



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตรการอาหาร

วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการลวกและการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขมและคุณภาพของน้ำมะนาว

Effect of Blanching and Synthetic Resin on Bitter Compounds and Quality
of Lime Juice

นามผู้วิจัย นางสาวเจริญรัตน์ เจริญกิจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงห์สีเงิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการลวกและการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขมและคุณภาพของน้ำมะนาว

Effect of Blanching and Synthetic Resin on Bitter Compounds and Quality of Lime Juice

โดย

นางสาวเจริญรัตน์ เจริญกิจ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2555

เจริญรัตน์ เจริญกิจ 2555: ผลของการลวกและการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขมและคุณภาพของน้ำมะนาว ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรัณ จิรภาคย์กุล, Ph.D. 116 หน้า

มะนาวเป็นพืชตระกูลส้มชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการปรุงแต่งรสชาติของอาหารและเป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มชนิดต่างๆ ปัญหาที่พบในน้ำมะนาวหลังจากการคั้นน้ำคือ รสขมที่เกิดจากสารประกอบลิโมนอยด์เช่น ลิโมนิน ซึ่งเป็นสารหลักที่ทำให้รสขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของการลวกผลมะนาว การใช้เรซินสังเคราะห์ในการลดความขมของน้ำมะนาว และศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว โดยวิเคราะห์สารให้ความขม สารประกอบฟลาโวนอยด์ และวิตามินซีด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตรวจสอบความสามารถด้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) น้ำมะนาวสดมีลิโมนินเป็นสารให้ความขมและเฮสเพอริดินเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ การลวกผลมะนาวทำให้ปริมาณลิโมนิน ปริมาณเฮสเพอริดิน และสมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำมะนาวเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อสีและปริมาณวิตามินซี จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ชนิด Amberlite XAD-16 ในการลดความขมของน้ำมะนาว พบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวได้ แต่ปริมาณเฮสเพอริดิน และสมบัติการต้านออกซิเดชันลดลง การใช้เรซินสังเคราะห์ไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซี แต่มีผลทำให้สีของน้ำมะนาวจางลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสด คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด และรสขมของน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่าน้ำมะนาวสด เมื่อนำน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์มาทำการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และ 85 °ซ เวลา 30 วินาที พบว่า ความร้อนมีผลทำให้ปริมาณลิโมนินและสมบัติการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะด้านกลิ่นน้ำมะนาวสดของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีระดับความเข้มข้นลดลง

Chareonrat Chareonkit 2012: Effect of Blanching and Synthetic Resin on Bitter Compounds and Quality of Lime Juice. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Wannee Jirapakkul, Ph.D. 116 pages.

Lime is one of the major citrus fruits. They have been used for enhancing the taste of foods and preparation of many drinks. The problem of lime juice is bitterness due to the presence of limonoid compounds, especially limonin. Limonin is the major bitter component in most citrus juices. The objectives of this research were to study the effect of blanching and using of synthetic resin for bitterness reduction of lime juice. The effect of pasteurization of reduced bitterness lime juice on bitterness compound, physical and chemical quality of lime juice was also studied. The contents of bitter compounds, flavonoid compounds and vitamin C were examined using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The antioxidant capacity was measured using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay. Sensory evaluation was evaluated by Quantitative Descriptive Analysis (QDA). Limonin, a bitter compound, and hesperidin, a flavonoid compound, were found in fresh lime juice. Blanching lime fruit could increase limonin and hesperidin contents as well as antioxidant capacity. Blanching had no effect on color and vitamin C contents of lime juice. Using of synthetic resin Amberlite XAD-16 in lime juice was performed. Lime juice treated with Amberlite XAD-16 had lower in limonin, hesperidin contents and antioxidant capacity. However it had no effect on vitamin C contents, but the color of lime juice was paler than that of the fresh one. From sensory evaluation, lime juice treated with resin had lower intensities in yellowness, fresh lime-like aroma and bitterness than fresh lime juice. Lime juice treated with resin was pasteurized at 70 °C for 60 s and 85°C for 30 s. Limonin content and antioxidant capacity of heat treated lime juice was increased. On the other hand, vitamin C contents had decreased. The result of sensory evaluation of pasteurized lime juice treated with synthetic resin had lower intensity in fresh lime-like aroma.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและ ดร. ศศิธร ตรงจิตภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในเรื่องการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. โชคชัย ชีรกุลเกียรติ ประธานการสอบและรองศาสตราจารย์ ดร. ทนง ภัทรขันธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ในอนาคตต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการวิจัยผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการ 2411 ทุกคน รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโทและเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นในเรื่องการเรียน การวิจัย รวมถึงกำลังใจและความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้า และขอบคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

เจริญรัตน์ เจริญกิจ

ตุลาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	33
อุปกรณ์	33
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	86
สรุป	86
ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	88
ภาคผนวก	102
ภาคผนวก ก เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16	103
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดิน	105
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี	109
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ สมบัติการต้านออกซิเดชัน	111
ภาคผนวก จ การประเมินทางประสาทสัมผัส	113
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	116

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว	7
2 ปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้	10
3 ปริมาณลิโมนีนกับระดับความขมของผลไม้ตระกูลส้ม	12
4 ปริมาณลิโมนีนในส่วนต่างๆ ของมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น	15
5 เรซินสังเคราะห์ชนิดที่ไม่มีขี้ ชนิดที่มีขี้ และชนิดแลกเปลี่ยนประจุ	21
6 ชนิดของเรซินสังเคราะห์ที่มีการนำมาใช้ในการลดความขมในน้ำผลไม้ ตระกูลส้ม	22
7 โครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มต่างๆ	25
8 แหล่งอาหารที่มีสารประกอบฟลาโวนอยด์	27
9 การเกิดปฏิกิริยาและวิธีการวัดความสามารถต้านออกซิเดชัน	30
10 ค่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสด และผลมะนาวตาก	47
11 ปริมาณลิโมนีนและเฮสเพอริดินของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวตาก	50
12 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซี ทั้งหมดของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวตาก	51
13 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวตาก	54
14 ค่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใส และ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และน้ำมะนาว ที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp	57
15 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซี ทั้งหมดของน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	คะแนนความเข้มของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และ รสขมของน้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp	69
17	ค่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	71
18	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซี ทั้งหมดของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	77
19	คะแนนความเข้มของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และ รสขมของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที	84
ตารางผนวกที่		
ข1	สัดส่วนวิภาคเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์เฮสเพอริดินโดยเทคนิค HPLC	107
จ1	คุณลักษณะด้านต่างๆ และตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสำหรับการศึกษาการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์	114

