ ให้นานยิ่งขึ้นจะมีปริมาณลิโมนินลดลงหลังจาก 14 วัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 20 วัน การ Post-storage จะมีปริมาณลิโมนินเท่ากับการ Pre-storage 28 วัน คือ 0.76 ppm



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณลิโมนีนและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาวอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

- การสัมผัสเอทิลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

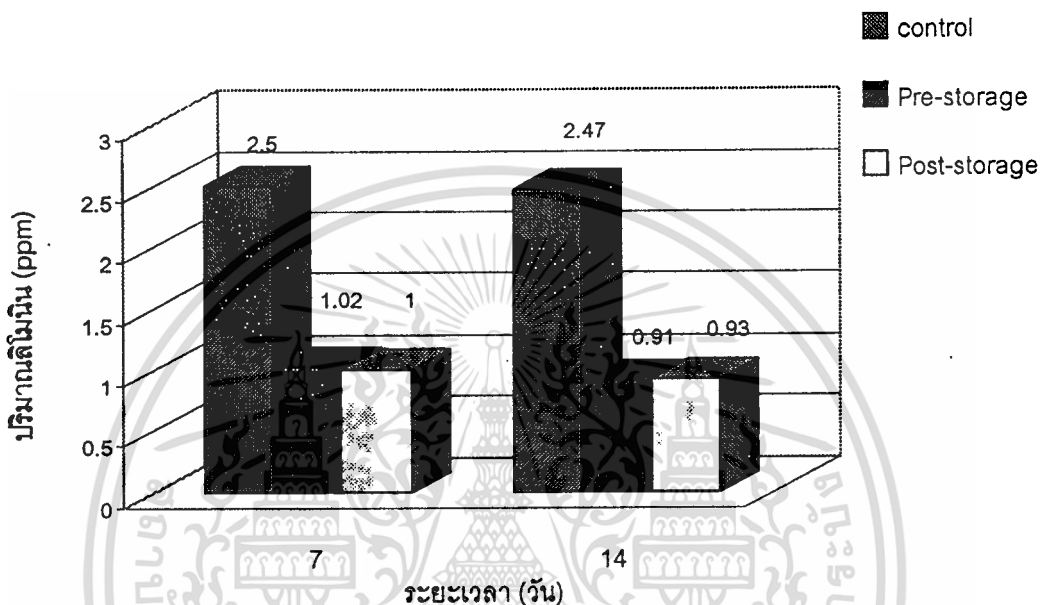
ผลการทดลองจากรูปที่ 4.10 (ตารางภาคผนวกที่ 16) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage ปริมาณลิโมนีนในกลุ่ม Pre-storage จะลดลงคือ ในวันที่ 7 วันจะลดลงจาก 2.50 เป็น 1.02 ppm และในวันที่ 14 จะลดลงจาก 2.47 เป็น 0.91 ppm ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณลิโมนีนเท่ากับ 1.02 และ 0.91 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Post-storage จะพบว่าปริมาณลิโมนีนในกลุ่ม Post-storage จะลดลงคือในวันที่ 7 วันจะลดลงจาก 2.50 เป็น 1.00 ppm และในวันที่ 14 จะลดลงจาก 2.47 เป็น 0.93 pm ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ละเมื่อในกลุ่ม Post-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้น

เป็น 7 และ 14 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณลิโมนีนเท่ากับ 1.00 และ 0.93 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การสัมผัสเอทริลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วัน มีค่าปริมาณลิโมนีน ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในเวลาเดียวกันปริมาณลิโมนีนทั้ง 2 วิธีมีค่าปริมาณลิโมนีนไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณลิโมนีนและวิธีการสัมผัสเอทริลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผล มะนาวอุณหภูมิต่ำ 10 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

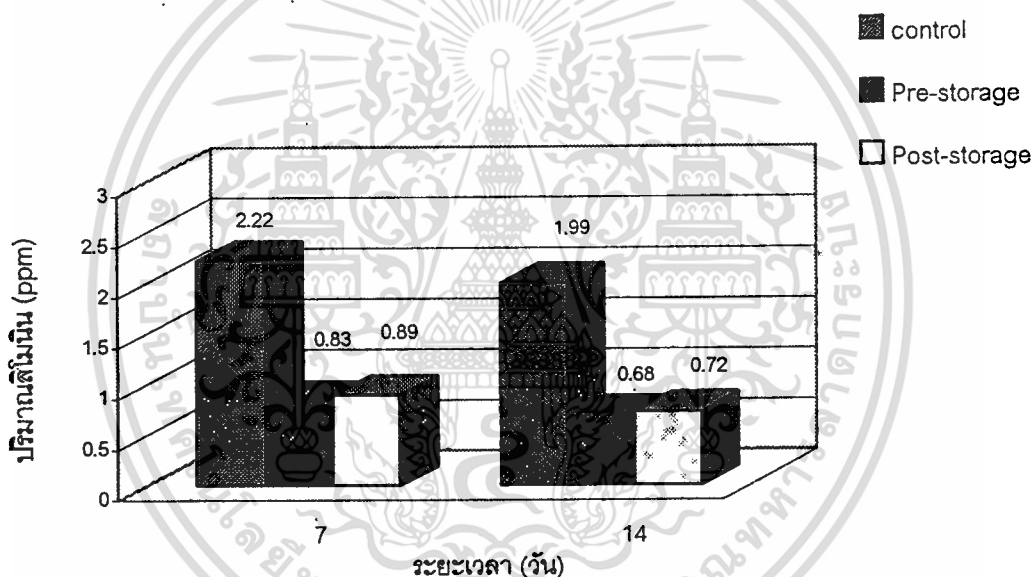
- การสัมผัสเอทริลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.11 (ตารางภาคผนวกที่ 22) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage ปริมาณลิโมนีนในกลุ่ม Pre-storage จะลดลงคือ ใน 7 วันแรกจะลดลงจาก 2.22 เป็น 0.83 ppm และใน 14 วันจะลดลงจาก 1.99 เป็น 0.68 ppm ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณลิโมนีนจะลดลงเท่ากับ 0.83 และ 0.68 ppm ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) .

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Post-storage จะพบว่าปริมาณลิโมนีนในกลุ่ม Post-storage จะลดลงคือ ใน 7 วันแรกจะลดลงจาก 2.22 เป็น 0.89 ppm และใน 14 วันจะลดลงจาก 1.99 เป็น 0.72 ppm ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม Post-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณลิโมนีนเท่ากับ 0.89 และ 0.72 ppm ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วันมีค่าปริมาณลิโมนีนแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในเวลาเดียวกันปริมาณลิโมนีนทั้ง 2 วิธีมีค่าปริมาณลิโมนีนไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณลิโมนีนและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาวอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

- การสัมผัสเอทิลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

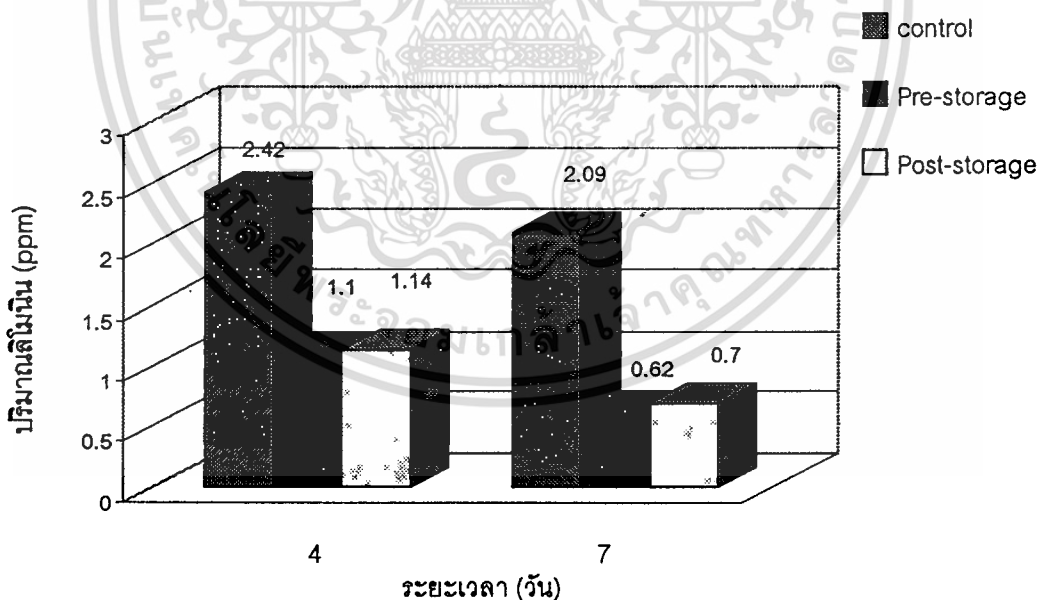
ผลการทดลองจากรูปที่ 4.12 (ตารางภาคผนวกที่ 28) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage ปริมาณลิโมนีนในกลุ่ม Pre-storage จะลดลงคือ ใน 4 วันแรกจะลดลงจาก 2.42 เป็น 1.10 ppm และใน 7 วันจะลดลงจาก 2.09 เป็น 0.62 ppm ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณลิโมนินจะลดลงเท่ากับ 1.10 และ 0.62 ppm ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Post-storage จะพบว่าปริมาณลิโมนินในกลุ่ม Post-storage จะลดลงคือ ใน 4 วันแรกจะลดลงจาก 2.42 เป็น 1.14 ppm และใน 7 วันจะลดลงจาก 2.09 เป็น 0.70 ppm ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม Post-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณลิโมนินเท่ากับ 1.14 และ 0.70 ppm ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วัน มีค่าปริมาณลิโมนินแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และใน 4 วันแรกปริมาณลิโมนินทั้ง 2 วิธีมีค่าปริมาณลิโมนินไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ใน 7 วัน ปริมาณลิโมนินทั้ง 2 วิธีมีค่าปริมาณลิโมนินแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณลิโมนินและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผล

มะนาวอุณหภูมิต่ำ 30 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตามจากการทดลองหากต้องการเก็บมะนาวให้ได้ระยะเวลานานขึ้นพร้อมกับต้องการให้มี

ปริมาณลิโมนินลดลงตามไปด้วย กล่าวคือยังมีอุณหภูมิต่ำคือ ไม่ 5 องศาเซลเซียส จะสามารถการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บมะนาวได้มากกว่า 28 วัน โดยที่มีปริมาณลิโมนินลดลงมากกว่าร้อยละ 50 โดยผลมะนาวที่ไม่ได้ผ่านการสัมผัสเอทิลีน ผลมะนาวที่ผ่านสัมผัสเอทิลีนก่อนเก็บรักษา และหลังการเก็บรักษาจะมีปริมาณลิโมนินลดลงร้อยละ 12.26 75.09 และ 71.26 ตามลำดับ

อุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ปริมาณลิโมนินลดลงมากกว่าร้อยละ 50 แต่สามารถเก็บมะนาวได้เพียง 14 วันหลังจากนั้นผลมะนาวเริ่มมีการเสื่อมสภาพจึงไม่สามารถทำการวิเคราะห์ต่อไปได้ โดยผลมะนาวที่ไม่ได้ผ่านการสัมผัสเอทิลีน ผลมะนาวที่ผ่านสัมผัสเอทิลีนก่อนเก็บรักษา และหลังการเก็บรักษาจะมีปริมาณลิโมนินลดลงร้อยละ 5.7 65.13 และ 64.36 ตามลำดับ

ส่วนอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ปริมาณลิโมนินลดลงมากกว่าร้อยละ 50 แต่สามารถเก็บมะนาวได้เพียง 14 วันเช่นกัน โดยผลมะนาวที่ไม่ได้ผ่านการสัมผัสเอทิลีน ผลมะนาวที่ผ่านสัมผัสเอทิลีนก่อนเก็บรักษา และหลังการเก็บรักษาจะมีปริมาณลิโมนินลดลงร้อยละ 24.13 73.95 และ 72.41 ตามลำดับ

ในขณะที่มะนาวที่เก็บที่อุณหภูมิห้องปริมาณลิโมนินลดลงมากกว่าร้อยละ 50 แต่อายุการเก็บจะสั้นกว่า 3 อุณหภูมิแรกคือเก็บได้เพียง 7 วันโดยผลมะนาวที่ไม่ได้ผ่านการสัมผัสเอทิลีน ผลมะนาวที่ผ่านสัมผัสเอทิลีนก่อนเก็บรักษา และหลังการเก็บรักษาจะมีปริมาณลิโมนินลดลงร้อยละ 19.92 76.24 และ 73.18 ตามลำดับ

เพราะฉะนั้นหากต้องการเก็บมะนาวให้นานขึ้นและมีปริมาณลิโมนินลดลงสามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และสามารถใช้อเอทิลีนสัมผัสมะนาวได้ทั้งก่อนและหลังการเก็บรักษาซึ่งผลปริมาณลิโมนินที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.9 ในทางอุตสาหกรรมสามารถเลือกได้ทั้ง 2 วิธี

การทดลองนี้ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Maier *et al.* (1971) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างสัมผัสเอทิลีน 20 ppm กับผล Navel Orange เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 70 องศาฟาเรนไฮด์ เป็นเวลา 5 วัน กับสัมผัสเอทิลีน 20 ppm ตลอดการทดลองไว้ที่อุณหภูมิและระยะเวลาเท่ากัน ผลปรากฏว่า ปริมาณลิโมนินทั้ง 2 การทดลองไม่แตกต่างกันมากนัก คือมีปริมาณลิโมนินลดลงร้อยละ 32 และ 36 ตามลำดับ ในขณะที่ไม่มีการสัมผัสด้วยเอทิลีนปริมาณลิโมนินจะลดลงร้อยละ 14 Maier *et al* (1971) กล่าวว่าปริมาณความขมจะลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นแต่อย่างไรก็ตามหากเก็บที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดกลิ่นรสไม่ดีถึงแม้ว่าปริมาณลิโมนินจะลดลงมากกว่าอุณหภูมิต่ำก็ตาม

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ 3 ประการคือ

1. ผลของการสัมผัสเอทิลีน 20 ppm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนหรือหลังการเก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดปริมาณของลิโมนินในระดับใกล้เคียงกัน แสดงว่าการเก็บมะนาวเป็นระยะเวลา 28 วันไม่มีผลในการลดการทำงานของเอนไซม์
2. ผลของอุณหภูมิมีผลต่อการลดปริมาณลิโมนินคืออุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการลดปริมาณลิโมนินได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำ
3. การสัมผัสเอทิลีนก่อนหรือหลังมีผลทำให้ปริมาณลิโมนินลดลงในระดับที่ใกล้เคียงกันทั้ง 2 วิธี เนื่องจากการให้เอทิลีนจากภายนอกของผลไม้เป็นการกระตุ้นการหายใจเพิ่มขึ้น และเป็นการกระตุ้นให้ผลมีการสร้างเอทิลีน เอทิลีนที่ถูกกระตุ้นในจุดใดจุดหนึ่งจะกระตุ้นเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงและไกลออกไปทำให้เกิดการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์ภายในมีการสร้างเอทิลีนขึ้นพร้อมกัน

4.4.2 ปริมาณนาริงจิน

อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

- การสัมผัสเอทิลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

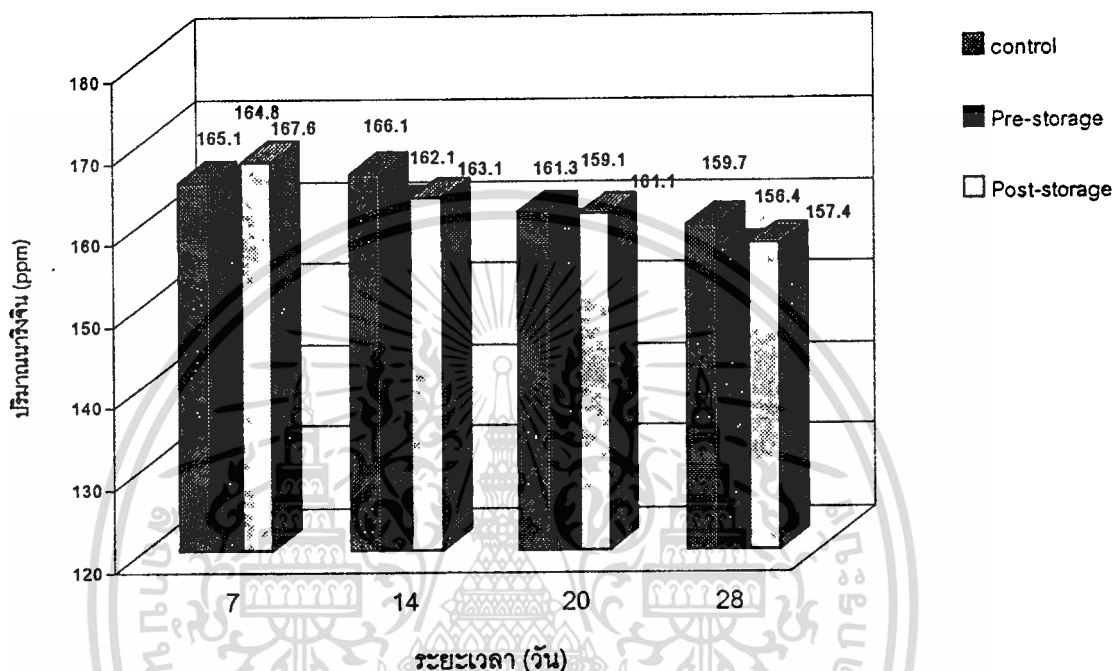
ผลการทดลองจากรูปที่ 4.13 (ตารางภาคผนวกที่ 12) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage จะปริมาณนาริงจินในกลุ่ม Pre-storage ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม pre-treat มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 14 20 28 วัน จะพบว่าวันที่ 7 14 20 และ 28 ปริมาณนาริงจินไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือมีปริมาณนาริงจินเท่ากับ 164.80 162.90 159.10 และ 156.40 ตามลำดับ

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Post-storage จะพบว่าปริมาณนาริงจินในกลุ่ม Post-storage ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม post-treat มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 14 20 28 วัน จะพบว่าวันที่ 7 14 20 และ 28 ปริมาณนาริงจินไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือมีปริมาณนาริงจินเท่ากับ 167.60 163.10 161.10 และ 157.40 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 28 มีค่าปริมาณนาริงจินไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาให้นานยิ่งขึ้นนั้น ปริมาณนาริงจินทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การทดลองนี้จะพบว่าการเพิ่มระยะเวลาต่างๆ ให้นานยิ่งขึ้นและวิธีการสัมผัสเอทิลีนเมื่อเก็บผลมะนาวในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนาริงจินแต่อย่างไร



รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณนาริงจินและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาวอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

- การสัมผัสเอทิลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

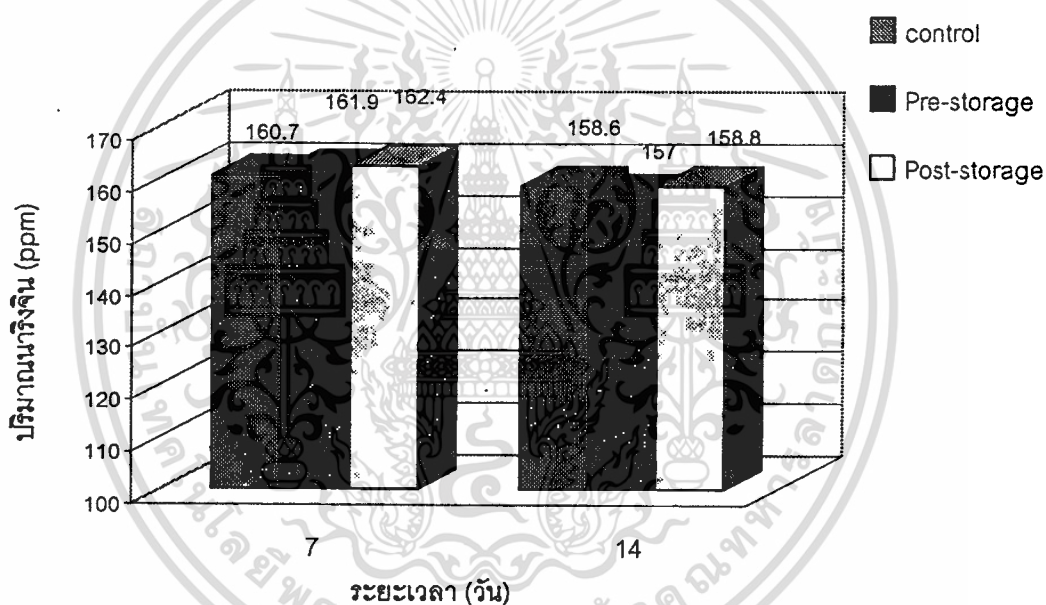
ผลการทดลองจากรูปที่ 4.13 (ตารางภาคผนวกที่ 18) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage โดยใน 7 วันปริมาณนาริงจินมีค่าเท่ากับ 160.70 และ 161.90 ppm ตามลำดับ และใน 14 วันมีปริมาณนาริงจินเท่ากับ 158.60 และ 157.00 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 7 เป็น 14 จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณนาริงจินจะลดลงเท่ากับ 161.90 และ 157.00 ppm ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Post-storage โดยใน 7 วันปริมาณนาริงจินมีค่าเท่ากับ 160.70 และ 162.40 ppm ตามลำดับ และใน 14 วันมีปริมาณนาริงจินเท่ากับ 158.60 และ 158.80 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อในกลุ่ม Post-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 7 เป็น 14 จะพบว่าวันที่ 7 และ 14 ปริมาณนาริงจินจะลดลงเท่ากับ 162.40 และ 158.80 ppm ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วันมีค่าปริมาณนาริงจินไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในเวลาเดียวกันปริมาณนาริงจินทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณนาริงจินและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาวอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

- การสัมผัสเอทิลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

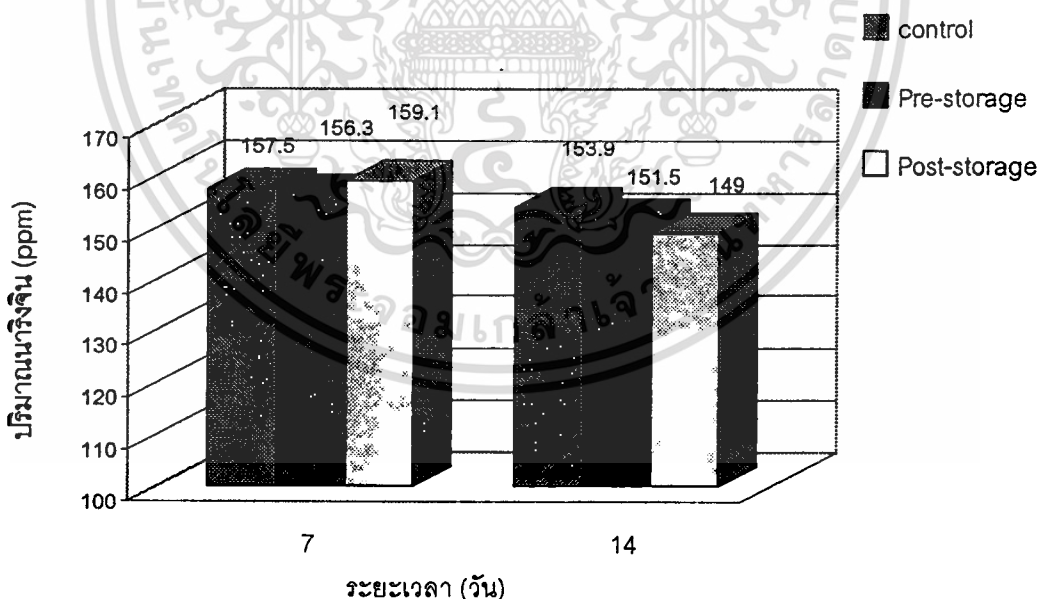
ผลการทดลองจากรูปที่ 4.14 (ตารางภาคผนวกที่ 23) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage โดยใน 7 วันปริมาณนาริงจินมีค่าเท่ากับ 157.50 และ 156.30 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และใน 14 วันมีปริมาณนาริงจินจะแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 153.90 และ 151.50 ppm ตามลำดับ และเมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 7 เป็น 14 วัน จะพบว่าปริมาณนาริงจินมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณนาริงจินจะลดลงเท่ากับ 156.30 และ 151.50 ppm ตามลำดับ

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage โดยใน 7 วันปริมาณนาริงจินมีค่าเท่ากับ 157.50 และ 159.10 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และใน 14 วันมีปริมาณนาริงจินจะแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 153.90 และ 149.00 ppm ตามลำดับ และเมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 7 เป็น 14 วัน จะพบว่าปริมาณนาริงจินมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณนาริงจินจะลดลงเท่ากับ 156.30 และ 149.00 ppm ตามลำดับ

การสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วันมีค่าปริมาณนาริงจินแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในเวลาเดียวกันปริมาณนาริงจินทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.15 แสดงปริมาณนาริงจินและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาวอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

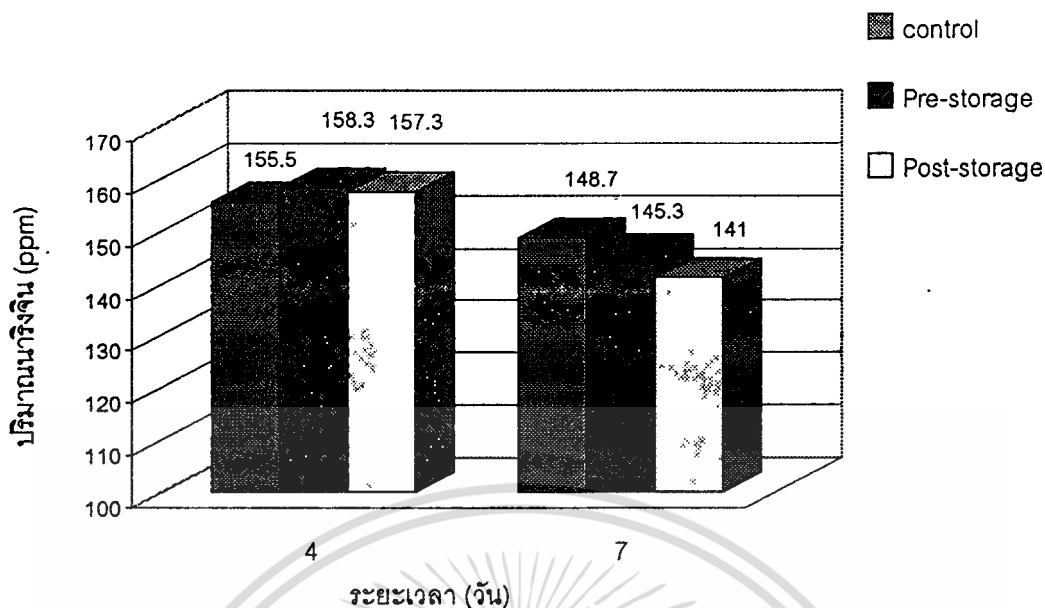
- การสัมผัสเอทิลีนก่อนการเก็บ (Pre-storage)

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.15 (ตารางภาคผนวกที่ 29) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage โดยใน 4 วันปริมาณนาริงจินมีค่าเท่ากับ 155.50 และ 158.30 ppm ตามลำดับ และใน 14 วันมีปริมาณเท่ากับ 148.70 และ 145.30 ppm ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 4 และ 7 วัน จะพบว่าปริมาณนาริงจินมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณนาริงจินจะลดลงเท่ากับ 156.30 และ 151.50 ppm ตามลำดับ

- การสัมผัสเอทิลีนหลังการเก็บ (Post-storage)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเดียวกันระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่ม Pre-storage โดยใน 7 วันปริมาณนาริงจินมีค่าเท่ากับ 157.50 และ 159.10 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และใน 14 วันมีปริมาณนาริงจินจะแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 153.90 และ 149.00 ppm ตามลำดับ และเมื่อในกลุ่ม Pre-storage มีการเพิ่มระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน จะพบว่าปริมาณนาริงจินมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณนาริงจินจะลดลงเท่ากับ 157.10 และ 141.00 ppm ตามลำดับ

การสัมผัสเอทิลีนก่อนและหลังเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วันมีค่าปริมาณนาริงจินแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในเวลาเดียวกันปริมาณนาริงจินในวันที่ 4 ทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ในวันที่ 7 แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 16 แสดงปริมาณไนโตรเจนและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผลมะนาวอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

จากการทดลองจะพบว่าระดับเอทิลีนที่สัมผัสมะนาวทั้งก่อนและหลังการเก็บรักษาจะไม่ มีผลต่อการลดปริมาณไนโตรเจนเท่าที่ควร และเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้นปริมาณไนโตรเจนลดลงเนื่องจากผลมะนาวเริ่มเข้าสู่ระยะเสื่อมสลาย