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ลักษณะของผลมะนาว	3
2 ลักษณะภาพตัดขวางของผลไม้ตระกูลส้ม	6
3 โครงสร้างทางเคมีของวิตามินซี	8
4 การเปลี่ยนรูปของกรดแอสคอร์บิก	9
5 การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ไม่มีรสขมไปเป็นลิโมนินในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม	12
6 โครงสร้างทางเคมีของนาริงจิน	14
7 โครงสร้างและการดูดซับของเรซินสังเคราะห์ชนิด Amberlite XAD-16	24
8 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟลาโวนอยด์	26
9 โครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มหลักในสารประกอบฟลาโวนอยด์	26
10 โครงสร้างทางเคมีของเฮสเพอริดิน	28
11 โครงสร้างของ DPPH	32
12 แผนภูมิการเตรียมตัวอย่างน้ำมะนาวเพื่อศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว	37
13 แผนภูมิการเตรียมตัวอย่างน้ำมะนาวเพื่อศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว	43
14 โครมาโตแกรมของสารลิโมนินในน้ำมะนาว ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร	48
15 โครมาโตแกรมของน้ำมะนาวที่มีการ spike สารมาตรฐานนาริงจินซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร	48
16 โครมาโตแกรมของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) กรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid; internal standard) (A) ในน้ำมะนาวโดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตร และกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (B) ในน้ำมะนาวโดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ตัวอย่างน้ำมะนาวก่อนและหลังผ่านเรซินสังเคราะห์	58
18	ปริมาณลิโมนินของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมუნเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)	60
19	โครมาโตแกรมของลิโมนินในน้ำมะนาวก่อนผ่านเรซินสังเคราะห์ (A) น้ำมะนาวหลังผ่านเรซินสังเคราะห์ (B) และน้ำมะนาวหลังผ่านเรซินสังเคราะห์และเติม pulp (C) ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร	61
20	ปริมาณเฮสเพอริดินของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมუნเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)	62
21	โครมาโตแกรมของเฮสเพอริดินในน้ำมะนาวก่อนผ่านเรซินสังเคราะห์ (A) น้ำมะนาวหลังผ่านเรซินสังเคราะห์ (B) และน้ำมะนาวหลังผ่านเรซินสังเคราะห์และเติม pulp (C) ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร	63
22	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมუნเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)	66
23	สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมუნเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)	67
24	แผนภาพความเข้มข้นของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขมของน้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ปริมาณลิโมนินของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	73
26	ปริมาณเฮสเพอริดินของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	75
27	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	79
28	สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	81
29	แผนภาพความเข้มข้นของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่น น้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขมของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และ 85 °ซ เวลา 30 วินาที	83
ภาพผนวกที่		
ก1	ลักษณะของเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 และกระบวนการลดความขมในน้ำมะนาวด้วยเรซินสังเคราะห์	104
ข1	กราฟมาตรฐานของสารลิโมนิน	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข2 กราฟมาตรฐานของสารเฮสเพอริดิน	108
ค1 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (A) กรดดีไฮโดร แอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (B) และกราฟมาตรฐานของกรด ไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) (C)	110
ง1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด	112
ง2 กราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกสำหรับการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน DPPH	112

ผลของการลวกและการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขมและคุณภาพของน้ำมะนาว

Effect of Blanching and Synthetic Resin on Bitter Compounds and Quality of Lime Juice

คำนำ

มะนาวเป็นพืชตระกูลส้มชนิดหนึ่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle ซึ่งเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเนื่องจากการบริโภคมะนาวกันทั่วครัวเรือน โดยเฉพาะนำมาใช้ในการปรุงแต่งรสชาติของอาหารและใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มชนิดต่างๆ ด้วย นอกจากนี้มะนาวยังเป็นแหล่งของวิตามินซีซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติที่ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ ได้ มะนาวจะออกผลดกในช่วงฤดูฝนจึงทำให้มีราคาถูก แต่ในช่วงฤดูแล้งจะออกผลน้อยทำให้มะนาวขาดแคลนและมีราคาสูงขึ้น (รวิ, 2542) จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวในรูปของน้ำคั้นเพื่อสะดวกในการนำมาใช้งาน ประหยัดเนื้อที่ในการเก็บรักษา และการขนส่ง

การผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้มปัญหาที่พบคือ รสขม สาเหตุของรสขมเกิดจากสารประกอบลิโมนอยด์และฟลาโวนอยด์คือ ลิโมนินและนาริงจีน ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะกระจายอยู่บริเวณเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน พนักกลีบ และเมล็ด (Kimball, 1991) ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับวิธีลดสารให้ความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้มด้วยวิธีต่างๆ เช่น วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และการใช้เอนไซม์ โดยแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพในการลดสารให้ความขมได้แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาวิธีทางกายภาพ คือ การลวกผลมะนาวและการใช้เรซินสังเคราะห์ในการลดความขมในน้ำมะนาว เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก องค์กรประกอบของน้ำผลไม้เปลี่ยนแปลงน้อย และใช้เวลาไม่นาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว
2. เพื่อศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว
3. เพื่อศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรซ์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์

การตรวจเอกสาร

1 มะนาว (lime)

มะนาวเป็นพืชตระกูลส้มชนิดหนึ่ง อยู่ในวงศ์ Rutaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองของอินเดียที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในหมู่เกาะอินดีสตะวันออกหรือทางภาคเหนือของอินเดีย และต่อมาได้กระจายพันธุ์เข้ามาสู่ทวีปเอเชีย (ศุภกิจ, 2540) มะนาวจะให้ผลผลิตตลอดทั้งปี แต่จะออกผลดกในช่วงฤดูฝนจึงทำให้มีผลผลิตเป็นจำนวนมากและมีราคาถูกลง แต่ในช่วงฤดูแล้งจะออกผลน้อยจึงทำให้มะนาวขาดแคลนและมีราคาสูงขึ้น (รวิ, 2542)



ภาพที่ 1 ลักษณะของผลมะนาว

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะนาว (วิเศษ, 2542)

ลำต้น มะนาวเป็นไม้ผลยืนต้นที่มีลำต้นโค้งงอเป็นทรงพุ่ม เปลือกของลำต้นมีสีน้ำตาลปนเทา กิ่งอ่อนมีสีเขียวอ่อนและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่ออายุมากขึ้น และลำต้นมีหนามแหลม

ใบ มีลักษณะเป็นใบเดี่ยว ใบอ่อนมีสีเขียวจางเมื่ออายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม รูปร่างเป็นแบบรีหรือรูปไข่ ปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหยัก เมื่อขยี้ใบจะมีกลิ่นแรง

ดอก ดอกมะนาวอาจเป็นดอกเดี่ยวหรือเป็นช่อ จะออกบริเวณซอกใบและปลายกิ่ง ดอกมีสีขาว มีกลีบเลี้ยงสีเขียว เมื่อดอกบานจะมีกลิ่นหอม

ผล ผลของมะนาวมีรูปร่างค่อนข้างกลมจนถึงรียาวคล้ายรูปไข่ ผลมะนาวเมื่ออ่อนมีผิวสีเขียว เมื่อสุกจะมีสีเหลืองหรือสีทอง ที่ผิวเปลือกมีต่อมน้ำมัน ภายในผลจะมีกลีบผลประมาณ 8-12 กลีบ และแต่ละกลีบจะมีเมล็ดขนาดเล็ก น้ำของมะนาวมีสีเหลืองอ่อน มีรสเปรี้ยวและกลิ่นหอม

1.2 พันธุ์มะนาว (ศุภกิจ, 2540)

พันธุ์มะนาวที่พบในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ได้แก่ มะนาวหนัง มะนาวไข่ มะนาวแป้น มะนาวโมพี มะนาวหวาน มะนาวเตี้ย และมะนาวดาฮิติ เป็นต้น แต่พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก คือ มะนาวไข่ มะนาวแป้น และมะนาวหนัง ซึ่งแต่ละพันธุ์มีลักษณะดังนี้

1.2.1 มะนาวไข่ มีลักษณะคล้ายมะนาวหนัง แต่ผลมีขนาดใหญ่กว่า ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวเมื่อโตเต็มที่จะมีลักษณะกลมมน หัวและก้นมีจุดไม่แหลม ผิวเรียบ เปลือกบาง ออกผลดก มีปริมาณน้ำมากและเมล็ดน้อย

1.2.2 มะนาวแป้น เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุด เพราะให้ผลดกและออกผลได้ตลอดปี ผลมีขนาดปานกลาง ทรงผลแป้น เปลือกบางมีสีเขียวอมเหลือง มีปริมาณน้ำมาก เมล็ดน้อย มะนาวแป้นมีหลายพันธุ์ด้วยกัน เช่น พันธุ์แป้นรำไพ และพันธุ์แป้นทวย

1.2.3 มะนาวหนัง ลักษณะผลจะใหญ่ หัวท้ายแหลม เมื่อผลโตเต็มที่จะมีลักษณะกลมยาว มีผิวเรียบ เปลือกหนา จึงทำให้เก็บรักษาไว้ได้นาน มีรสเปรี้ยวจัด น้ำมีกลิ่นหอม เหมาะสำหรับนำไปทำเป็นน้ำมะนาวพร้อมดื่ม