4.4.3 คุณสมบัติทางเคมี

ผลของอายุการเก็บรักษาและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว คุณสมบัติทางเคมีที่ให้ผลในลักษณะเดียวกันในเรื่องของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แก่ กรดแอสคอบิก กรดซิตริก กรด-ด่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลาย (°brix) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 4.6 4.7 และ 4.8 สำหรับรายละเอียดของคุณภาพของสมบัติแต่ละอย่างมีดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงคุณภาพทางเคมีและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผล
มะนาวอุณหภูมิตั้งที่ 5 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	เวลา (วัน)	วิธีการลดความขม (5)		
		control	Pre-storage	Post-storage
กรดแอสคอร์บิก (มก/100 มก)	0	37.10	37.10	37.10
	7	b 36.22 a	a 37.00 a	ab 36.60 a
	14	a 34.44 b	ab 34.31 b	b 33.35 b
	20	b 29.81 c	a 30.55 c	c 27.62 c
	28	b 23.57 d	b 23.28 d	a 22.14 d
กรดซิตริก (เปอร์เซ็นต์)	0	7.10	7.10	7.10
	7	c 6.81 a	a 7.14 a	b 6.97 a
	14	b 6.38 b	a 6.57 b	a 6.50 b
	20	b 6.11 c	a 6.34 c	a 6.26 c
	28	b 6.05 c	a 6.11 d	a 6.10 d
pH	0	1.97	1.97	1.97
	7	a 2.25 c	a 2.30 c	b 2.20 c
	14	a 2.22 c	a 2.21 c	a 2.20 c
	20	a 2.35 b	a 2.23 b	a 2.43 b
	28	a 2.51 a	a 2.59 b	a 2.52 a
° Brix	0	7.20	7.20	7.20
	7	a 7.00 c	a 7.10 c	a 7.00 b
	14	b 7.80 b	a 8.00 b	a 8.00 a
	20	b 8.00 a	a 7.00 c	a 8.00 a
	28	b 8.00 a	a 8.15 a	a 8.00 a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณภาพทางเคมีและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผล
มะนาวอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	เวลา (วัน)	วิธีการลดความขม (10)		
		control	Pre-storage	Post-storage
กรดแอสคอร์บิก (มก/100 มก)	0	37.10	37.10	37.10
	7	a 36.49 a	b 33.49 a	a 36.40 a
	14	b 30.02 b	b 29.83 b	a 27.06 b
กรดซิตริก (เปอร์เซ็นต์)	0	7.10	7.10	7.10
	7	b 6.78 a	a 6.99 a	b 6.69 a
	14	a 6.35 b	a 6.35 b	b 6.25 b
pH	0	1.97	1.97	1.97
	7	a 2.27 a	a 2.22 a	a 2.19 a
	14	a 2.16 b	a 2.16 b	a 2.20 a
° Brix	0	7.20	7.20	7.20
	7	a 7.00 b	a 7.00 b	a 7.00 b
	14	a 7.90 a	a 8.20 a	a 8.00 a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย
สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย
สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 4.7 แสดงคุณภาพทางเคมีและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผล
มะนาวอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	เวลา (วัน)	วิธีการลดความขม (20)		
		control	Pre-storage	Post-storage
กรดแอสคอร์บิก (มก/100 มก)	0	37.10	37.10	37.10
	7	a 33.77 a	a 31.47 a	a 33.55 a
	14	a 27.47 b	a 27.81 b	a 25.76 b
กรดซิตริก (เปอร์เซ็นต์)	0	7.10	7.10	7.10
	7	a 6.81 a	a 6.81 a	a 6.69 a
	14	a 6.20 b	a 6.46 b	a 6.26 b
pH	0	1.97	1.97	1.97
	7	a 2.27	a 2.21	a 2.17
	14	a 2.20	a 2.19	a 2.17
° Brix	0	7.20	7.20	7.20
	7	a 7.00 b	b 6.82 b	b 7.00 b
	14	a 8.20 a	b 8.00 a	b 8.20 a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 4.8 แสดงคุณภาพทางเคมีและวิธีการสัมผัสเอทิลีนต่างๆ ของน้ำมะนาวเมื่อเก็บที่ผล
มะนาวอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	เวลา (วัน)	วิธีการลดความขม (30)		
		control	Pre-storage	Post-storage
กรดแอสคอบิก (มก/100 มก)	0	37.10	37.10	37.10
	4	a 36.53 a	a 35.74 a	a 36.23 a
	7	b 29.60 a	b 29.29 a	a 30.36 a
กรดซิตริก (เปอร์เซ็นต์)	0	7.10	7.10	7.10
	4	a 6.75 a	a 6.75 a	a 6.69 a
	7	a 6.26 a	a 6.13 a	a 6.14 a
pH	0	1.97	1.97	1.97
	4	a 1.98 a	a 1.90 a	a 1.95 a
	7	a 2.26 a	a 2.20 a	a 2.20 a
° Brix	0	7.20	7.20	7.20
	4	a 7.00 a	a 7.00 a	a 7.00 a
	7	b 7.40 a	c 7.20 a	a 8.00 a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

4.3.3.1 ปริมาณกรดแอสคอบิก

ปริมาณกรดแอสคอบิกของมะนาวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสในช่วง 0-7 วัน จะลดลง 0.1-0.88 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร หากเก็บที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดแอสคอบิกจะลดลง 3.61-0.61 5.63-3.33 และ 7.81-3.41 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ และหากเก็บมะนาวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสใน ต่อไป จนถึง 28 วัน ปริมาณกรดแอสคอบิกจะลดลง 14.96-13.53 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 4.5 4.6 4.7 และ 4.8

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของกรดแอสคอบิกโดยดูผลของวิธีการสัมผัสเอทิลีนในวิธีต่างๆ ทั้ง 3 วิธี และอายุการเก็บรักษา พบว่า

ที่อุณหภูมิ 5 10 และ 30 องศาเซลเซียส วิธีการสัมผัสเอทิลีนในวิธีต่างๆ ทั้ง 3 วิธีมีผลต่อปริมาณกรดแอสคอบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกรดแอสคอบิกในแต่ละวิธีการสัมผัสเอทิลีน มีค่าปริมาณแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส วิธีการสัมผัสเอทิลีนในวิธีต่างๆทั้ง 3 วิธีไม่มีผลต่อปริมาณกรดแอสคอบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อเก็บมะนาวในระยะเวลาสั้นขึ้นนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่าระยะเวลามีผลต่อปริมาณกรดแอสคอบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณกรดแอสคอบิกจะลดลงทั้งนี้เนื่องจากการเสื่อมคุณภาพตามธรรมชาติของผลไม้ นอกจากนี้เนื่องมาจากกรดแอสคอบิกในมะนาวซึ่งอยู่ในรูปของ L ascorbic acid ถูกออกซิไดซ์ ไปเป็นสารอื่นได้โดยง่าย โดยมีเอนไซม์ 4 ชนิดที่ช่วยกระตุ้นปฏิกิริยา คือ Ascorbic acid oxidase Phenolase Cytochrome oxidase และ Peroxidase โดยเอนไซม์เหล่านี้ในสภาพปกติจะมี activity ต่ำ แต่ในสภาพที่เกิดบาดแผล เน่า หรือ เสื่อมสภาพของเซลล์ เอนไซม์นี้จึงมี activity ขึ้น และจะออกซิไดซ์วิตามินซีไปเป็นสารอื่น ทำให้ปริมาณวิตามินลดลง

4.3.3.2 ปริมาณกรดซิตริก

ปริมาณกรดซิตริกของมะนาวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในช่วง 0-7 วัน จะลดลงร้อยละ 0.72-0.53 หากเก็บที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดซิตริกจะลดลงร้อยละ 0.32-0.11 0.41-0.29 และ 0.97-0.84 ตามลำดับ และหากเก็บมะนาวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อไป จนถึง 28 วัน ปริมาณกรดแอสคอบิกจะลดลงร้อยละ 1.05-0.99 ดังตารางที่ 4.5 4.6 4.7 และ 4.8

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของกรดซิตริกโดยดูผลของวิธีการสัมผัสเอทิลีนในวิธีต่างๆทั้ง 3 วิธี และอายุการเก็บรักษา พบว่า

ที่อุณหภูมิ 5 10 และ 30 องศาเซลเซียส วิธีการสัมผัสเอทิลีนในวิธีต่างๆทั้ง 3 วิธีมีผลต่อปริมาณกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกรดแอสคอบิกในแต่ละวิธีการสัมผัสเอทิลีน มีค่าปริมาณแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส วิธีการสัมผัสเอทิลีนในวิธีต่างๆทั้ง 3 วิธีไม่มีผลต่อปริมาณกรดแอสคอบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อเก็บมะนาวระยะเวลาสั้นขึ้นนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่าระยะเวลามีผลต่อปริมาณกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณกรดซิตริกลดลงทั้งนี้เนื่องจากมะนาวมีการใช้กรดซิตริกเป็นแหล่งพลังงานทดแทนคาร์โบไฮเดรตสะสมภายในเซลล์ที่ลดลง จึงทำให้ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวลดลงเมื่อเก็บมะนาวนานขึ้น นอกจากนี้มะนาวหลังจากการเก็บเกี่ยวก็ยังมีชีวิตอยู่ กระบวนการหายใจก็ดำเนินไปตามปกติ โดยมีการสลายกรดซิตริกซึ่งอยู่ในรูปของกลีโคไซด์ ผ่านวงจรเครป (Krebs' Cycle หรือ Tricarboxylic acid cycle) เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้

4.3.3.3 ปริมาณกรด-ด่าง (pH)

ปริมาณกรด-ด่าง ของมะนาวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในช่วง 0-7 วัน จะเพิ่มขึ้น 0.33-0.23 หากเก็บที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียสปริมาณกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้น 0.3-0.22 0.3-0.2 และ 0.07- 0.01 ตามลำดับ และหากเก็บมะนาวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ต่อไป จนถึง 28 วัน ปริมาณกรด - ด่างจะเพิ่มขึ้น 0.69 - 0.54 ดังตารางที่ 4.5 4.6 4.7 และ 4.8

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของกรดซิตริกโดยดูผลของวิธีการ สัมผัสเอทิลีนในวิธีต่างๆทั้ง 3 วิธี และอายุการเก็บรักษา พบว่า

ในแต่ละอุณหภูมิทั้ง 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าวิธีการสัมผัสเอทิลีน ในวิธีต่างๆทั้ง 3 วิธี ไม่มีผลต่อปริมาณกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกรดแอสคอบิกในแต่ละวิธีการสัมผัสเอทิลีน มีค่าปริมาณแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

เมื่อเก็บมะนาวระยะเวลาสั้นขึ้นนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า ระยะเวลาที่มีผลต่อปริมาณกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ความเป็นกรด-ด่างของ มะนาวเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดซิตริกลดต่ำลงเพราะมีการ นำไปใช้ในกระบวนการหายใจ

4.3.3.4 ปริมาณปริมาณของแข็งที่ละลาย ($^{\circ}\text{Brix}$)

ในช่วงระยะเวลา 7 วันแรก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมะนาวจะลดลงดังตารางที่ 4.5 4.6 4.7 และ 4.8 เนื่องจากปริมาณสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำมะนาวทั้งหมด เช่น กรดซิตริก น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส รวมทั้งกรดอินทรีย์และสารต่างๆที่จำเป็นในกระบวนการหายใจของผลมะนาว ซึ่งสารต่างๆเหล่านี้ถูกใช้ไปเป็นพลังงานและทำหน้าที่ต่างในกระบวนการหายใจจึงทำให้ปริมาณของ แข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงในระยะเวลา 7 วัน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกและวิตามินซี ในน้ำมะนาวที่ลดลง

และเมื่อเก็บต่ออีกระยะเวลาหนึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมะนาวมีการคายน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำในผลต่ำลง

4.4.4 ลักษณะปรากฏทางกายภาพภายนอกของมะนาวที่เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อเริ่มทำการทดลอง ผลมะนาวทุกปัจจัยการทดลองมีสีเขียวและเต่งสดและลักษณะที่ปรากฏภายนอกจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ได้เก็บดังในตารางที่ 4.9 ผลจากการทดลองนี้จึงแนะนำให้เก็บมะนาวที่ 5 องศาเซลเซียสจะทำให้มีอายุการเก็บได้ยาวนานถึง 28 วัน

ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะปรากฏทางกายภาพภายนอกของผลมะนาวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ

ระยะเวลา (วัน)		ลักษณะปรากฏ			
		5 °C	10°C	20 °C	30 °C
เริ่มต้น	สีผิว	5	5	5	5
	ความเขียว	5	5	5	5
	ความสด	สดมาก	สดมาก	สดมาก	สดมาก
4	สีผิว	5	5	5	3
	ความเขียว	5	5	4	3
	ความสด	สดมาก	สดมาก	สดปานกลาง	สดปานกลาง
7	สีผิว	5	5	4	2
	ความเขียว	5	5	4	2
	ความสด	สดมาก	สดมาก	สดเล็กน้อย	ไม่สด
14	สีผิว	5	4	3	1
	ความเขียว	5	4	2	-
	ความสด	สดมาก	สดปานกลาง	สดเล็กน้อย	-
20	สีผิว	5	2	2	-
	ความเขียว	5	2	2	-
	ความสด	สดมาก	สดเล็กน้อย	ไม่สด	-
28	สีผิว	4	1	1	-
	ความเขียว	4	-	-	-
	ความสด	สดปานกลาง	-	-	-

หมายเหตุ : คะแนนการเปลี่ยนสีผิว และการเขียวของผลดังแสดงในภาคผนวกที่ ฉ

4.5 ปริมาณลิโมนินและนาริงจีนบริเวณเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ เมื่อ มะนาวสัมผัสเอทิลีนที่สภาวะเหมาะสมในข้อ 4.4

ผลจากการทดลองโดยใช้เอทิลีน 20 ppm สัมผัสผลมะนาวก่อนเก็บเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเก็บต่อที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน และนำไปเก็บต่อที่อุณหภูมิห้องอีก 1 วัน เพื่อให้มะนาวกลับสู่สภาวะอุณหภูมิห้องตามปกติทำการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินและนาริงจีนที่เปลี่ยนแปลงทั้งบริเวณเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่นำมาสัมผัสเอทิลีนภายหลังการเก็บที่สภาวะและระยะเวลาเดียวกัน ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณลิโมนินในเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ เมื่อมะนาวสัมผัสเอทิลีนที่สภาวะต่างๆ

วิธีการลดความขม	ลิโมนิน (ppm)		
	เปลือก	เม็ด	น้ำ
control	25.77a	221.20a	3.06a
Control			
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วัน	23.44ab	210.04ab	2.97a
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วันและอุณหภูมิห้อง 1 วัน	20.96b	198.97bc	2.71b
<u>สัมผัสเอทิลีน 20 ppm 3 ชั่วโมง ก่อนเก็บ</u>			
สัมผัสเอทิลีน และเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วัน	17.08c	189.52c	1.35c
สัมผัสเอทิลีน เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วันและอุณหภูมิห้อง 1 วัน	15.52c	171.67d	1.32c
<u>สัมผัสเอทิลีน 20 ppm 3 ชั่วโมง หลังเก็บ</u>			
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วันและสัมผัสเอทิลีน	14.50c	174.03d	1.43c
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วัน อุณหภูมิห้อง 1 วันและสัมผัสเอทิลีน	10.30d	150.71e	1.36c

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณนาริงจินในเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำ เมื่อมะนาวสัมผัสเอทิลีนที่สภาวะต่างๆ

วิธีการลดความขม	นาริงจิน (ppm)		
	เปลือก	เม็ด	น้ำ
control	4771.89a	2482.50a	152.80a
Control			
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วัน	4529.21ab	2360.30a	149.50ab
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วันและอุณหภูมิห้อง 1 วัน	4352.12b	2330.01a	149.70ab
<u>สัมผัสเอทิลีน 20 ppm 3 ชั่วโมง ก่อนเก็บ</u>			
สัมผัสเอทิลีน และเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วัน	4215.30b	2338.57a	149.75ab
สัมผัสเอทิลีน เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วันและอุณหภูมิห้อง 1 วัน	3622.43c	2220.88a	146.90b
<u>สัมผัสเอทิลีน 20 ppm 3 ชั่วโมง หลังเก็บ</u>			
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วันและสัมผัสเอทิลีน	3750.20c	2416.59a	151.95ab
เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C 7 วัน อุณหภูมิห้อง 1 วันและสัมผัสเอทิลีน	3046.66d	2388.61a	150.75ab

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าผลมะนาวที่ผ่านการสัมผัสเอทิลีนก่อนเก็บจะมีปริมาณลิโมนินที่บริเวณเปลือก เม็ด และน้ำ ลดลงร้อยละ 33 14 และ 55 ตามลำดับ และถ้าหากนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 1 วัน ปริมาณลิโมนินจะลดลงร้อยละ 39 22 56 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่มีการสัมผัสเอทิลีนภายหลังการเก็บจะมีปริมาณลิโมนินที่บริเวณเปลือก เม็ด และน้ำ ลดลงร้อยละ 43 21 และ 53 ตามลำดับ และถ้าหากนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 1 วัน ปริมาณลิโมนินจะลดลงร้อยละ 60 31 และ 55 ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธีสามารถลดความขมของมะนาวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ปริมาณลิโมนินในน้ำทั้งก่อนและหลังการสัมผัสเอทิลีนถึงแม้ว่าจะนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 1 วันก็ไม่มีผลต่อการลดปริมาณลิโมนินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณนาริงจิน ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งเปลือก เม็ด และน้ำ เพียงเล็กน้อยดังตารางที่ 4.11

Maier *et al.* (1971) ได้ทำการ treat CEPA 1000 ppm กับผล lemon (CEPA คือ 2-chloro ethlophosphonic acid ซึ่งสารชนิดนี้เมื่อสลายตัวจะให้เอทิลีน) treat ตลอดการทดลองเป็นเวลา 6 วัน โดยเก็บที่อุณหภูมิ 72 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อเวลาผ่านไป 6 วันหลังจาก treat ด้วย CEPA ปริมาณลิโมนีนในน้ำลดลงร้อยละ 17 ส่วนเปลือกลดลงร้อยละ 24 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ lemon ที่ไม่ได้ treat เอทิลีนจะมีปริมาณลิโมนีนในน้ำลดลงร้อยละ 8 ส่วนเปลือกลดลงเพียงร้อยละ 3 ต่อมา ปี 1973 ได้ทำการทดลองกับ lemon โดยใช้สาร CEPA ในความเข้มข้นเท่าเดิม treat ตลอดการทดลองเป็นเวลา 27 วัน โดยเก็บที่อุณหภูมิ 72 องศาฟาเรนไฮต์ ผลปรากฏว่า ปริมาณลิโมนีนจะลดลงมากกว่าที่ไม่ได้ treat ด้วย CEPA โดยเมื่อผ่านไป 13 วัน ปริมาณลิโมนีนบริเวณเปลือกจะมีปริมาณลิโมนีนลดลงร้อยละ 63 ส่วนน้ำลดลงร้อยละ 52 เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ treat CEPA ปริมาณลิโมนีนบริเวณเปลือกจะมีปริมาณลิโมนีนลดลงเพียงร้อยละ 36 ส่วนน้ำลดลงร้อยละ 29 หากทำการทดลองครบ 27 วัน ปริมาณลิโมนีนในน้ำจะลดลงอีกจากร้อยละ 52 เป็นร้อยละ 73 ในขณะที่บริเวณเปลือกไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากเปลือกเป็นสีเหลือง

การให้เอทิลีนจากภายนอกแก่ผลไม้ตระกูลส้ม (ผลไม้ตระกูลส้มเป็นผลไม้ที่จัดอยู่ในประเภท Non-climacteric จะมีการสร้างเอทิลีนเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการแก่สุก) ไม่เพียงกระตุ้นให้มีการหายใจเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังกระตุ้นให้ผลไม้สร้างเอทิลีนขึ้นเองได้ด้วยการสร้างเอทิลีนแบบนี้เรียกว่า Autocatalytic Ethylene Producing System เอทิลีนที่ถูกสร้างขึ้นหรือถูกกระตุ้นในจุดใดจุดหนึ่งจะกระตุ้นเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงและไกลออกไปทำให้เกิดการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น ทำให้เซลล์ภายในผลมีการสร้างเอทิลีนขึ้นพร้อมกัน

จากการทดลองนี้จึงพบว่าเอทิลีนสามารถลดปริมาณลิโมนีนได้ในทุกส่วนของมะนาว กล่าวคือทั้งบริเวณเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำมะนาว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาองค์ประกอบของมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้นและวิธีการลดความขมน้ำมะนาวไทยโดยใช้เอทิลีน สรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณลิโมนินและนาริงจินในส่วนต่างๆ ของมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น

1.1 มะนาวพันธุ์พันธุ์ไข่มีปริมาณลิโมนินบริเวณเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ เท่ากับ 8.06 9.31 16.15 165.46 และ 4.90 ppm ตามลำดับ

1.2 มะนาวพันธุ์พันธุ์แป้นมีปริมาณลิโมนินบริเวณเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ เท่ากับ 8.82 15.71 18.95 184.58 และ 6.00 ppm ตามลำดับ

1.3 มะนาวพันธุ์ไข่มีปริมาณนาริงจินบริเวณเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ เท่ากับ 2872.28 3266.20 763.76 1678.51 และ 129.57 ppm ตามลำดับ

1.4 มะนาวพันธุ์พันธุ์แป้นมีปริมาณนาริงจินบริเวณเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ เท่ากับ 3406.04 4790.09 1354.98 1613.84 และ 148.09 ppm ตามลำดับ

2. จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมะนาวสด พบว่า

2.1 น้ำมะนาวสดพันธุ์ไข่มี กรดแอสคอบิก 46.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กรดซิตริก 7.07% pH 2.82 ของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix) 7.50 ลิโมนิน 4.90 ppm และ นาริงจิน 129.57 ppm

2.2 น้ำมะนาวสดพันธุ์แป้นมี กรดแอสคอบิก 45.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กรดซิตริก 6.70 % pH 2.84 ของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix) 7.00 ลิโมนิน 6.00 ppm และ นาริงจิน 148.90 ppm

3. การเกิดความขมของน้ำมะนาวที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณลิโมนินจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลายาวนานขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิและเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ปริมาณของนาริงจินน้อยมาก

4. ผลของปริมาณเอทธิลีนต่อระดับความขม พบว่า ปริมาณเอทธิลีนที่ 20 ppm สัมผัสกับผลมะนาวเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ไม่ควรต่ำกว่า 1 ชั่วโมงและไม่เกิน 3 ชั่วโมง ลดปริมาณลิโมนีนร้อยละ 56.59 ในขณะที่เอทธิลีนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนาริงจินน้อยมาก

5. การสัมผัสเอทธิลีนก่อนและหลังเก็บมะนาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ต่อระดับความขม พบว่า

5.1 การสัมผัสเอทธิลีนก่อนหรือหลังเก็บมะนาวสามารถลดปริมาณลิโมนีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน

5.2 อุณหภูมิที่ระดับสูงจะมีผลต่อการลดปริมาณลิโมนีนมากกว่าอุณหภูมิต่ำ

5.3 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บผลมะนาวทั้งก่อนหรือหลังการสัมผัสเอทธิลีนเนื่องจากลักษณะปรากฏสีผิวของเปลือกชั้นนอก ปริมาณกรดซิตริก pH ของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix) และนาริงจินมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และปริมาณลิโมนีนลดลงประมาณร้อยละ 71-75 หลังจากเก็บไว้ประมาณ 1 เดือน

6.เอทธิลีนมีผลต่อการลดลิโมนีนของมะนาวทุกส่วนได้แก่ บริเวณเปลือกชั้นนอก เม็ด และน้ำมะนาว



ข้อเสนอแนะ

ในการเก็บผลมะนาวที่อุณหภูมิ 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส หากมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณลิโมนินจะลดลงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ แต่ระยะเวลาในการเก็บผลมะนาวจะสั้นลง เนื่องจาก สีมิวจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง และความเต่งจะลดลงจากการสูญเสียน้ำให้กับ บรรยากาศภายนอกทำให้สามารถเก็บผลมะนาวได้เพียง 1 อาทิตย์เท่านั้น เพราะฉะนั้นหากนำวิธีการเก็บมะนาวในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere storage) โดยเก็บในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มชนิดโพลีเอทิลีนจะสามารถลดการสูญเสียสีเขียวที่ผิวและลดการสูญเสีย น้ำ และสามารถเก็บได้นานยิ่งขึ้น และควรศึกษาผลของเอทิลีนภายในถุงที่อาจจะทำให้ความขมลดลงโดยไม่ต้องใช้เอทิลีนจากภายนอก



บรรณานุกรม

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและผลไม้**. ภาควิชาพืชสวนคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน . กรุงเทพฯ. 396 น.
- จิรา ณ หนองคาย. 2531. **เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้ และดอกไม้**. สำนักพิมพ์แมส พับลิชชิง. กรุงเทพฯ. 272 น.
- ชาญชัย โอฆชล และ พนาไพร งามศรี. 2535. "เครื่องเก็บรักษามะนาว". ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี : 55 หน้า
- ณัฏฐา เลานกุลจิตต์ ปราณี่ อ่านเปรื่อง และสุหรัย สายศรี. 2540. "การลดความขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานโดยใช้เปลือกไซ." วารสารอาหาร. 27(3) : 175-190
- นุฏท เพ็ญพ่ายพ. 2531. ผลของปัจจัยทางเคมีและกายภาพต่อคุณภาพของผลมะนาวที่เก็บแช่เย็นในบรรยากาศดัดแปลง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์. 96หน้า
- ทวีศักดิ์ ด่วงทอง .2537. **เอกสารคำแนะนำที่ 66 เรื่อง มะนาว**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตร แห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ : 18 หน้า
- บุศราภา ลีละวัฒน์ และอรุณี เพียรทวีรัชต์. 2533. "การลดความขมเนื่องจากนาริงจีนในน้ำส้มเขียวหวานโดยเอนไซม์" โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ จุฬาลงกรณ์.
- สุชาดา ไชยสวัสดิ์ วลัยพร เอี่ยมภาสิต นาตรถยา ชมนารถ และสรเสกข์ กุลมัย. 2540. "การศึกษาการลดความขมของมะนาวโดยใช้วัสดุเจือปน" เสนอต่อที่ประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23 (วทท. 23).

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์. 2521. "การศึกษาปริมาณลิโมนินและผลของอากาศในช่องว่างใน
ขวดเก็บของน้ำมะนาวถนอม" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์. 129 หน้า

ศุภกิจ แก้วถนอม. 2540 การปลูกมะนาว. สำนักพิมพ์ อักษรสยามการพิมพ์ กรุงเทพฯ

อรพิน ชัยประสพ. 2534. "การกำจัดรสขมในน้ำผลไม้จากพืชตระกูลส้ม." วารสารอาหาร.
21(2) : 87-92

อนุกุล เต็มประเสริฐ. 2525. "การเก็บรักษามะนาวในถุงพลาสติก." ปัญหาพิเศษปริญญาตรี
ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉรา ปิติปัญญากุล. 2532. "เซลล์ลิโมนินที่ตรงรูปสำหรับการลดความขมของน้ำมะนาวถนอม."
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ
อาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 95 หน้า

Albach, R.F., Redman, G.H. and Lime, B.J. 1981. "Limonon content of juice from Marrs
and Hamlin orange." J. Agric. Food Chem. 29: 313-315

AOAC.1995."Official Methods of Analysis" 14 th ed Association of official Analytical
Chemists. Chemists. Washington, D.C.

Barmore, C.R., Fish, J.F., Fellers, P.J., and Rouseff, R.L. 1986. "Reduction of bitterness and
tartness in grapefruit juice with florasil." J. Food Sci. 51:415-416

Bennett, R.D. 1971. "Acidic limonoids of grapefruit seed." Phytochemistry. 10 : 3065-
3068

Cecilia. A.M. and Richard, L.M. 1983. " Distribution of limonin during the growth and
development of leaves and branches of *Citrus paradis*." J. Agric. Food Chem.
31 : 319-325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cecilia, A.M. and Richard, L.M. 1997. " Three – Dimensional distribution of Limonin, limonoate A- ring monolactone ,and Naringin in the fruit tissues of three varieties of *Citrus paradisi*." J. Agr. Food Chem. 45 : 2876-2883
- Chandler, B.V. 1979. "New solvent gel forms of cellulose esters for debittering citrus juice." J.Sci.Food Agric. 30: 825-832
- Chandler, B.V., Kefford, J.F. and Ziemelis, G. 1968. "Removal of limonin for bitter orange juice ." J. Sci. Food Agric. 19: 83-86
- Datta ,S. and Nicholas, H.J. 1968 "Incorporation of mevalonic acid –2- ^{14}C in the triterpene Limonin." Phytochemistry 7: 955-956
- Davis,W.B. 1947. "Determination of flavanones in citrus fruits" Anal chem. 19:476-478
- Dominic W.S.Wong .1989. Mechanism and theory in food chemistry. Published by Van Nostrand Reinhold ., New York.
- Guadagni,D.C.,Maier,V.P. and Turmbaugh J.G.1974 A "Some factors affecting sensory thresholds and relative bitterness of limonin and naringin." J. Sci.Food Agric. 25:1199-1205
- Habelt,K. and pitiner, F.1983. " A rapid method for the determination of Naringin, Prunin and Naringin applied to the assay of Naringinase." Analytical Biochemistry. 134:393
- Hasegawa,S.,King,A.D.,King, Jr.1983."A species of bacterium-producing constitutive enzyme for limonoid metabolism." J. Agric.Food Chem. 31: 807-809

Jungsakulruijirek,S. 1997. "Limonin in Thai Tangerine (*Citrus reticulata*, Blanco) in relation to reduction of juice bitterness." Dissertation , Asia Institute of Tecnology,Bangkok,Thailand.

Johnson,R.L.and Chandler,B.V. 1982." Reduction of bitterness and aacidity in grapefruit juice by adsorptive process." J. Sci. Food Agric. 33:287-293

Kasemsuksakul, N.1989. "Effect of fruit Maturity, storage and Processing on bitterness and quality of Tangerine Juice" M.Sc. thesis, Asia Institute of Tecnology,Bangkok,Thailand.

Kefford,J.F.1959. "The chemical constituents of citrus fruits." Adv. Food Res. 9 : 285-372

Kefford,J.F.,and Chandler,B.V. 1970. "The chemical constituents of citrus fruits" *Advances in Food Research.*, Supplement 2 , C.O. Chichester (Mrak,E.M., and G.F. Stewart,eds.) Academic Press,New York.