1.3 ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวผลมะนาวจะเก็บเกี่ยวเมื่อผลมะนาวมีอายุประมาณ 14-15 สัปดาห์ ตั้งแต่ดอกบานจนผลแก่ ลักษณะของผลมะนาวที่เจริญเต็มที่จะมีผิวสีเขียว ปริมาณน้ำสูงและมีคุณภาพดี ถ้าเก็บเกี่ยวตอนที่ผลมะนาวมีสีเหลืองจะทำให้คุณภาพด้านกลิ่นและรสของน้ำมะนาวลดลง รวมถึงอายุการเก็บรักษา โดยแหล่งที่ปลูกมะนาวในประเทศไทยได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี สมุทรสาคร ประจวบคีรีขันธ์ และนครปฐม (วิเศษ, 2542)

1.4 ประโยชน์ของมะนาว

มะนาวเป็นพืชที่นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง เช่น การนำไปปรุงแต่งอาหารเป็นส่วนผสมของยา และยังสามารถนำไปใช้ในเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดได้ด้วย สำหรับคนไทยมักจะใช้ประโยชน์จากมะนาวอยู่เป็นประจำ มะนาวจึงจัดว่าเป็นพืชประจำครัวเรือน ตั้งแต่สมัยก่อนจนถึงปัจจุบัน การใช้ประโยชน์จากมะนาวจึงแบ่งได้ดังนี้

1.4.1 ด้านคุณค่าทางอาหาร กรมอนามัยได้รายงานว่าคุณค่าของมะนาวในส่วนที่กินได้ 100 กรัม จะให้พลังงาน 36 แคลอรี ไขมัน 2.4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 5.9 กรัม เยื่อใย 0.3 กรัม (กรมอนามัย, 2544) การใช้ประโยชน์ของมะนาว ส่วนใหญ่จะใช้น้ำของมะนาวมาปรุงแต่งรสอาหาร และใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มได้หลายชนิด เช่น น้ำมะนาวปั่น ไวน์มะนาว เป็นต้น

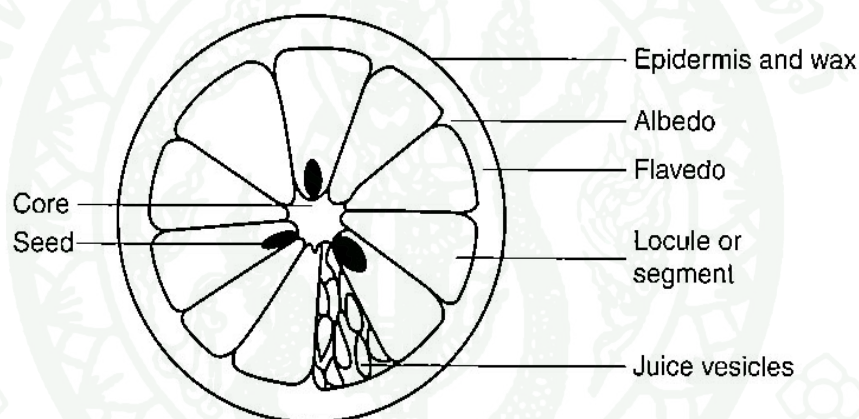
1.4.2 ด้านการแพทย์ พบว่า มะนาวมีสารเฮสเพอริดิน (hesperidin) ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์แก้ไอและน้ำมะนาวยังเป็นแหล่งของวิตามินซีซึ่งช่วยในการป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟันและช่วยให้หลอดเลือดแข็งแรงไม่เปราะและแตกง่าย นอกจากนี้ใบมะนาวใช้ฟอกโลหิต เมื่อนำมาคั่วเพื่อช่วยขับเสมหะ และรากใช้ถอนพิษไข้ได้ (ศุภกิจ, 2540)

1.4.3 ด้านอุตสาหกรรม มะนาวได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมทั้งในรูปของน้ำมะนาว น้ำมันหอมระเหย และสารสกัดจากมะนาว เช่น น้ำมะนาวนำมาใช้ปรุงแต่งรสอาหาร และผลิตน้ำมะนาวพร้อมดื่ม ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ผิวมะนาวนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอางค์และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเช่น ยาสระผมและสบู่ รวมทั้งส่วนเหลือทิ้งเช่น เปลือกมะนาวยังสามารถนำมาสกัดเพคตินได้ (วิเศษ, 2542)

1.4.4 ด้านเศรษฐกิจ มะนาวเป็นสินค้าส่งออกที่สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศไทยได้อย่างมาก โดยส่งออกในหลายรูปแบบเช่น ผลสด การดอง อบแห้ง น้ำมะนาว และน้ำมะนาวผง แต่จะส่งออกในแบบผลสดมากที่สุดซึ่งคิดเป็นมูลค่ารวมต่อปีคือ 33,001 ล้านบาท โดยมีประเทศคู่ค้าที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น ฮองกง จีน และอินโดนีเซีย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

2. ส่วนประกอบของผลไม้ตระกูลส้ม

ส่วนประกอบของผลไม้ตระกูลส้มจะมีลักษณะคล้ายๆ กัน จากภายนอกสู่ภายใน ดังภาพที่ 2 คือ เปลือกชั้นนอก (flavedo) เป็นชั้นของเปลือกที่มีทั้งสีเขียว สีเหลือง หรือสีส้ม ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่เป็นอีพิดERMิส (epidermis) ในส่วนนี้จะมีขี้ผึ้งและต่อมน้ำมันหอมระเหย (oil sacs) ถัดเข้ามา เป็นส่วนของเปลือกชั้นใน (albedo) มีลักษณะนุ่มและเป็นสีขาวตามธรรมชาติประกอบด้วยเพคติน และเฮมิเซลลูโลส และสุดท้ายเป็นส่วนของกลีบผล (segments) ซึ่งเป็นส่วนที่บริโภคได้ แบ่ง ออกเป็นกลีบประมาณ 9-13 กลีบ ซึ่งแต่ละกลีบจะถูกกั้นด้วยผนังกลีบ (segment wall) และภายใน จะประกอบด้วยถุงน้ำ (juice vesicles) และเมล็ด (seed) (Kimball, 1991)



ภาพที่ 2 ลักษณะภาพตัดขวางของผลไม้ตระกูลส้ม

ที่มา: Ladaniya (2008)

3. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

องค์ประกอบของน้ำมะนาวส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดอินทรีย์ โดยกรดอินทรีย์ ประกอบด้วย กรดซิตริก (citric acid) ร้อยละ 91.7 กรดมาลิก (malic acid) ร้อยละ 4.9 กรดควินิก (quinic acid) และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ร้อยละ 0.5 นอกจากนี้ในน้ำมะนาวยังมี องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

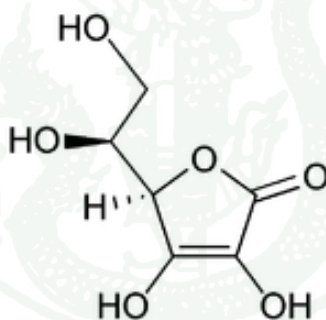
องค์ประกอบ	ปริมาณต่อ 100 มิลลิตรของน้ำมะนาว	
	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	1.70-3.20	2.45
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	8.30-14.10	10.0
ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก (มิลลิกรัม)	4.94-8.32	5.97
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม)	0-1.74	0.14
ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัม)	0.30-0.70	0.4
ไขมัน (มิลลิกรัม)	0-0.11	-
ปริมาณเถ้าทั้งหมด (มิลลิกรัม)	0.25-0.40	0.35
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	4.50-10.40	7
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	9.30-11.20	10
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.19-0.92	0.6
ไทอามีน (ไมโครกรัม)	11-28	20
ไรโบฟลาวิน (ไมโครกรัม)	11-18	15
ไนอะซิน (ไมโครกรัม)	90-275	190
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	3-5	4
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	32-50	45