Maier,V.P. and Grant, E.R. 1970. "Specific Thin- layer Chromatophaphy assay of Limonin a citrus bitter principle." J Agric. Food Chem. 18: 249-252

Maier V. P ; Brewster L.C. and Hsu A.C .1971. "Development of methods for producing nonbitter navel orange juice." *Citrograph.* 56 : 351-375

Maier V. P ; Brewster L.C. and Hsu A.C .1973. " Ethylene – Accelerated limonoid metabolism in citrus fruits : A Process for reducing juice bitterness" *J.Agric. Food Chem.* 21 (3) : 490-495

Maier, V.P.,Bennett, R.D.,and Hasegawa,S. 1977. "Limonin and other limonoids." *Citrus Sci .and Tech.* (Nagy,S.,P.E. Shwaw, and M.K. veldnuis,eds.) The AVI Publishing .,Westsport,Conn. 355-382p

- Maier, V.P., Hasegawa, S., Bennett, R.D. and Echol, L.C. 1980. "Limonin and limonoids chemistry, biochemistry and juice bitterness." *ACS Symposium Series*. 143:63-82
- McIntosh, C.A., Mansell, R.L. and Barros, S. 1987. "Relationship between Limonin concentration and Naringin concentration in commercial single strength Juice." *J. of Food Sci.* 52 :1734
- Pearson, D. 1976. "Chemical analysis of food" 6th ed. Chemical Publishing Co., Inc. New York.
- Rouseff, R.L. and Mansell, R.L. 1982. "Comparison of HPLC and RIA limonin values from commercial grapefruit juice." *Processing of the Florida state Hort. Society*. 95:245-252
- Sakamoto, K., Inoue, A., Iyama, M. 1985. "Effect of high temperature storage on the content of limonin and naringin in navel orange and hassaku." *Bulletin of Hiroshima Prefectural Food*. 17: 41-44
- Salunkhe, D.K., and Desai, B.B. 1984. *Postharvest biotechnology of fruit vol. I* Boca Raton, Florida :CRC Press
- Shaw, P.E. and Wilson, C.W. 1983. "Debittering citrus juice with β -cyclodextrin polymer." *J. Food Sci.* 48: 646-647
- Shaw, P.E., Tatum, J.H. and Wilson, C.W. 1984. "Improved of navel orange and grapefruit juice by removal of bitter component with β -cyclodextrin polymer." *J. Agric. Food Chem.* 32: 832-836
- Ting, S.V., and Rouseff, R.L. 1980. "Citrus fruit and their products : Analysis and technology." New York : Mercel Dekker.

Tressler, D.K. and Joslyn, M.A. 1961 "Fruit and Vegetable juice processing technology."
1st ed., AVI Publ. Co., Westport Connecticut.

Vak, B. and Litshitz, A. 1981. "Debittering of orange juice by bacteria which degrade
limonin." J.Agric.Food Chem. 29:1258-1261

Wagner, C.J., Wilson, C.W. and Shaw, P.E. 1988 "Reduction of grapefruit bitter component
in a fluidized β -cyclodextrin polymer bed." J. Food Sci. 53: 516-518

Wilson, K.W., and Crutchfield, C.A. 1968. "Spectrophotometric determination of limonin
in orange Juice." J.Agric .Food Chem. 16: 118-124





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีการเตรียมตัวอย่างจากส่วนประกอบต่างๆ ของผลมะนาว(McIntosh *et al.* ,1982)

- 1 แยกส่วนเปลือกชั้นนอก ชั้นใน เนื้อเยื่อ เม็ด และน้ำ
- 2 บดแต่ส่วนให้ละเอียดด้วยเครื่องบด
3. ชั่ง ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม
4. เติม 5 ml 0.1 M Tri – HCl Buffer pH 8.0
5. ตั้ง Water bath 30 นาที
6. บดให้แหลกด้วย glass rod
7. เติม 5 ml 0.1 M Tri – HCl Buffer pH 8.0
8. ตั้ง Water bath 30 นาที
9. ทำให้เย็น ปรับปริมาตร
- 10.นำไปวิเคราะห์หาปริมาณลิโมนินและนาริงจิน

2. การวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาว

โดยวิธีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (VAKS และ LITSHITZ, 1981)

หลักการ : - สารที่ทำให้เกิดความขมของน้ำมะนาวส่วนใหญ่เกิดจากลิโมนิน (LIMONIN) ซึ่งจะเกิดในช่วงของการคั้นน้ำมะนาวจากผลสด และพบว่าปริมาณลิโมนินจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะขึ้นได้ช้าในที่ๆ มีอุณหภูมิต่ำ (4 °C) LIMONIN จะถูกสกัดออกมาโดยใช้ CHLOROFORM ต่อจากนั้นจึงทำการระเหยเพื่อให้ VOLATILE OIL ตัวอื่นสลายไปเหลือ LIMONIN ซึ่งจะนำมอละลายใน CHLOROFORM แล้วทำการเปลี่ยนรูปให้เป็นเกลือโซเดียม ก่อนที่จะไปทำปฏิกิริยากับ 4 –(DIMETHYL AMINO) BENZALDEHYDE ใน ACETIC ACID และ PERCHLORIC ACID ให้ได้สารสีแดง ซึ่งนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 503 นาโนเมตร แล้วนำค่าของปริมาณลิโมนินจากกราฟมาตรฐาน

2.1 วิธีทำกราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณลิโมนิน (VAKS และ LITSHITZ, 1981)

ซึ่งสารลิโมนินบริสุทธิ์ 0.0022 กรัม เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม 22 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลายนี้มาดังนี้

- 0.1 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.9 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 10 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.2 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.8 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 20 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.3 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.7 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 30 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.4 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.6 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 40 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.5 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.5 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 50 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.6 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.4 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 60 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.7 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.3 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 70 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.8 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.2 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 80 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.9 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.1 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 90 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร
- 0.10 มิลลิลิตร + คลอโรฟอร์ม 9.0 มิลลิลิตร = ลิโมนิน 100 ไมโครกรัม / 10 มิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายดังกล่าวมาตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร เติมคลอโรฟอร์มตัวอย่างละ 9 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลายนี้มาตัวอย่างละ 3 มิลลิลิตร เติม reagent * 4.5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer ทั้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นปิเปตสารละลายมีสีขึ้นบนนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้คูณด้วยแฟกเตอร์ 10

2.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินในตัวอย่าง

1. ตัวอย่างนำม่นาวที่เขย่าให้เข้ากันดีมา 1 ml ใส่ใน SCREW CAP TUBE
2. สกัดด้วยคลอโรฟอร์ม 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี
3. ทำ BLANK ควบคู่กันไปโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง ในปริมาณที่เท่ากัน
4. นำ BLANK และตัวอย่างไปทำการสกัดโดยใช้เครื่องเขย่าที่ 200 RPM 40 นาที
5. นำ BLANK และตัวอย่างมาทำการแยกเอาชั้นของคลอโรฟอร์มออกใส่ SCREW CAP TUBE อันใหม่
6. นำชั้นของคลอโรฟอร์มไประเหยให้แห้งภายใต้สูญญากาศ (ROTARY EVAPORATOR) หรืออาจใช้ STEAM BATH ที่ใส่ไว้ใน HOOD
7. ละลายสารที่ได้จากการระเหยด้วยคลอโรฟอร์ม 3 มิลลิลิตร ต่อจากนั้นเติม

2 M NaOH 50 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน เพื่อเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาให้เป็นเกลือโซเดียม และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทั้งให้แยกชั้น ดูดสารชั้นบนซึ่งเป็นส่วนของน้ำและ NaOH ที่เกินพอออกทิ้ง

8. นำส่วนของคลอโรฟอร์มไปทำปฏิกิริยากับ LIMONIN REAGENT โดยใช้ REAGENT 1.5 มิลลิลิตร ต่อ คลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน โดยใช้เครื่อง VERTEX MIXER ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

9. ดูดส่วนของสารชั้นบนที่มีสี นำไปวัดหาค่า OD ที่มีความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร แล้วนำค่าของ OD ที่อ่านได้ ไปคำนวณหาค่าของปริมาณลิโมนินจากกราฟมาตรฐาน (STANDARD CURVE)

กรณีนี้ถ้าจะนำทำปฏิกิริยากับเอนไซม์แล้วต้องมีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเป็นสารพวกเกลือโซเดียม ซึ่งทำได้โดยการเติม 2 M NaOH และน้ำกลั่นลงในสารละลายที่ได้จากการระเหยแล้วละลายในคลอโรฟอร์ม นำไปเขย่า จากนั้นดูดสารชั้นบนออกแล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยากับ reagent * แล้ววัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร

reagent * ประกอบด้วย

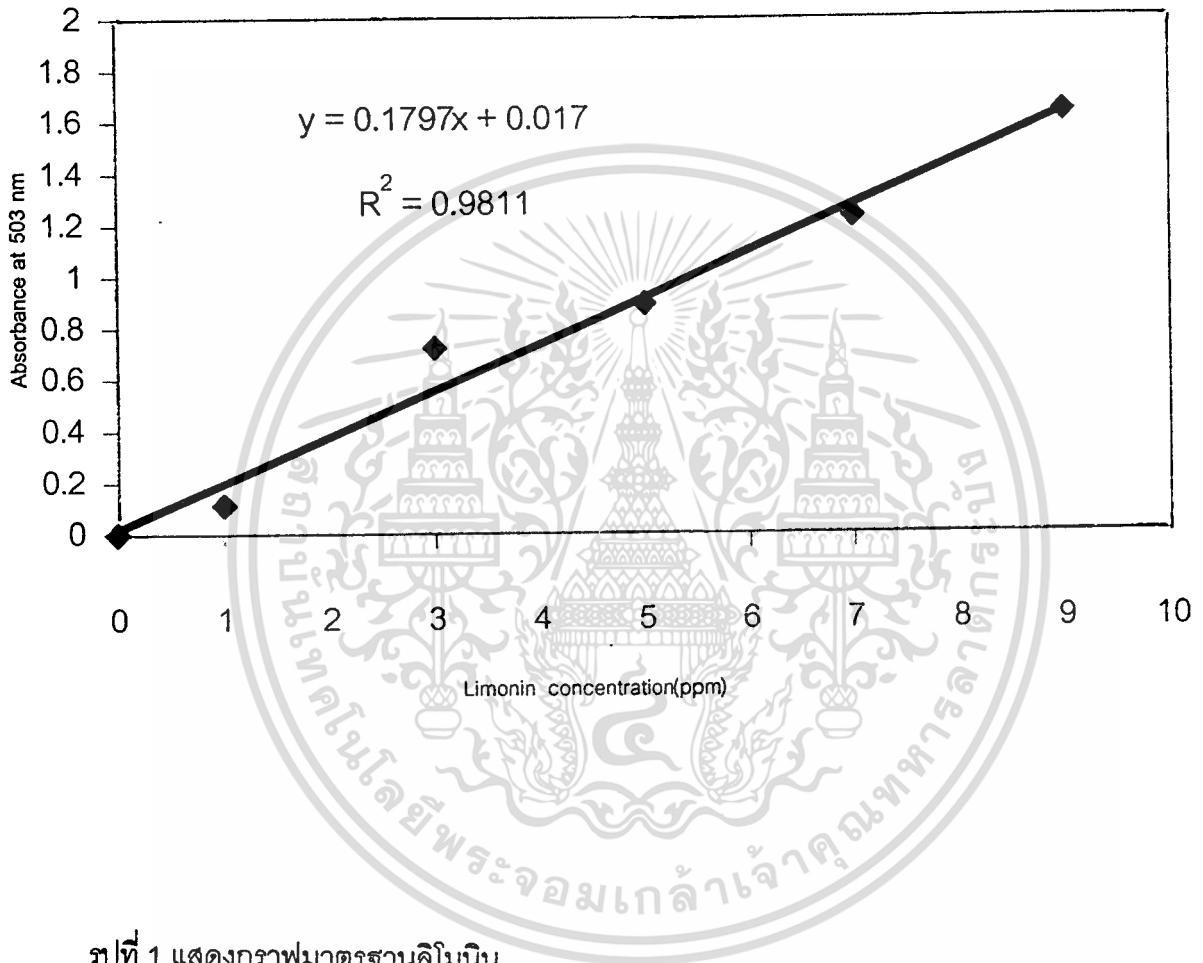
1. 4-(DIMETHYL AMINO) BENZALDEHYDE 0.1 กรัม
2. ACETIC ACID 3 มิลลิลิตร
3. 70 % PERCHLORIC ACID 2.4 มิลลิลิตร

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณลิโมนิน (ไมโครกรัม)} = \text{OD} \times 10^2$$

$$\text{ปริมาณลิโมนิน (mg/L)} = \frac{\text{ไมโครกรัมลิโมนิน}}{\text{DILUTION}}$$

DILUTION



รูปที่ 1 แสดงกราฟมาตรฐานลิโมนิน



1. การวิเคราะห์ปริมาณนาริงจินในน้ำมะนาว

โดยวิธีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Davis Test , 1947)

1.1 วิธีทำกราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณนาริงจิน

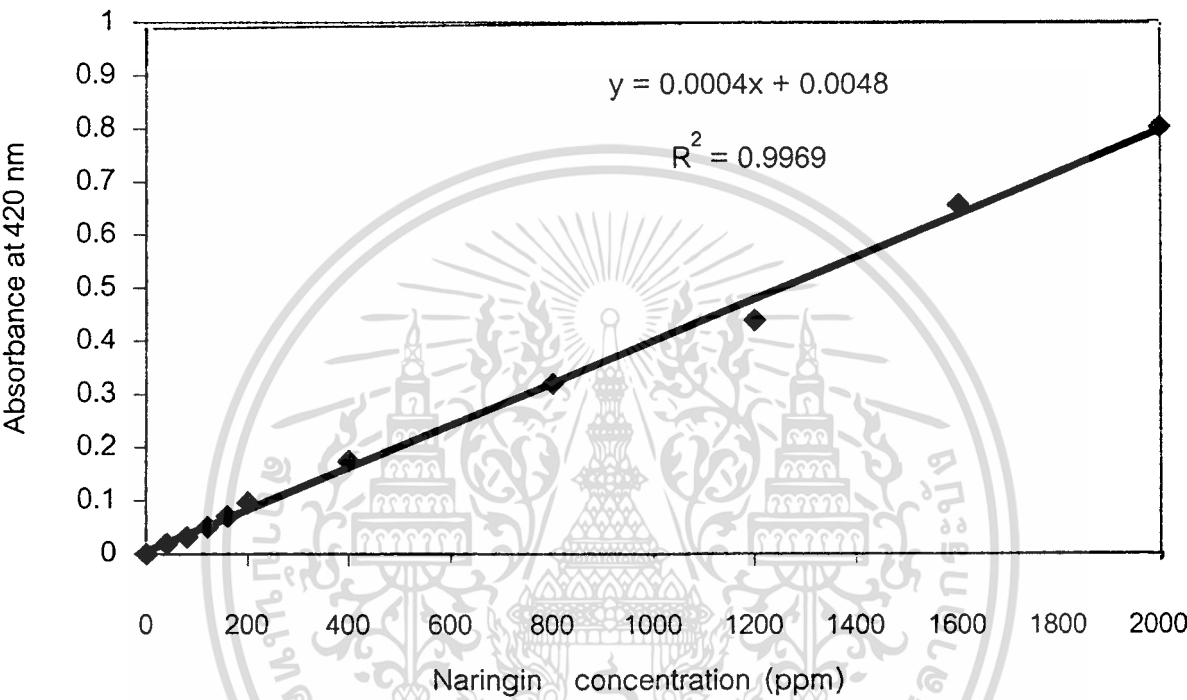
ชั่งสารนาริงจินบริสุทธิ์ 200 มิลลิกรัม เติมน้ำอุ่นเล็กน้อยเพื่อให้สารนาริงจินละลาย จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลายดังนี้