ที่มา: กรมอนามัย (2544)

จากข้อมูลในตารางข้างต้นพบว่า ในน้ำมะนาวมีปริมาณวิตามินซีค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามะนาวเป็นแหล่งของวิตามินซีอีกแหล่งหนึ่งในผลไม้ตระกูลส้ม โดยมีการรายงานไว้ว่า ผลไม้ตระกูลส้มเป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซี ซึ่งปริมาณของวิตามินซีจะขึ้นอยู่กับภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม สายพันธุ์ และสารอาหารในดิน นอกจากนี้ผลไม้ตระกูลส้มที่ผลยังอ่อนจะมีปริมาณวิตามินซีสูง แต่จะลดลงเมื่อผลไม้เจริญเติบโตเต็มที่ (Kimball, 1999) และปริมาณวิตามินซียังเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากผลไม้ตระกูลส้มอีกด้วย (Lee and Coates, 1999) โดยมีรายละเอียดดังนี้

วิตามินซี (ascorbic acid)

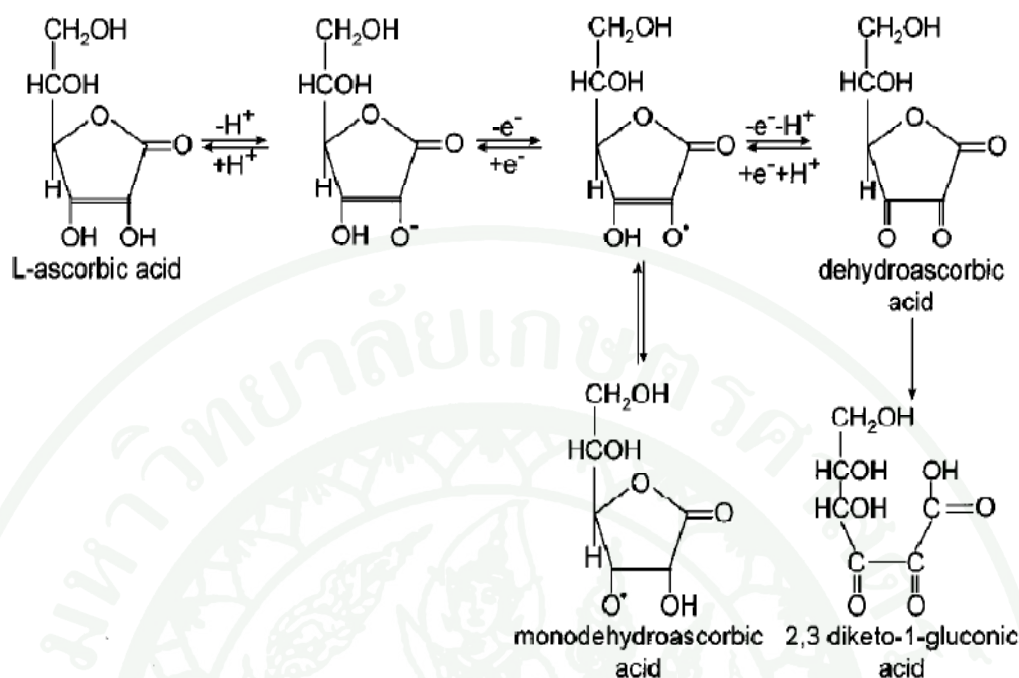
วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก มีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_8O_6$ แสดงโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 3 เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำ มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติที่พบได้ในผักและผลไม้ วิตามินซีเป็นวิตามินที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน แสงสว่าง สภาพที่เป็นด่าง และอากาศ ส่วนโลหะหนัก เช่น ทองแดงและเหล็ก จะเร่งการสลายตัวของวิตามินซีให้เกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์หลายชนิดที่เร่งการสลายตัวของวิตามินซี เช่น กรดแอสคอร์บิกออกซิเดส ฟีนอลเลส ไซโทโครมออกซิเดส และเพอร์ออกซิเดส (Erdman and Klein, 1982) ในผักและผลไม้มีวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกอยู่ด้วยกัน 3 รูปคือ รูปรีดิวซ์ (L-ascorbic acid หรือ AA) ที่สามารถถูกออกซิไดส์ไปอยู่ในรูป monodehydroascorbic acid ที่ไม่เสถียรซึ่งจะเปลี่ยนรูปไปเป็น dehydroascorbic acid (DHA) และ DHA นี้อาจถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น 2,3-diketogulonic acid ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี แสดงดังภาพที่ 4 (Noctor and Foyer, 1998)



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของวิตามินซี

ที่มา: Liao and Seib (1988)

วิตามินซีเป็นวิตามินที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมาก โดยสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ และความผิดปกติทางร่างกายได้ นอกจากนี้วิตามินซียังเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างโปรตีนและคอลลาเจน ดังนั้นถ้าร่างกายได้รับวิตามินซีไม่เพียงพอจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนและคอลลาเจนผิดปกติทำให้มีผลต่อความแข็งแรงของหลอดเลือด โดยเฉพาะเส้นเลือดฝอยประปรายและแตกง่าย (Sebastian *et al.*, 2003) ซึ่งปริมาณวิตามินซีที่แนะนำให้บริโภคสำหรับผู้หญิงคือ 90 มิลลิกรัมต่อวัน และสำหรับผู้ชาย 75 มิลลิกรัมต่อวัน (Levine *et al.*, 2001)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนรูปของกรดแอสคอร์บิก

ที่มา: Noctor and Foyer (1998)

วิตามินซีเป็นสารอาหารที่พบมากในผักและผลไม้ เช่น สตรอเบอร์รี่ เชอร์รี่ มะขามป้อมฝรั่ง ผลไม้ตระกูลส้ม ผักโขม กะหล่ำ และบรอกโคลี รวมถึงน้ำผลไม้ที่มีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 1 ถึง 150 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ซึ่งปริมาณที่พบขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผักผลไม้ นอกจากนี้ผลไม้ส่วนใหญ่จะพบวิตามินซีที่เปลือกมากกว่าเนื้อ เช่น เปลือกแอปเปิ้ลมีวิตามินซีมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ 2-3 เท่า (Lee and Kader, 2000) ตัวอย่างปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้บางชนิด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้

ชนิดของผักและผลไม้	วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)
สตรอเบอร์รี่	60
ฝรั่ง	187
ผลไม้ตระกูลส้ม	31-52
พริกหวาน	218
ผักคะน้า	147
บรอกโคลี	183

ที่มา: คัดแปลงจาก Salunkhe *et al.* (1991)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า วิตามินซีเป็นวิตามินที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน แสงสว่าง และอากาศ ดังนั้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาจมีการสูญเสียวิตามินซีได้ ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้มจะต้องใช้ความร้อนในการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และเกิดการเน่าเสีย จากงานวิจัยของ Igual *et al.* (2010) ศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำเกรฟฟรุต โดยพาสเจอไรซ์ด้วยอ่างควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °ซ เวลา 11 วินาที และพาสเจอไรซ์ด้วยไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ เวลา 30 วินาที พบว่า การพาสเจอไรซ์น้ำเกรฟฟรุตทั้งสองวิธีทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำคั้นสด และ Moreno *et al.* (2005) ศึกษาผลของการใช้ความดันสูง (high pressure) การใช้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง (pulsed electric field) และการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูงต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำส้ม พบว่า น้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มสด และน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์มีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าน้ำส้มที่ผ่านการใช้ความดันสูงและพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง

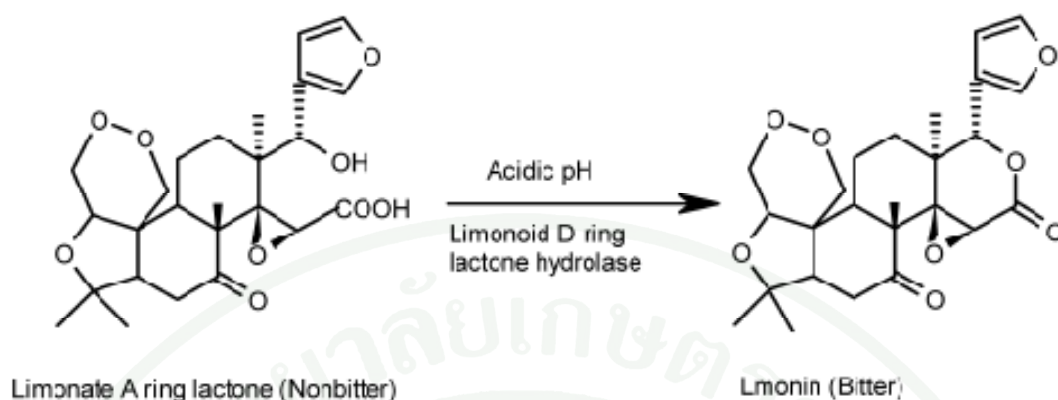
4. สารให้ความขมน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้มปัญหาที่มักจะพบคือ การเกิดรสขม ซึ่งผลไม้ตระกูลส้มส่วนใหญ่มีสารให้รสขมเป็นองค์ประกอบอยู่ตามธรรมชาติ โดยสารประกอบที่ให้รสขมมี 2 ชนิดคือ สารประกอบลิโมนอยด์ (limonoid) และสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid)

4.1 สารประกอบลิโมนอยด์

สารประกอบลิโมนอยด์เป็นสารประเภทอนุพันธ์ของไตรเทอร์พีน (triterpene derivative) ซึ่งพบมากในพืชวงศ์ Rutaceae และ Meliaceae จากรายงานของ Hasegawa (1999) พบว่า สารในกลุ่มของสารประกอบลิโมนอยด์ที่แยกได้จากผลไม้ตระกูลส้มมีประมาณ 36 ชนิด แต่มีเพียง 6 ชนิดที่เป็นสารให้รสขมคือ ลิโมนิน (limonin) โนมิลิน (nomilin) อิซานจิน (ichangin) กรดโนมิลินิก (nomilinic acid) กรดโอบาคิวโนอิก (obacunoic acid) และ กรดดีออกซีลิโมนอิก (deoxylimonoic acid) อย่างไรก็ตามลิโมนินเป็นสารหลักที่ให้รสขมในผลไม้ตระกูลส้ม

ลิโมนินเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตรไนไทรล์ (acetonitrile), ไดเมทิลฟอร์มามิด (dimethylformamide) และไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) ซึ่งจะพบสารนี้อยู่ตามส่วนต่างๆ ของผลไม้คือ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน พั่นกลีบ และเมล็ด โดยจะพบในส่วนของเมล็ดมากที่สุด ลิโมนินเกิดจากสารตั้งต้นที่ไม่มีรสขมคือ ลิโมนอเอท เอริง แลคโตน (limonate A-ring lactone, LARL) การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5 และมีเอนไซม์ลิโมนิน ดีริง แลคโตน ไฮโดรเลส (limonin D-ring lactone hydrolase) เป็นตัวเร่ง แสดงดังภาพที่ 5 (Manners, 2007) จากงานวิจัยของ Maier *et al.* (1977) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิโมนินกับระดับความขมของผลไม้ตระกูลส้ม พบว่า มีความสัมพันธ์กันซึ่งแสดงดังตารางที่ 3 นอกจากนี้ The Florida Department of Citrus ได้ระบุว่า น้ำผลไม้ตระกูลส้มควรมีปริมาณลิโมนินไม่เกิน 6 ppm ซึ่งถ้าเกินตามที่ระบุไว้จะทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้รสขมได้และผู้บริโภคจะไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์นั้นๆ (Hui *et al.*, 2006)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ไม่มีรสขมไปเป็นลิโมนินในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

ที่มา: Roy and Saraf (2006)

ตารางที่ 3 ปริมาณลิโมนีนกับระดับความขมของผลไม้ตระกูลส้ม

ลิโมนิน (ppm)	ระดับความขมของผลไม้ตระกูลส้ม
>17	ขมมาก
10-16	ขมปานกลาง
6-9	ขมน้อย
<5	ไม่ขม

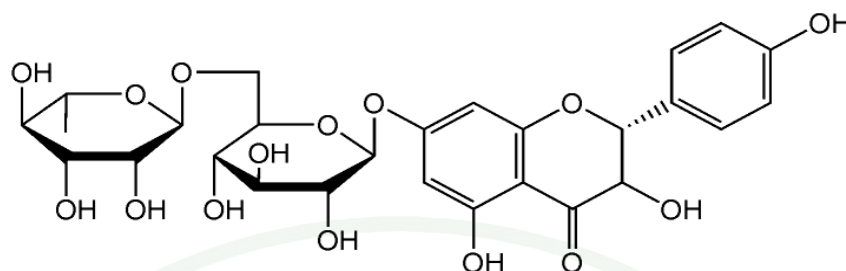
ที่มา: Maier *et al.* (1977)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนีนในน้ำผลไม้ตระกูลส้มมีหลายวิธี ได้แก่ สเปกโตรสโกปี (spectroscopy) ทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี (thin-layer chromatography, TLC) แก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography, GC) เรดิโออิมมูโนแอสเสย์ (radio immunoassay, RIA) เอนไซม์ลิงค์อิมมูโนแอสเสย์ (enzyme linked immunoassay, EIA) และไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโตกราฟี (high performance liquid chromatography, HPLC) ซึ่งวิธี HPLC เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้ม โดยตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 210 หรือ 240 นาโนเมตร (Kimball, 1999)

4.2 สารประกอบฟลาโวนอยด์

สารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มสารที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอน (flavanone) โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปตามลักษณะของโครงสร้าง โมเลกุล คือ รูปอะไกลโคน (aglycones) คือมีโครงสร้างเดี่ยวๆ ไม่ได้เกาะกับน้ำตาล และรูป ไกลโคไซด์ (glycosides) คือมีโครงสร้างเกาะกับน้ำตาล rutinose และ neohesperidose ซึ่งสารที่ให้รสขมจะอยู่ในรูปไกลโคไซด์ที่มีโครงสร้างเกาะกับน้ำตาล neohesperidose ได้แก่ นาริงจิน (naringin) นีโอเฮสเพอริดิน (neohesperidin) และนีโอเอริโอซิตริน (neoeriodictyonin) (Tripoli *et al.*, 2007) โดยนาริงจินเป็นสารหลักที่ทำให้เกิดรสขมในผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งส่วนใหญ่จะพบสารนี้ในเกรฟฟรุตและส้มโอ (Kimball, 1999) แต่ไม่พบในมะนาวไทยและเลมอน (Salmah *et al.*, 1990 ; Albach and Redman, 1969) (ดังภาพที่ 6)

นาริงจินเป็นสารที่ละลายในน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในอะซิโตน (acetone) และแอลกอฮอล์ (alcohol) ซึ่งสารนี้จะกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของผลไม้คือ เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน พวงกลีบ และเมล็ด โดยจะพบมากที่สุดในส่วนเปลือกชั้นใน นอกจากนี้ The Florida Department of Citrus ระบุว่า ปริมาณนาริงจินในน้ำผลไม้ตระกูลส้มไม่ควรเกิน 600 ppm เนื่องจากผู้บริโภคจะสามารถรับรู้รสขมได้ (Kimball, 1999) วิธีการวิเคราะห์ปริมาณนาริงจินที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตเมตริก (spectrophotometric) ตามวิธีของ Davis test ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่วิเคราะห์ได้ง่ายและใช้เวลาไม่นาน แต่ข้อเสียคือ ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสารที่มีโครงสร้างคล้ายกันได้ หลักการของวิธีนี้คือ สารนาริงจินจะทำปฏิกิริยากับไดเอทิลีนไกลคอล (diethylene glycol) ที่เจือจางด้วยด่าง แล้วเกิดเป็นสารประกอบชาลโคน (chalcone) ที่มีลักษณะสีเหลือง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ส่วนอีกวิธีคือ การวิเคราะห์ด้วย HPLC ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีข้างต้น เนื่องจากสามารถแยกสารที่มีโครงสร้างคล้ายกันออกจากกันได้โดยตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร (Kimball, 1999)