1 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 99 มิลลิลิตร = นาริงจิน	2 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
2 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 98 มิลลิลิตร = นาริงจิน	4 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
3 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 97 มิลลิลิตร = นาริงจิน	6 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
4 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 96 มิลลิลิตร = นาริงจิน	8 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
5 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 95 มิลลิลิตร = นาริงจิน	10 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
6 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 94 มิลลิลิตร = นาริงจิน	12 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
7 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 93 มิลลิลิตร = นาริงจิน	14 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
8 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 92 มิลลิลิตร = นาริงจิน	16 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
9 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 91 มิลลิลิตร = นาริงจิน	18 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร
10 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร = นาริงจิน	20 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสาร diethylene glycol 90 % ใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 10 มิลลิลิตร จำนวน 5 หลอด เติมสารละลายมาตรฐานนาริงจินที่เตรียมได้แต่ละความเข้มข้นลงไปหลอดละ 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นเติม NaOH 4N ลงไปอีกหลอดละ 0.1 มิลลิลิตร เขย่าผสมกลับป้ กลับมา ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อให้เกิดสารละลายสีเหลือง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

1.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณนาริงจินในตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างไป centrifuge ประมาณ 10 นาที เพื่อแยกส่วนตะกอน และส่วนใส
2. นำสารละลายสาร diethylene glycol 90 % ใส่ในหลอดทดลอง 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลาย NaOH 4N 0.1 มิลลิลิตร
3. เขย่าผสมกลับป้กลับมา ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อให้เกิดสารละลายสีเหลือง
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer
5. คำนวณหาค่าของปริมาณนาริงจินจากกราฟมาตรฐาน (STANDARD CURVE)



รูปที่ 2 แสดงกราฟมาตรฐานนาริงจิน



1. การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมด (A.O.A.C., 1995)

สารเคมี

1. NaOH 0.1 N

โดยชั่ง NaOH 40.0 กรัม ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่น (ที่ต้มจนเดือดเพื่อไล่ก๊าซ CO_2 แล้วทิ้งไว้เย็น) จนปริมาตรครบ 1 ลิตร จะได้สารละลาย NaOH 1 N ทำการเจือจางโดยดูดมาจำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย NaOH 0.1 N

2. Standard potassium hydrogen phthalate ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)

อบ $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 1 วัน นำออกมาทึ่งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ให้น้ำหนักอยู่ในช่วง 0.3-0.35 กรัม ทำ 3 ซ้ำ

การหา Normality ของ NaOH

นำ $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วใส่ในฟลาสก์ที่มีน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตกับ NaOH 0.1 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

$$N \text{ NaOH} = \frac{\text{กรัมของ } \text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \times 1000}{\text{มิลลิลิตรของ NaOH} \times 204.22}$$

การหาเปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมด

นำตัวอย่างน้ำมันาว 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสก์ที่มีน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร บรรจุอยู่ นำไปไทเทรตกับ 0.1 N NaOH โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ บันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ แล้วคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมดโดยคิดในรูปของกรดซิดริกตามสูตร

$$\begin{aligned} \text{กรดซิดริก} &= \frac{\text{มิลลิลิตรของ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times 100 \times 64}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่าง} \times 1000} \\ (\text{กรัมต่อ } 100 \text{ มิลลิลิตร}) & \end{aligned}$$



1. การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวด้วยวิธี Photometric (Person,1976)

เตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายกรดออกซาลิก 0.4 % โดยชั่งกรดออกซาลิก 4 กรัมละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาณเป็น 1 ลิตร
2. เตรียมสารละลาย 2,6 - ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล 0.0012 % โดยชั่ง 2,6 - ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล 0.0012 กรัมละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.1 % โดยชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.1 กรัม ละลายในสารละลายกรดออกซาลิก 0.4 % จนมีปริมาณเป็น 100 มิลลิลิตร
4. เตรียมสารละลายกรดแอสคอร์บิก 1,2,3 และ 4 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.1 % มา 1,2,3 และ 4 มิลลิกรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดออกซาลิก 0.4 % ให้เป็น 100 มิลลิลิตร

สร้างโค้งคำนวณ (Calibration curve) โดยการนำสารละลายกรดแอสคอร์บิกจากข้อ 4 มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ตามขั้นตอนดังนี้

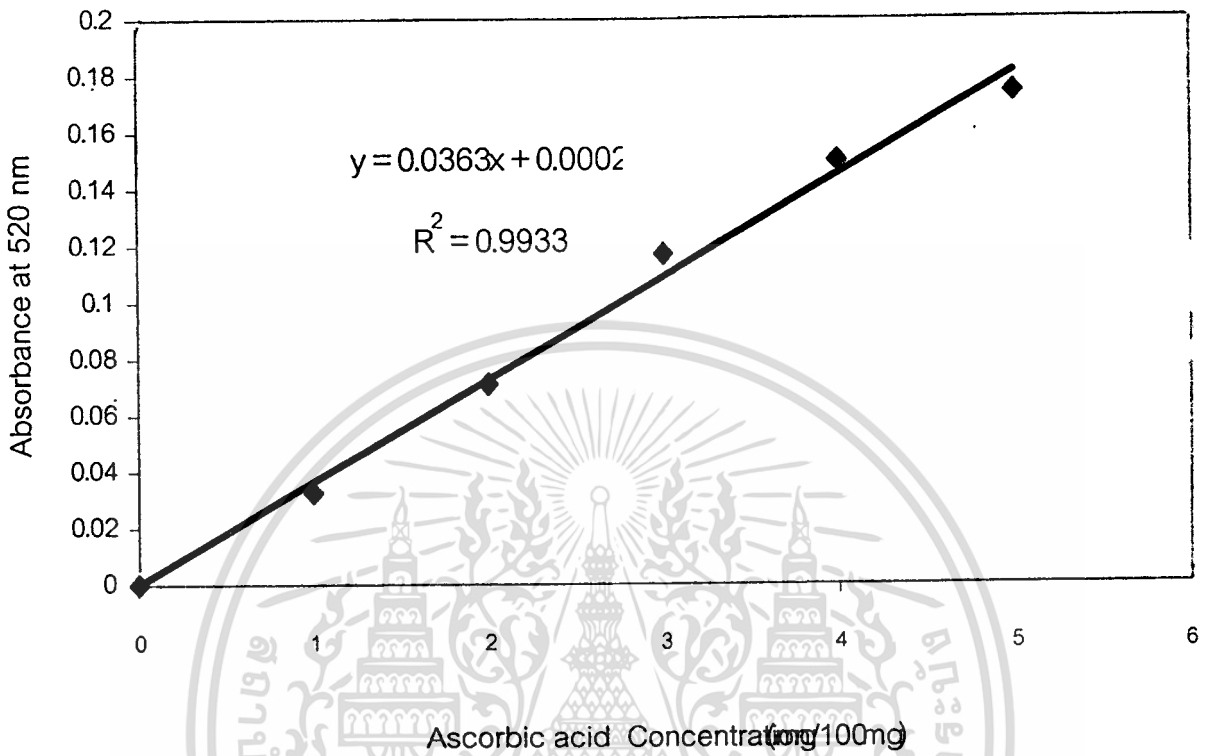
- (ก) ปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับศูนย์ด้วยน้ำกลั่น
- (ข) นำสารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.4 % 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 2,6 - ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล 0.0012 % 9 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงภายในเวลา 15 วินาที อ่านค่าการดูดกลืนแสงเป็นค่า L_1 (blank)
- (ค) นำสารละลายกรดแอสคอร์บิก 1,2,3 และ 4 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร มา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร ใช้ปรับค่าการดูดกลืนแสงเป็นศูนย์ ตามลำดับ
- (ง) นำสารละลายกรดแอสคอร์บิก 1,2,3 และ 4 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร มา 1 มิลลิลิตร เติม 2,6 - ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล 0.0012 % 9 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงภายในเวลา 15 วินาที อ่านค่าการดูดกลืนแสงเป็นค่า L_1, L_2, L_3, L_4 , และ L_5 , ตามลำดับ ใช้ปรับค่าการดูดกลืนแสงเป็นศูนย์ ตามข้อ 5.3

เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดแอสคอร์บิกซึ่งหักลบกับค่า L_1 แล้ว ($L_1 - L_2, L_1 - L_3, L_1 - L_4$, และ $L_1 - L_5$,) ตามลำดับ

วัดปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว

1. เจือจางน้ำมะนาว 10 เท่าด้วยสารละลายกรดออกซาลิก 0.4 %
2. น้ำมะนาวที่เจือจางแล้วมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร ปรับค่าการดูดกลืนแสงเป็นศูนย์
3. นำน้ำมะนาวที่เจือจางแล้วมา 1 มิลลิลิตรเติมสารละลายเดิม 2,6 – ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล 0.0012 % 9 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ภายในเวลา 15 วินาที อ่านค่าการดูดกลืนแสงเป็นค่า L_x
4. คำนวณ $L_1 - L_x$ แล้วนำไปอ่านค่าความเข้มข้นของวิตามินซีจากโค้งคำนวณและคูณค่าที่อ่านได้ด้วย 10 จะได้ค่าความเข้มข้นของวิตามินซีในน้ำมะนาวก่อนเจือจาง





รูปที่ 3 แสดงกราฟมาตรฐานวิตามินซี



ภาคผนวก จ

วิธีวิเคราะห์ค่ากรด-ด่าง (pH) และ Total Soluble Solid

1. การวิเคราะห์หาค่ากรดต่าง (pH)

หาค่าความเป็นกรดต่างโดยใช้เครื่อง pH meter ดังนี้

1. เปิดเครื่องเพื่อทำการ calibrate เครื่อง โดยใช้ standard Buffer pH 4 และ pH 7 ตามลำดับ
2. นำน้ำมะนาวตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ นำไปวัดด้วย pH meter อ่านค่าที่ได้จากเครื่อง จดบันทึก

2. การวิเคราะห์หาค่า TSS (Total Soluble Solid)

หาค่าTotal Soluble Solid โดยใช้ Hand Refractometer ดังนี้

1. เปิดเครื่องเพื่อทำการ calibrate เครื่อง โดยใช้น้ำกลั่นให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่ 0 brix
2. ใช้ Pasteur pipette ดูดตัวอย่างน้ำมะนาว 1-2 หยด หยดลงบน prism ของเครื่อง Hand Refractometer ที่เช็ดให้แห้งแล้ว
3. ปิด prism ให้สนิทแล้วอ่านค่าที่ได้ตาม Brix scale จดบันทึก





1. การเปลี่ยนสีผิวของผลมะนาว

การตรวจสอบสีผิวของมะนาวแล้วให้คะแนนตามระดับสี ดังนี้

เปอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิว	คะแนน
สีเหลืองปนอยู่น้อยกว่า 5 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมด	5
สีเหลืองปนอยู่ประมาณ 5-25 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมด	4
สีเหลืองปนอยู่ประมาณ 25-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด	3
สีเหลืองปนอยู่ประมาณ 50-75% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด	2
สีเหลืองปนอยู่มากกว่า 75% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด	1

2. การเหี่ยวของผลมะนาว

ประเมินความเหี่ยว โดยให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

ลักษณะ	คะแนน
ผลเต่งสด	5
ผลเหี่ยวเล็กน้อย	4
ผลเหี่ยวปานกลาง	3
ผลเหี่ยวมาก	2



ตารางที่ ข-1 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแต่ละส่วนของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้นต่อน้ำหนัก 1 ผล

ส่วนประกอบ		พันธุ์มะนาว	
		พันธุ์ไข่	พันธุ์แป้น
เปลือกชั้นนอก (กรัม) (flavedo)	ซ้ำ 1	4.928	4.6880
	ซ้ำ 2	4.4963	4.9774
	ซ้ำ 3	4.4413	4.8413
	ค่าเฉลี่ย	4.6219	4.8355
	SD	0.2665	0.1447
	CV	5.77	2.99
เปลือกชั้นใน (กรัม) (Albedo)	ซ้ำ 1	3.1261	4.0418
	ซ้ำ 2	3.1433	3.7684
	ซ้ำ 3	3.4232	3.6174
	ค่าเฉลี่ย	3.2309	3.8092
	SD	0.1668	0.2151
	CV	5.16	5.65
เนื้อเยื่อ (กรัม) (Segment membrane)	ซ้ำ 1	9.3683	11.7546
	ซ้ำ 2	9.6871	11.5792
	ซ้ำ 3	9.6062	11.0597
	ค่าเฉลี่ย	9.5538	11.4645
	SD	0.1657	0.3614
	CV	1.73	3.15
เมล็ด (กรัม) (Seed)	ซ้ำ 1	1.5765	1.5787
	ซ้ำ 2	1.5613	1.5625
	ซ้ำ 3	1.7000	1.4275
	ค่าเฉลี่ย	1.6126	1.5229
	SD	0.0760	0.0830
	CV	4.71	5.45
น้ำ (มิลลิลิตร) (Juice sacs)	ซ้ำ 1	19.0926	22.3322
	ซ้ำ 2	18.0819	22.4726
	ซ้ำ 3	18.6716	21.8298
	ค่าเฉลี่ย	18.6153	22.2115
	SD	0.5076	0.3379
	CV	2.73	1.52
ทั้งผล (กรัม) (Whole fruit)	ซ้ำ 1	38.0916	44.3720
	ซ้ำ 2	36.9700	44.3602
	ซ้ำ 3	37.8424	42.7757
	ค่าเฉลี่ย	37.6347	43.8360
	SD	0.5889	0.9182
	CV	1.56	2.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณลิโมนิน (ppm) แต่ละส่วนของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น

ส่วนประกอบ		พันธุ์มะนาว	
		พันธุ์ไข่	พันธุ์แป้น
เปลือกชั้นนอก (ppm) (flavedo)	ซ้ำ 1	7.9865	8.3446
	ซ้ำ 2	8.0993	8.5027
	ซ้ำ 3	8.0901	8.8196
	ค่าเฉลี่ย	8.0586	8.8196
	SD	0.06263	0.2418
	CV	0.77	2.74
เปลือกชั้นใน (ppm) (Albedo)	ซ้ำ 1	9.4086	15.3671
	ซ้ำ 2	9.0199	17.0089
	ซ้ำ 3	9.5035	14.7609
	ค่าเฉลี่ย	9.3106	15.7123
	SD	0.2562	1.1630
	CV	2.75	7.40
เนื้อเยื่อ (ppm) (Segment membrane)	ซ้ำ 1	15.7790	17.8054
	ซ้ำ 2	15.5545	19.5171
	ซ้ำ 3	17.1257	19.3402
	ค่าเฉลี่ย	16.1530	18.8875
	SD	0.8497	0.9412
	CV	5.26	4.98
เมล็ด (ppm) (Seed)	ซ้ำ 1	167.5819	191.9601
	ซ้ำ 2	164.9722	187.8399
	ซ้ำ 3	163.8286	188.9285
	ค่าเฉลี่ย	165.4600	189.5761
	SD	1.9237	2.1350
	CV	1.16	1.13
น้ำ (ppm) (Juice sacs)	ซ้ำ 1	4.6509	6.1077
	ซ้ำ 2	4.8464	6.0699
	ซ้ำ 3	5.2042	5.8217
	ค่าเฉลี่ย	4.9005	5.9997
	SD	0.2805	0.1553
	CV	5.73	2.59