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของนาริงจิน

ที่มา: Kimball (1991)

5. ปัจจัยที่มีผลต่อสารให้ความขมน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

5.1 ชนิดและพันธุ์

ผลไม้ต่างชนิดกันจะมีปริมาณสารให้ความขมแตกต่างกันเช่น น้ำส้มโอมีปริมาณนาริงจินสูงกวน้ำมะนาวเทศ (Salmah *et al.*, 1990) น้ำเกรฟฟรุตมีปริมาณลิโมนินสูงกวน้ำส้มวาเลนเซีย (Scott, 1970) หรือผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์จะมีปริมาณสารให้ความขมแตกต่างกัน เช่น น้ำมะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณลิโมนินและนาริงจินสูงกวน้ำมะนาวพันธุ์ไข่ (สุวรรณ และ ระติพร, 2544) น้ำส้มพันธุ์โชกุนมีปริมาณลิโมนินสูงกวน้ำส้มพันธุ์ชัชชума (Sun *et al.*, 2005)

5.2 ระยะในการเก็บเกี่ยว

ระยะในการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณลิโมนินในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม คือ การเก็บผลไม้ในช่วงก่อนผลสุกเต็มที่จะมีปริมาณลิโมนินสูง แต่ถ้าเก็บในช่วงผลไม้แก่จัด ปริมาณลิโมนินจะลดลง (Vincent *et al.*, 1980) และ Kola *et al.* (2010) รายงานว่าน้ำส้มที่คั้นจากส้มที่เก็บก่อนระยะการเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณลิโมนินสูงกวน้ำส้มที่คั้นจากส้มที่เก็บเกี่ยวในระยะเจริญเติบโตเต็มที่

5.3 สภาวะภายหลังการเก็บเกี่ยว

การควบคุมสภาวะภายหลังการเก็บเกี่ยวจะสามารถลดความชื้นได้ เช่น การใช้แก๊สเอทิลีนความเข้มข้น 20 ppm สัมผัสกับผลมะนาวเป็นเวลา 3 ชั่วโมงภายหลังจากการเก็บเกี่ยว สามารถลดปริมาณลิโมนินได้ และการให้ผลมะนาวสัมผัสกับแก๊สเอทิลีนก่อนและหลังการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 5 °ซ สามารถลดปริมาณลิโมนินได้เมื่อเก็บเป็นเวลา 28 วัน (สุวรรณ และ ระติพร, 2544)

5.4 สารให้ความชื้นในส่วนต่างๆ ของผลไม้

สุวรรณ และ ระติพร (2544) ได้ศึกษาปริมาณลิโมนินในส่วนต่างๆ ของมะนาวพันธุ์ไข่และมะนาวพันธุ์แป้น พบว่ามีปริมาณลิโมนินมากที่สุดในเมล็ด รองลงมาคือ กลีบผล เปลือกชั้นใน เปลือกชั้นนอก และน้ำคั้น แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งในเมล็ดมีปริมาณลิโมนินมากที่สุด เนื่องจากลิโมนินถูกสังเคราะห์ที่บริเวณใบ แล้วเคลื่อนย้ายสู่เนื้อเยื่อและเมล็ดเป็นอันดับสุดท้าย

ตารางที่ 4 ปริมาณลิโมนินในส่วนต่างๆ ของมะนาวพันธุ์ไข่และพันธุ์แป้น

ส่วนต่างๆ ของมะนาว	ลิโมนิน (ppm)	
	มะนาวพันธุ์ไข่	มะนาวพันธุ์แป้น
เปลือกชั้นนอก	8.06	8.82
เปลือกชั้นใน	9.31	15.71
กลีบผล	16.15	18.95
เมล็ด	165.46	189.58
น้ำ	4.90	6.00

ที่มา: สุวรรณ และ ระติพร (2544)

5.5 วิธีการคั้นน้ำผลไม้

วิธีการคั้นน้ำผลไม้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารให้ความขม คือ ถ้าใช้แรงในการคั้นน้ำมากจะทำให้ปริมาณสารให้ความขมเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ Pareek *et al.* (2011) ศึกษาผลของวิธีการคั้นน้ำต่อปริมาณลิโมนินของน้ำส้มแมนดาริน พบว่าการใช้เครื่องคั้นน้ำแบบไฟฟ้าทำให้มีปริมาณลิโมนินในน้ำส้มสูงกว่าการใช้เครื่องคั้นน้ำแบบเกลียวอัด และงานวิจัยของ Takenaka *et al.* (2007) ศึกษาผลของวิธีการคั้นน้ำต่อปริมาณลิโมนินของน้ำส้มเขียวหวาน ได้พบว่าการใช้เครื่องคั้นน้ำแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal extractor) ทำให้น้ำส้มมีปริมาณลิโมนินมากที่สุด รองลงมาคือ การใช้เครื่องคั้นน้ำแบบสายพาน (belt-press extractor) และเครื่องแบบเกลียวอัด (screw-press extractor)

5.6 การพาสเจอร์ไรซ์

การพาสเจอร์ไรซ์ คือ กระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 °ซ โดยสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้อีกด้วย (วิไล, 2547) แต่มีข้อเสียคือ ความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะเร่งให้สารตั้งต้นที่ไม่มีรสขม คือ ลิโมนิโนเอท เอริง แลคโตน เปลี่ยนไปเป็นลิโมนินได้ จากงานวิจัยของ Rodart (2001) ได้ศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรซ์ที่มีต่อปริมาณลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวาน ซึ่งอุณหภูมิที่ศึกษามี 3 ระดับคือ 60, 70 และ 80 °ซ เวลา 15 นาที พบว่าปริมาณลิโมนินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Pareek *et al.* (2011) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์ต่อปริมาณลิโมนินของน้ำส้มแมนดาริน โดยทำการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 °ซ เวลา 15, 25 และ 35 นาที อุณหภูมิ 75 °ซ เวลา 10, 20 และ 30 นาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้น โดยการพาสเจอร์ไรซ์น้ำส้มอุณหภูมิ 65 °ซ ที่เวลาต่างๆ มีปริมาณลิโมนินน้อยกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 °ซ และอุณหภูมิ 85 °ซ ที่เวลาต่างๆ

6. วิธีการลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

6.1 การควบคุมระยะการเก็บเกี่ยวและกระบวนการผลิต

ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลไม้ตระกูลส้ม เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณลิโมนิน ดังนั้นควรเก็บเกี่ยวผลไม้ในช่วงที่ผลไม้มัสุกเต็มที่ และการใช้ไตรเอทิลลามีน (triethylamine) ความเข้มข้น 200 ถึง 300 ppm ฉีดพ่นไปที่ต้นของผลไม้ตระกูลส้มหลังจากระยะดอกบาน ซึ่งสารดังกล่าวจะช่วยลดความเข้มข้นของสารลิโมนินในผลไม้ก่อนที่จะสุกเต็มที่ (Casas *et al.*, 1979)

ส่วนต่างๆ ของผลไม้ตระกูลส้ม เช่น เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน กลีบผล และเมล็ด จะมีสารให้รสขมกระจายอยู่ทุกส่วน ในกระบวนการคั้นน้ำอาจมีส่วนต่างๆ เหล่านี้ลงไปคั้น การตัดส่วนหัวและท้ายของผลไม้จะช่วยลดแรงคั้น การแยกเนื้อผลไม้ออกจากน้ำคั้นโดยให้น้ำคั้นไหลผ่านตะแกรงสั่น (vibrating screen) และการปอกเปลือกผลไม้ก่อนการคั้นน้ำ วิธีเหล่านี้เป็นวิธีที่สามารถลดความขมได้ (Kimball, 1999)

6.2 วิธีทางเคมี

Maier *et al.* (1973) ใช้แก๊สเอทิลีนในการลดปริมาณลิโมนินโดยการฉีดพ่นลงไปในผลส้มพันธุ์นาเวลด้วยความเข้มข้น 20 ppm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำมาคั้นน้ำและวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินด้วย HPLC ซึ่งพบว่าสามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มได้ร้อยละ 36

Kimball (1987) ศึกษาการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้ม โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ควบคุมความดันในระดับ 3000-6000 เมกะปาสกาล และอุณหภูมิระหว่าง 30 และ 60 °C เวลา 1 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มได้ร้อยละ 25 และลดลงได้ถึงร้อยละ 60 เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 4 ชั่วโมง และวิธีนี้มีผลต่อปริมาณวิตามินซีและปริมาณกรดซิตริกเล็กน้อย

6.3 การใช้เอนไซม์และจุลินทรีย์

Prakash *et al.* (2002) ใช้เอนไซม์นารังจินเนสในการลดปริมาณนารังจินในน้ำเกรฟฟรุต โดยใช้เอนไซม์ปริมาณ 0.25, 0.5 และ 1.0 กรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 40 °ซ เวลา 1, 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าการใช้เอนไซม์นารังจินเนสปริมาณ 1.0 กรัมต่อลิตร และ บ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณนารังจินได้ดีที่สุดคือลดได้ร้อยละ 75

Hasegawa *et al.* (1982) ใช้แบคทีเรียชนิด *Arthrobacter globiformis* ที่ผ่านกระบวนการ immobilization ด้วย acrylamide gel ลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มพินฐานาเวล ซึ่งสามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 70 ซึ่งในแบคทีเรีย *Arthrobacter globiformis* จะมีเอนไซม์ลิโมนิเอต ดีไฮโดรจีเนส (limonoate dehydrogenase) โดยเอนไซม์ชนิดนี้จะไปทำให้สารลิโมนินเปลี่ยนไปเป็นลิโมนิเอต เอริง แลคโตน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ไม่มีรสขม

6.4 วิธีทางกายภาพ

วิธีทางกายภาพเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งมีทั้งวิธีการลวกและการใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ โดยแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพแตกต่างกันดังนี้

6.4.1 การลวก (blanching) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดสารให้ความขมที่ส่วนของเปลือกชั้นนอกของผลไม้ตระกูลส้มได้ โดยการนำผลไม้ไปให้ความร้อนซึ่งมีทั้งการใช้ไอน้ำและการใช้น้ำร้อน จากนั้นทำให้เย็นลง (นิธิยา, 2544) ซึ่งเมื่อผลไม้ที่ผ่านการลวกจะทำให้เซลล์ของเปลือกชั้นนอกแตกจึงอาจทำให้สารลิโมนินที่อยู่ภายในหลุดออกไปอยู่ในน้ำร้อนที่ใช้ลวก

งานวิจัยของ วรณิ (2545) ศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อสารให้ความขมในน้ำมะนาว โดยนำผลมะนาวมาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °ซ เป็นเวลา 1 นาที ก่อนการคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นแบบลูกกลิ้ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า การลวกผลมะนาวสามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวได้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวจากผลมะนาวสด ซึ่งการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °ซ สามารถลดปริมาณลิโมนินได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 90

Wuttipalakorn *et al.* (2009) ศึกษาผลของการลวกเปลือกมะนาวต่อปริมาณลิโมนิน โดยนำเปลือกมะนาวมาลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 °ซ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาจุ่มในเอทานอลร้อยละ 95 นาน 30 นาที และวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินด้วยเทคนิค HPLC พบว่า การลวกทำให้ปริมาณลิโมนินในเปลือกมะนาวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกมะนาวสด

6.4.2 การใช้ตัวดูดซับ

ตัวดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้มโดยตัวดูดซับจะดูดซับสารให้ความขมให้ลดลงหรือหมดไป ซึ่งตัวดูดซับมีหลายชนิดและแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันดังนี้

ผงถ่านกัมมันต์ (activated carbon) จากงานวิจัยของ Ribeiro *et al.* (2002) ศึกษาการใช้ผงถ่านกัมมันต์ในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มพบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 50 แต่มีผลทำให้น้ำส้มมีกลิ่นของกำมะถัน

เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) จากงานวิจัยของ Chandler and Johnson (1977) ศึกษาการใช้เซลลูโลสอะซิเตทในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้ม โดยใช้ในรูปแบบที่เป็นเกล็ดและเป็นผง พบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 44 เมื่อใช้แบบเกล็ด และลดได้ร้อยละ 70 เมื่อใช้แบบผง ซึ่งวิธีนี้จะสูญเสียวิตามินซีเล็กน้อย

เบต้าไซโคลเด็กทรีนโพลิเมอร์ (beta-cyclodextrin polymer) จากงานวิจัยของ Shaw *et al.* (1984) ศึกษาการใช้เบต้าไซโคลเด็กทรีนโพลิเมอร์ลดปริมาณลิโมนินในน้ำเกรฟฟรุต โดยใช้โพลิเมอร์ 1 กรัม ต่อน้ำผลไม้ 50 มิลลิลิตร ในกระบวนการแบบกะ (batch) พบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มได้ร้อยละ 50 และงานวิจัยของตวิธา (2548) ได้ลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวานด้วยเบต้าไซโคลเด็กทรีนโพลิเมอร์โดยกระบวนการฟลูอิดไอเซชัน ซึ่งสามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 70 และกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณวิตามินซี

เปลือกไข่ (eggshell) จากงานวิจัยของณัฏฐา (2540) ใช้เปลือกไข่ในการลดความขมในน้ำส้มเขียวหวาน โดยใช้เปลือกไข่ขนาด 60-80 ไมโครเมตร ปริมาณ 15 กรัมต่อน้ำส้ม 100 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 30

ไคโตซาน (chitosan) จากงานวิจัยของสุพัตรา (2547) ศึกษาการใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวาน ด้วยกระบวนการแบบเมมเบรนแบบคอลลอยด์ และแบบกวนผสม โดยทั้ง 3 กระบวนการมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณ ลิโมนินได้แตกต่างกัน ซึ่งแบบเมมเบรนลดได้ร้อยละ 68.70 แบบคอลลอยด์ลดได้ร้อยละ 37.20 และแบบกวนผสมลดได้ร้อยละ 32.70

เรซินสังเคราะห์ (synthetic resin) จากงานวิจัยของ Lee and Kim (2003) ใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำเกรฟฟรุตแดง พบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 100 และงานวิจัยของ Couture *et al.* (1992) ศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ชนิดแลกเปลี่ยนประจุลบ (anion exchange resin) คือ Amberlite IRA-93 ในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มพบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 30 แต่มีผลทำให้ปริมาณกรดลดลง นอกจากนี้ Johnson and Chandler (1982) ได้ใช้เรซินสังเคราะห์ชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange resin) คือ Amberlite IR-400 ในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำเกรฟฟรุต พบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 23

เรซินสังเคราะห์ผลิตมาจากโพลีเมอร์ชนิดพอลิสไตรีน (polystyrene) ที่ผ่านการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (crosslink) เพื่อทำให้ได้โพลีเมอร์ที่มีคุณสมบัติทนต่อตัวทำละลายและความร้อน เช่น สไตรีนไดไวนิลเบนซีนโคพอลิเมอร์ (poly(styrene-co-divinyl benzene) เป็นโพลีเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้เป็นตัวดูดซับ วัสดุบรรจุคอลัมน์สำหรับเทคนิคโครมาโทกราฟี และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น (Li *et al.*, 2006) ในด้านการผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้มปัญหาที่มักพบคือ รสขม ได้มีการนำเรซินสังเคราะห์มาใช้ในการลดความขมเนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก มีการปนเปื้อนของสารเคมีน้อย และสามารถนำเรซินกลับมาใช้ซ้ำได้ ซึ่งในทางการค้ามีการผลิตเรซินสังเคราะห์ขึ้นมาหลายชนิดคือ ชนิดที่ไม่มีขั้ว (non polar) ชนิดที่มีขั้ว (polar) และชนิดแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) แสดงดังตารางที่ 5 นอกจากนี้เรซินสังเคราะห์บางชนิดได้มีการนำมาใช้ในการลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารให้ความขมที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 เรซินสังเคราะห์ชนิดที่ไม่มีขั้ว ชนิดที่มีขั้ว และชนิดแลกเปลี่ยนประจุ