ตารางที่ ช-3 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณนาริงจิง (ppm) แต่ละส่วนของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์
แป้น

ส่วนประกอบ		พันธุ์มะนาว	
		พันธุ์ไข่	พันธุ์แป้น
เปลือกชั้นนอก (ppm) (flavedo)	ซ้ำ 1	3010.5914	3211.9335
	ซ้ำ 2	2879.1797	3447.7224
	ซ้ำ 3	2727.0758	3558.4759
	ค่าเฉลี่ย	2872.2823	3406.0439
	SD	141.8835	176.9907
	CV	4.94	5.20
เปลือกชั้นใน (ppm) (Albedo)	ซ้ำ 1	3576.7097	4582.8856
	ซ้ำ 2	3200.9741	4481.4352
	ซ้ำ 3	3020.9387	5305.9372
	ค่าเฉลี่ย	3266.2075	4790.0860
	SD	283.5699	449.6108
	CV	8.68	9.39
เนื้อเยื่อ (ppm) (Segment membrane)	ซ้ำ 1	709.5434	1454.6295
	ซ้ำ 2	755.0410	1304.1997
	ซ้ำ 3	826.6925	1306.1018
	ค่าเฉลี่ย	763.7589	1354.9770
	SD	59.0591	86.3068
	CV	7.73	6.37
เมล็ด (ppm) (Seed)	ซ้ำ 1	1641.0117	1508.1895
	ซ้ำ 2	1640.9080	1763.3283
	ซ้ำ 3	1753.6068	1570.0147
	ค่าเฉลี่ย	1678.5088	1613.8441
	SD	65.0367	133.0966
	CV	3.87	8.25
น้ำ (ppm) (Juice sacs)	ซ้ำ 1	132.6000	150.2000
	ซ้ำ 2	128.0000	147.7000
	ซ้ำ 3	128.1000	148.8000
	ค่าเฉลี่ย	129.5666	148.9000
	SD	2.62741	1.2529
	CV	2.03	0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 แสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของผลมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น

ส่วนประกอบ		พันธุ์มะนาว	
		พันธุ์ไข่	พันธุ์แป้น
ปริมาณลิโมนิน (ppm)	ซ้ำ 1	4.6509	6.1077
	ซ้ำ 2	4.8464	6.0699
	ซ้ำ 3	5.2042	5.8217
	ค่าเฉลี่ย	4.9005	5.9997
	SD	0.2805	0.1553
	CV	5.73	2.59
ปริมาณนาริงจิน (ppm)	ซ้ำ 1	132.6000	150.2000
	ซ้ำ 2	128.0000	147.7000
	ซ้ำ 3	128.1000	148.8000
	ค่าเฉลี่ย	129.5666	148.9000
	SD	2.62741	1.2529
	CV	2.03	0.84
กรดแอสคอร์บิก (มก/ 100 มก)	ซ้ำ 1	46.7050	47.1700
	ซ้ำ 2	46.6250	44.7100
	ซ้ำ 3	46.1550	44.7850
	ค่าเฉลี่ย	46.4950	45.5550
	SD	0.2971	1.3991
	CV	0.64	3.07
กรดซิตริก (เปอร์เซ็นต์)	ซ้ำ 1	7.067	6.730
	ซ้ำ 2	7.067	6.853
	ซ้ำ 3	7.067	6.516
	ค่าเฉลี่ย	7.067	6.700
	SD	0	0.1705
	CV	0	2.54
pH	ซ้ำ 1	2.815	2.830
	ซ้ำ 2	2.85	2.840
	ซ้ำ 3	2.82	2.870
	ค่าเฉลี่ย	2.82	2.840
	SD	0.0189	0.0208
	CV	0.67	0.730
° Brix	ซ้ำ 1	7.5	7
	ซ้ำ 2	7.5	7
	ซ้ำ 3	7.5	7
	ค่าเฉลี่ย	7.5	7
	SD	0	0
	CV	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-5 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงนาริงจีนและปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาว

เวลา (นาที)	นาริงจีน		ลิโมนิน	
	30 °C	5 °C	30 °C	5 °C
0	150.6	150.6	1.84	1.84
30	157.6	150.2	1.91	1.86
60	158.8	144.4	1.93	1.85
90	154.0	143.1	2.00	1.84
120	152.4	141.4	2.04	1.88
150	151.4	142.4	2.06	1.85
180	154.2	142.2	2.17	1.85
210	152.8	143.1	2.28	1.86
240	154.0	142.6	2.45	1.82
270	152.4	142.6	2.57	1.82
300	154.8	143.4	2.72	1.85
330	155.2	143.1	2.99	1.84

ตารางที่ ช-6 แสดงปริมาณลิโมนิน (ppm) ในน้ำมะนาวพันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับเอทิลีนในระดับต่างๆ

เวลา (ช.ม.)	ปริมาณลิโมนินที่ลดลง (ppm)				
	0	5	20	100	200
เอทิลีน(ppm)					
0	1.80ab	1.95a	1.95a	2.92a	2.13a
1	1.81a	1.43b	1.10b	1.62b	1.20b
2	1.76abc	1.26c	0.96c	1.50c	1.10c
3	1.73abc	1.19d	0.85d	1.36d	1.05ab
4	1.71bc	1.15d	0.80de	1.30d	0.99b
5	1.70c	1.17d	0.74e	1.24e	0.90c

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ(p<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-7 แสดงร้อยละของการลดลงของระดับลิโมนินในน้ำมะนาวพันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับเอทิลีนในระดับต่างๆ

เวลา (ช.ม.) เอทิลีน(ppm)	ร้อยละของปริมาณลิโมนินที่ลดลง				
	0	5	20	100	200
0	0	0	0	0	0
1	0	26.67	43.59	44.52	43.66
2	2.22	35.38	50.76	48.63	48.35
3	3.89	38.97	56.41	53.42	50.44
4	5.00	41.02	58.97	55.47	53.52
5	5.55	40.00	62.05	57.53	57.74

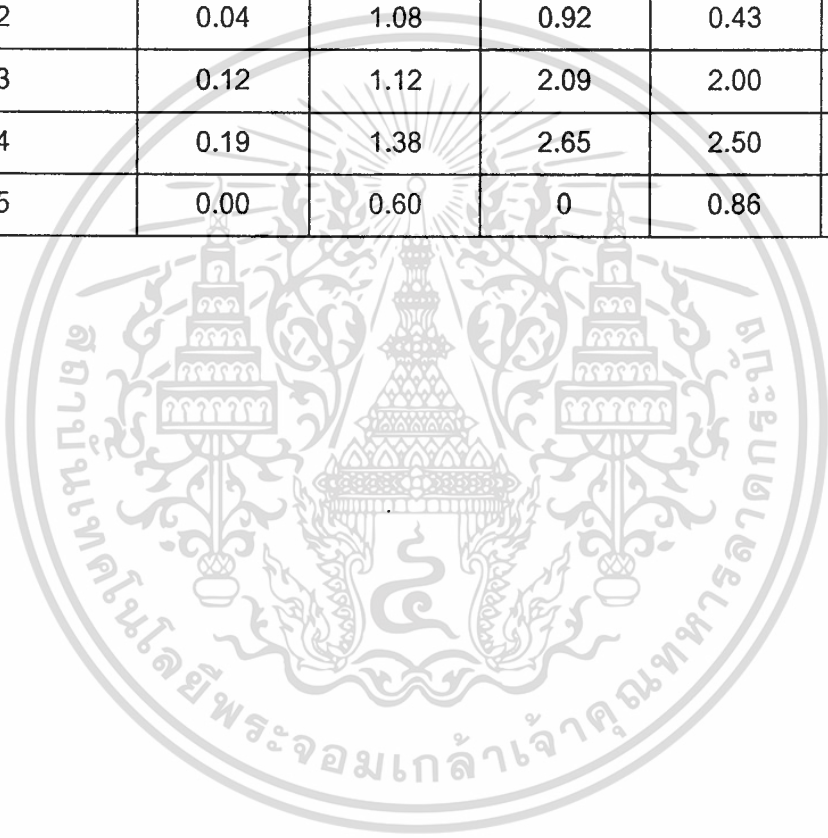
ตารางที่ ช-8 แสดงปริมาณนาวิจิน (ppm) ในน้ำมะนาวพันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับเอทิลีนในระดับต่างๆ

เวลา (ช.ม.) เอทิลีน(ppm)	ปริมาณลิโมนินที่ลดลง (ppm)				
	0	5	20	100	200
0	170.33a	178.13b	178.13c	170.33ab	170.33a
1	170.53a	181.60a	203.20a	171.13a	169.47a
2	170.27a	176.20cd	176.50cd	169.60abc	167.80a
3	170.13a	176.13cd	174.40de	166.92abc	167.80a
4	170.00a	175.66d	173.40e	165.07c	168.26a
5	170.6a	177.06c	178.13c	168.86ab	169.80a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)

ตารางที่ ซ-9 แสดงร้อยละของการลดลงของระดับนาริงจินในน้ำมะนาวพันธุ์แป้นเมื่อสัมผัสกับ
เอทริลีนในระดับต่างๆ

เวลา (ซ.ม.) เอทริลีน(ppm)	ร้อยละของปริมาณนาริงจินที่ลดลง				
	0	5	20	100	200
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
2	0.04	1.08	0.92	0.43	1.49
3	0.12	1.12	2.09	2.00	1.21
4	0.19	1.38	2.65	2.50	0.93
5	0.00	0.60	0	0.86	0.31



ตารางที่ ซ-10 แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำมะนาว

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสตัวอย่างน้ำมะนาว แล้วบอกความแตกต่างในด้านกลิ่นที่ปรากฏของเอทิลีนระหว่างน้ำมะนาวสดที่ไม่ได้สัมผัสเอทิลีน กับ น้ำมะนาวสดที่มีการนำผลมะนาวไปสัมผัสเอทิลีน 20 ppm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากผู้ทดสอบ 20 ท่าน ดังนี้

ผู้ทดสอบ	ผลการทดสอบ
1	ไม่มีกลิ่น
2	ไม่มีกลิ่น
3	ไม่มีกลิ่น
4	ไม่มีกลิ่น
5	ไม่มีกลิ่น
6	ไม่มีกลิ่น
7	ไม่มีกลิ่น
8	ไม่มีกลิ่น
9	ไม่มีกลิ่น
10	ไม่มีกลิ่น
11	มีกลิ่นเล็กน้อย
12	ไม่มีกลิ่น
13	ไม่มีกลิ่น
14	ไม่มีกลิ่น
15	มีกลิ่นเล็กน้อย
16	ไม่มีกลิ่น
17	ไม่มีกลิ่น
18	ไม่มีกลิ่น
19	ไม่มีกลิ่น
20	ไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0066666	0.0066666	32.66*
Treatment (T)	2	10.3998125	5.1999125	25999.5*
Error (a)	2	0.0004083	0.0002041	
Day(D)	3	0.7867500	0.2622500	755.28*
TxD	6	0.1934500	0.0322458	92.87*
Error(b)	9	0.0031250	0.0003472	
Total	23	11.3902500		

*significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 2.56 ^{a*}	^b 1.09 ^a	^b 1.04 ^a	1.56
14	^a 2.55 ^a	^b 1.08 ^a	^b 1.05 ^a	1.56
22	^a 2.38 ^b	^b 0.97 ^b	^c 0.76 ^b	1.37
28	^a 1.85 ^c	^b 0.76 ^c	^b 0.76 ^b	1.12
T-ment	2.33	0.97	0.90	1.40

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 12 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณนาริงจินที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	4.5066666	4.5066666	0.98 ^{ns}
Treatment (T)	2	21.0000000	10.5000000	2.28 ^{ns}
Error (a)	2	9.1733333	4.5866666	
Day(D)	3	230.5799999	76.8599999	18.28*
TxD	6	18.6800000	3.1133333	< 1
Error(b)	9	37.8399999	4.2044444	
Total	23	321.7799999		

* = significant at 5 % level

ตารางที่ 13 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดแอสคอบิกที่เปลี่ยนแปลง
เมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0006000	0.0006000	0.0064 ^{ns}
Treatment (T)	2	7.2635583	3.6317791	38.88*
Error (a)	2	0.1867749	0.0933874	
Day(D)	3	647.3578333	215.7859444	6428.05*
TxD	6	5.6176416	0.9362736	27.89*
Error(b)	9	0.3021249	0.03356944	
Total	23	660.72896113		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^b 36.22 ^{a*}	^a 36.99 ^a	^{ab} 36.60 ^a	36.60
14	^a 34.44 ^b	^{ab} 34.61 ^b	^b 33.65 ^b	34.13
22	^b 29.81 ^c	^a 30.55 ^c	^c 27.62 ^c	29.33
28	^a 23.57 ^d	^a 23.28 ^d	^b 22.14 ^d	22.99
T-ment	31.01	31.28	30.00	30.76

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดซิตริกที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0016666	0.0016666	2.87 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.1800249	0.0900124	97.44*
Error (a)	2	0.0115833	0.0005791	
Day(D)	3	2.5876498	0.8625500	584.78*
TxD	6	0.0486750	0.0081125	5.50*
Error(b)	9	0.0132749	0.0014750	
Total	23	2.8324499		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^c 6.81 ^{a*}	^a 7.14 ^a	^b 6.96 ^a	6.97
14	^b 6.38 ^b	^a 6.57 ^b	^a 6.55 ^b	6.50
22	^b 6.11 ^c	^a 6.34 ^c	^a 6.34 ^c	6.26
28	^b 6.05 ^c	^a 6.11 ^d	^a 6.14 ^d	6.10
T-ment	6.34	6.54	6.50	6.46

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณ pH ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผลมะนาว
สัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0018375	0.0018375	0.97 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0006250	0.0003125	0.16 ^{ns}
Error (a)	2	0.0037750	0.0018875	
Day(D)	3	0.4177125	0.1392375	514.11*
TxD	6	0.0195750	0.0032625	12.05*
Error(b)	9	0.0024375	0.0002708	
Total	23	0.4459625		

*significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 2.25 ^c	^a 2.23 ^c	^a 2.20 ^c	2.22
14	^a 2.22 ^c	^a 2.21 ^c	^a 2.20 ^c	2.21
22	^a 2.35 ^b	^a 2.34 ^b	^a 2.43 ^b	2.37
28	^a 2.51 ^a	^a 2.59 ^a	^a 2.52 ^a	2.54
T-ment	2.33	2.34	2.33	2.33

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณ Brix ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวส้มผัสดอกหินในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0004166	0.0004166	0.14 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.1508333	0.0754166	25.85*
Error (a)	2	0.0058333	0.0029166	
Day(D)	3	3.7145833	1.2319444	594.33*
TxD	6	1.2791666	0.2194444	102.33*
Error(b)	9	0.0187500	0.0020833	
Total	23	3.8904165		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 7.00 ^c	^a 7.10 ^c	^a 7.00 ^b	7.03
14	^b 7.80 ^b	^a 8.00 ^b	^a 8.00 ^a	7.93
22	^b 8.00 ^a	^b 7.00 ^c	^a 8.00 ^a	7.67
28	^b 8.00 ^a	^a 8.15 ^a	^b 8.00 ^a	8.05
T-ment	7.70	7.56	7.75	7.67

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0014083	0.0014083	2.31 ^{ns}
Treatment (T)	2	6.1611166	3.0805583	5064.2*
Error (a)	2	0.0012166	0.0006083	
Day(D)	1	0.0154083	0.0154083	14.79*
TxD	2	0.0028166	0.0014083	1.35 ^{ns}
Error(b)	3	0.0031250	0.0010416	
Total	11	6.1850914		
*significant at 5 % level				
Multiple range analysis				
Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 2.50 ^a	^b 1.02 ^a	^b 1.00 ^a	1.51
14	^a 2.47 ^a	^b 0.91 ^a	^b 0.93 ^a	1.43
T-ment	2.48	0.97	0.96	1.47

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 18 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณนาริงจินที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
 มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	1.9199999	1.9199999	0.99 ^{ns}
Treatment (T)	2	3.0199999	1.5099999	0.78 ^{ns}
Error (a)	2	3.8600000	1.9300000	
Day(D)	1	34.4533333	37.4533333	12.85*
TxD	2	3.9266666	1.9633333	0.67 ^{ns}
Error(b)	3	8.7399999	2.9133333	
Total	11	58.9199999		

* = significant at 5 % level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดแอสคอบิกที่เปลี่ยนแปลง
เมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.4485333	0.4485333	20.56*
Treatment (T)	2	6.4789166	3.2393083	148.53*
Error (a)	2	0.0436166	0.0218083	
Day(D)	1	126.3603000	126.3603000	987.06*
TxD	2	16.0750499	8.0375249	66.88*
Error(b)	3	0.3840500	0.1280166	
Total	11	149.7901666		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 36.48 ^a *	^b 33.19 ^a	^a 36.40 ^a	35.46
14	^a 30.02 ^b	^a 29.83 ^b	^b 27.06 ^b	28.97
T-ment	33.25	31.65	31.73	32.21

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 20 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดซิตริกที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0006750	0.0006750	3.00 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0820500	0.0410250	182.4*
Error (a)	2	0.0004499	0.0002249	
Day(D)	1	0.7650750	0.7650750	784.69*
TxD	2	0.0274499	0.0137249	14.075*
Error(b)	3	0.0029249	0.0009750	
Total	11	0.8786250		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^b 6.78 ^{a*}	^a 6.99 ^a	^b 6.69 ^a	6.82
14	^a 6.35 ^b	^a 6.35 ^b	^b 6.25 ^b	6.32
T-ment	6.57	6.67	6.47	6.57

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณ pH ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผลมะนาว สัมผัสเอทริลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0006750	0.0006750	1.42 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0012166	0.0006083	1.28 ^{ns}
Error (a)	2	0.0009500	0.0004750	
Day(D)	1	0.0080083	0.0080083	106.77*
TxD	2	0.0072166	0.0036083	48.11*
Error(b)	3	0.0002250	0.0000750	
Total	11	0.0182916		

*significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 2.27 ^{a*}	^a 2.22 ^a	^a 2.19 ^a	2.22
14	^a 2.16 ^b	^a 2.16 ^b	^a 2.20 ^a	2.17
T-ment	2.21	2.18	2.19	2.20

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 22 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณ Brix ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0033333	0.0033333	1 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0466666	0.0233333	7 ^{ns}
Error (a)	2	0.0066666	0.0033333	
Day(D)	1	3.2033333	3.2033333	961*
TxD	2	0.0466666	0.0233333	7 ^{ns}
Error(b)	3	0.0100000	0.0033333	
Total	11	3.3166664		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 7.00 ^{b*}	^a 7.00 ^b	^a 7.00 ^b	7.00
14	^a 7.90 ^a	^a 8.20 ^a	^a 8.00 ^a	8.09
T-ment	7.45	7.60	7.50	7.52

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0000333	0.0000333	0.03 ^{ns}
Treatment (T)	2	4.6700666	2.3350333	2501.91*
Error (a)	2	0.0018666	0.0009000	
Day(D)	1	0.1008333	0.1008333	177.96*
TxD	2	0.0034666	0.0017333	3.05 ^{ns}
Error(b)	3	0.0017000	0.0005666	
Total	11	4.7779666		

*significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 2.22 ^a *	^b 0.83 ^a	^b 0.89 ^a	1.31
14	^a 1.99 ^b	^b 0.68 ^b	^b 0.72 ^b	1.13
T-ment	2.10	0.75	0.81	1.22

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 24 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณนาจีนที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.7499999	0.7499999	0.05 ^{ns}
Treatment (T)	2	7.9799999	3.9899999	0.297 ^{ns}
Error (a)	2	26.7800000	13.3900000	
Day(D)	1	114.0899999	114.0899999	21.81*
TxD	2	23.9266666	11.9633333	2.28 ^{ns}
Error(b)	3	15.6900000	5.2300000	
Total	11	189.2099999		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	D-mean
7	^a 157.50 ^{a*}	^a 156.30 ^a	^a 159.10 ^a	157.63
14	^a 153.90 ^a	^a 151.50 ^b	^a 149.00 ^b	151.47
T-ment	155.70	153.90	154.05	154.55

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 25 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดแอสคอบิกที่เปลี่ยนแปลงเมื่อ
ผลมะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0080083	0.0080083	0.03 ^{ns}
Treatment (T)	2	2.5288166	1.2644083	5.05 ^{ns}
Error (a)	2	0.4960166	0.2480083	
Day(D)	1	104.9616750	104.9616750	2248.77*
TxD	2	8.7301499	4.3650749	93.52*
Error(b)	3	0.1400250	0.0466750	
Total	11	116.8646916		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 33.77 ^{a*}	^a 31.47 ^a	^a 33.55 ^a	32.93
14	^a 27.47 ^b	^a 27.81 ^b	^a 25.76 ^b	27.01
T-ment	30.62	29.64	29.65	29.97

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 26 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดซิตริกที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0126749	0.0126749	5.45 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0559500	0.0279500	12.03 ^{ns}
Error (a)	2	0.0046499	0.0023249	
Day(D)	1	0.6486750	0.6486750	58.05*
TxD	2	0.0343499	0.0171749	1.53 ^{ns}
Error(b)	3	0.0335250	0.0111750	
Total	11	0.7898249		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 6.81 ^a	^a 6.81 ^a	^a 6.69 ^a	6.77
14	^a 6.20 ^b	^a 6.46 ^b	^a 6.26 ^b	6.31
T-ment	6.51	6.63	6.48	6.54

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 27 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณpHที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผลมะนาว สัมผัสเอทริลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0010083	0.0010083	1.32 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0098166	0.0049083	16.47 ^{ns}
Error (a)	2	0.0015166	0.0007583	
Day(D)	1	0.0024083	0.0024083	1.80 ^{ns}
TxD	2	0.0027166	0.0013583	1.01 ^{ns}
Error(b)	3	0.0040250	0.0013416	
Total	11	0.0214916		

*significant at 5 % level

ตารางที่ 28 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณ Brix ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผลมะนาว
สัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0008333	0.0008333	1 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0816666	0.0408333	49*
Error (a)	2	0.0016666	0.0008333	
Day(D)	1	4.2008330	4.2008330	5041.2**
TxD	2	0.0016666	0.0008333	1 ^{ns}
Error(b)	3	0.0025000	0.0008333	
Total	11	4.2891666		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 7.00 ^{b*}	^b 6.85 ^b	^a 7.00 ^b	6.95
14	^a 8.20 ^a	^b 8.00 ^a	^a 8.20 ^a	8.13
T-ment	7.60	7.43	7.60	7.54

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 29 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผลมะนาว
สัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0000750	0.0000750	0.23 ^{ns}
Treatment (T)	2	4.9770500	2.4885250	7657*
Error (a)	2	0.0006500	0.0003250	
Day(D)	1	0.5166750	0.5166750	385.12*
TxD	2	0.0129500	0.0064750	4.82 ^{ns}
Error(b)	3	0.0040250	0.0013416	
Total	11	5.5114250		

*significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
4	^a 2.42 ^a *	^b 1.10 ^a	^b 1.14 ^a	1.55
7	^a 2.09 ^b	^c 0.62 ^b	^b 0.70 ^b	1.14
T-ment	2.25	0.86	0.92	1.34

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 30 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณนาวิจินที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวส้มผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	3.6299999	3.6299999	9.31 ^{ns}
Treatment (T)	2	22.6066666	11.3033333	28.98
Error (a)	2	0.7800000	0.3900000	
Day(D)	1	429.6033333	429.6033333	82.98*
TxD	2	44.8466666	22.4233333	4.33 ^{ns}
Error(b)	3	15.5299999	5.1766666	
Total	11	516.9966666		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
4	^b 155.50 ^{a*}	^a 158.30 ^a	^a 157.10 ^a	156.97
7	^a 148.70 ^b	^b 145.30 ^b	^c 141.00 ^b	145.00
T-ment	152.10	151.80	149.05	150.98

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 31 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดแอสคอบิกที่เปลี่ยนแปลงเมื่อ
ผลมะนาวสัมผัสเอทริลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0010083	0.0010083	0.01 ^{ns}
Treatment (T)	2	1.4731166	0.7365583	10.79 ^{ns}
Error (a)	2	0.1365166	0.0682583	
Day(D)	1	121.9218750	121.9218750	4271.72*
TxD	2	0.6987499	0.3493749	12.24*
Error(b)	3	0.0856250	0.0285416	66.88*
Total	11	124.3168916		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
4	^a 36.53 ^{a*}	^a 35.74 ^a	^a 36.23 ^a	36.16
7	^b 29.60 ^b	^b 29.29 ^b	^a 30.48 ^b	29.79
T-ment	33.06	32.51	33.36	32.98

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 32 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณกรดซิตริกที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผล
มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0006750	0.0006750	0.00 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0175500	0.0087750	1.00 ^{ns}
Error (a)	2	0.0175499	0.0087749	
Day(D)	1	0.9240750	0.9240750	492.84*
TxD	2	0.0091499	0.0045750	2.44 ^{ns}
Error(b)	3	0.0056250	0.0018750	
Total	11	0.9746249		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
7	^a 6.75 ^a *	^a 6.75 ^a	^a 6.69 ^a	6.73
14	^a 6.26 ^b	^a 6.13 ^b	^a 6.14 ^b	6.18
T-ment	6.51	6.44	6.42	6.45

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) ในด้านหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 33 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณ pH ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผลมะนาว
สัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0003000	0.0003000	0.55 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.0108500	0.0054250	5.05 ^{ns}
Error (a)	2	0.0021500	0.0010750	
Day(D)	1	0.2296333	0.2296333	336.06*
TxD	2	0.0008166	0.0040833	0.60 ^{ns}
Error(b)	3	0.0020500	0.0006833	
Total	11	0.2458000		

*significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
4	^a 1.98 ^{b*}	^a 1.90 ^b	^a 1.95 ^b	1.94
7	^a 2.26 ^a	^a 2.20 ^a	^a 2.20 ^a	2.22
T-ment	2.12	2.05	2.07	2.08

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 34 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณ Brix ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผลมะนาว
สัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Analysis of Variance

Source of variation	d.f.	Sum of Square	Mean square	F-ratio
Replications	1	0.0033333	0.0033333	1 ^{ns}
Treatment (T)	2	0.3466666	0.1733333	52.00*
Error (a)	2	0.0066666	0.0033333	
Day(D)	1	0.8533333	0.8533333	256.00*
TxD	2	0.3466666	0.1733333	52.00*
Error(b)	3	0.0100000	0.0033333	
Total	11	1.5666666		

* = significant at 5 % level

Multiple range analysis

Day (D)	Treatment			D-mean
	no-treat	Pre-treat	Post-treat	
4	^a 7.00 ^{b*}	^a 7.00 ^b	^a 7.00 ^b	7.00
7	^b 7.40 ^a	^c 7.20 ^a	^a 8.00 ^a	7.53
T-ment	7.20	7.10	7.50	7.27

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งด้านขวาแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p < 0.05$) ในด้านวัน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนด้านซ้ายแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านหน่วยการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 35 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่บริเวณเปลือกชั้นนอก
เมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F-ratio	Sig.level
Between groups	353.358	6	58.893	41.136	0.000
With in groups	10.022	7	1.432		
Total	363.380	13			

Multiple rang analysis

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
7	2	10.30			
6	2		14.50		
5	2		15.52		
4	2		17.08		
3	2			20.96	
2	2			23.43	23.43
1	2				25.76

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p < 0.05$)

ตารางที่ 36 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่บริเวณเมล็ดเมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทธิลีนในสภาวะต่างๆ

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F-ratio	Sig.level
Between groups	7125.153	6	1187.526	36.732	0.000
With in groups	226.304	7	32.329		
Total	7351.458	13			

Multiple rang analysis

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
7	2	150.71				
5	2		171.67			
6	2		174.03			
4	2			189.52		
3	2			198.97	198.97	
2	2				210.04	210.04
1	2					221.20

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 37 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่บริเวณน้ำเมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F-ratio	Sig.level
Between groups	8.350	6	1.392	261.535	0.000
With in groups	3.725E-02	7	5.321E-03		
Total	8.388	13			

Multiple rang analysis

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5	2	1.32		
4	2	1.35		
7	2	1.36		
6	2	1.43		
3	2		2.71	
2	2			2.97
1	2			3.06

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05)

ตารางที่ 38 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณนาริงเงินที่บริเวณเปลือกชั้นนอก เมื่อผล
 มะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F-ratio	Sig.level
Between groups	4296377.3	6	716062.88	41.434	0.000
With in groups	120974.54	7	17282.077		
Total	4417351.8	13			

Multiple rang analysis

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
7	2	3046.66			
5	2		3622.43		
6	2		3750.20		
4	2			4215.30	
3	2			4352.12	
2	2			4529.21	4529.21
1	2				4771.89

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
 (p< 0.05)

ตารางที่ 39 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณนาริงจินที่บริเวณเมียด
เมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทธีลีนในสภาวะต่างๆ

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F-ratio	Sig.level
Between groups	79395.327	6	13232.554	1.080	0.454
With in groups	85740.935	7	12248.705		
Total	165136.26	13			

Multiple rang analysis

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
5	2	2220.87
3	2	2330.01
4	2	2338.57
2	2	2360.30
7	2	2388.60
6	2	2416.59
1	2	2482.50

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
(p< 0.05)

ตารางที่ 40 แสดง Analysis of Variance ของปริมาณลิโมนินที่บริเวณน้ำ
เมื่อผลมะนาวสัมผัสเอทิลีนในสภาวะต่างๆ

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F-ratio	Sig.level
Between groups	43.914	6	7.319	1.530	0.294
With in groups	33.495	7	4.785		
Total	77.409	13			

Multiple rang analysis

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
5	2	146.90	
2	2	149.50	149.50
4	2	149.70	149.70
3	2	149.75	149.75
7	2	150.75	150.75
6	2	151.95	151.95
1	2		152.80

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p < 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุวรรณา พิชัยวงศ์วงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2515 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) จากสถาบันราชภัฏจันทรเกษม ปีการศึกษา 2538 เข้าปฏิบัติงานตำแหน่งเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพที่บริษัท B. L HUA จำกัด ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2538 จนถึงเดือนมีนาคม 2541 หลังจากนั้น ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ในปี พ.ศ. 2541 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2544