เรซินสังเคราะห์	ลักษณะทางเคมี	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุน (อังสตรอม)	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
XAD-2	non polar	330	90	20-60
XAD-4	non polar	750	100	20-60
XAD-16	non polar	900	100	20-60
XAD-16HP	non polar	800	200	20-60
XAD-18	non polar	800	150	20-60
XAD-1180	non polar	600	300	20-60
XAD-1600N	non polar	800	150	20-60
XAD-2010	non polar	660	280	20-60
XAD-7	polar	450	90	20-60
XAD-7HP	polar	500	100	20-60
CG-71m	polar	450-550	200-300	50-100
CG-71c	polar	450-550	200-300	80-160
HP2MG	polar	500	200-800	25-50
IR-400	ion exchange	-	-	20-25
IRA-68	ion exchange	-	-	16-50
IRP-64	ion exchange	-	-	100-400
IR-120	ion exchange	-	-	19-25

ที่มา: Mozaffar *et al.* (1998)

ตารางที่ 6 ชนิดของเรซินสังเคราะห์ที่มีการนำมาใช้ในการลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

เรซินสังเคราะห์	ประสิทธิภาพในการดูดซับสารให้ความขมของเรซินสังเคราะห์		USFDA
	ลิโมนิน	นาริงจิน	
XAD-2	P	S	x
XAD-4	M	M	x
XAD-7	S-P	P	x
XAD-16	P	P	/
S 861	S	S	/
S 866	S	M	/
ES 375	N	N	x
IRA-35	W	N	x
IRA-68	N	N	/
IRA-93	W-M	W-M	/
A 7	N	W	/
A 30B	N	N	/
IR-400	M	M	x
A 378	M	M	/
C 436	M	M	x
IRP-64	M-S	M	x

หมายเหตุ P (powerful) คือ มีประสิทธิภาพในการลดสารได้มากกว่าร้อยละ 70

S (strong) คือ มีประสิทธิภาพในการลดสารได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50

M (moderate) คือ มีประสิทธิภาพในการลดสารได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20

W (weak) คือ มีประสิทธิภาพในการลดสารได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 10

N (negligible) คือ มีประสิทธิภาพในการลดสารได้น้อยกว่าร้อยละ 10

เครื่องหมาย / คือ USFDA อนุญาตให้ใช้กับอาหาร

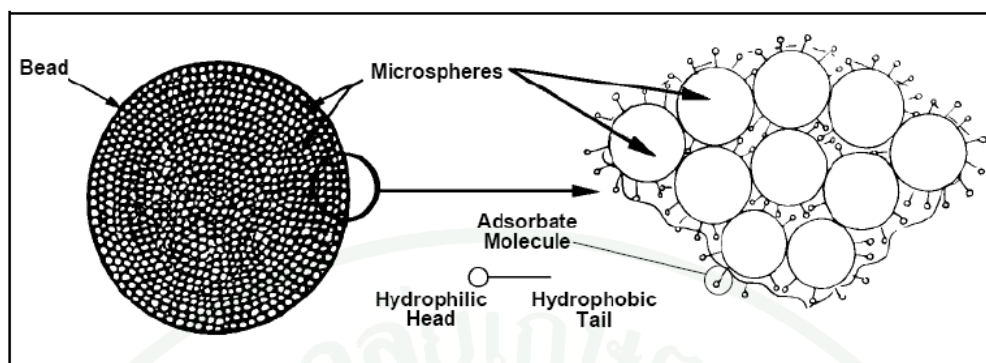
เครื่องหมาย x คือ USFDA ยังไม่มีการอนุญาตให้ใช้กับอาหาร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Johnson and Chandler (1985)

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 มีประสิทธิภาพในการลดสารให้ความขมที่เกิดจากลิโมนินและนาริงจินมากที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นเรซินสังเคราะห์ที่ USFDA (US Food and Drug Administration) อนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยเฉพาะกระบวนการลดความขมในน้ำผลไม้ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้มได้มีการนำเรซินสังเคราะห์ชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการลดความขมโดยการเข้าร่วมกับอัลตราฟิวเตรชัน (ultrafiltration) ซึ่งเป็นระบบเมมเบรนที่ใช้ในการแยกเนื้อของผลไม้จากน้ำผลไม้ก่อนที่น้ำผลไม้จะเข้าสู่กระบวนการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ซึ่งสามารถลดสารลิโมนินในน้ำผลไม้ตระกูลส้มให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้คือไม่เกิน 6 ppm (Kimball, 1999)

เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 เป็น โคลิโพลิเมอร์แบบ crosslinked polystyrene divinyl benzene มีคุณสมบัติเป็นโมเลกุลไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) มีโครงสร้างแบบ nonionic มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาว ไม่ละลายน้ำ ขนาด 20 ถึง 60 ไมโครเมตร หลักการของเรซินสังเคราะห์ชนิดนี้เป็นกระบวนการดูดซับ (adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการแยกสารต่างๆ ออกจากตัวอย่างที่เป็นของเหลว โดยให้ตัวอย่างของเหลวมาสัมผัสกับตัวดูดซับ โมเลกุลของสารที่มาเกาะจับหรือติดบนผิว เรียกว่า adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า adsorbent ซึ่งก็คือ เรซินสังเคราะห์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของเรซินสังเคราะห์คือ ค่าไดโพลโมเมนต์ พื้นที่ผิว และขนาดรูพรุน นอกจากนี้เรซินสังเคราะห์ยังสามารถดูดซับสารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 0-14 และทนความร้อนได้สูงสุดถึง 250 °C

ลักษณะโครงสร้างและกระบวนการดูดซับของเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 แสดงดังภาพที่ 7 โดยลักษณะของเรซินจะเป็นเม็ด bead เล็กๆ ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวที่แตกต่างกัน ใน 1 เม็ดนั้นจะประกอบไปด้วย microsphere ขนาดเล็กจำนวนมาก โดยมีส่วนที่เป็นเจลและส่วนที่เป็นรูพรุนอย่างต่อเนื่อง โครงสร้างแบบรูพรุนนี้จะทำให้น้ำหรือของเหลวสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ในกระบวนการดูดซับส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกของตัวอย่างจะถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวของเรซินสังเคราะห์ด้วยแรงยึดจับแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals force) ในขณะที่ส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จะยังคงเรียงตัวอยู่ในเฟสที่เป็นของเหลว ซึ่งจะเห็นได้ว่าโมเลกุลของสารตัวอย่างจะถูกดูดซับไว้ที่บริเวณผิวนอกของเรซินแต่ไม่ได้ถูกดูดซับในโครงสร้างของ microsphere (Sigma-Aldrich Co., 1997)



ภาพที่ 7 โครงสร้างและการดูดซับของเรซินสังเคราะห์ชนิด Amberlite XAD-16

ที่มา: Sigma-Aldrich Co. (1997)

7. สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound)

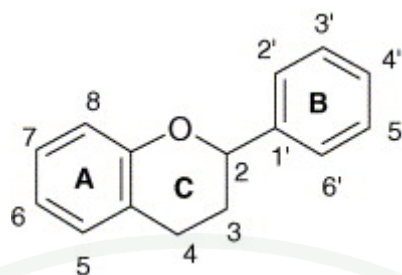
สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารในกลุ่ม secondary metabolites ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) และมีหมู่แทนที่เป็นไฮดรอกซิล (hydroxyl group) อย่างน้อย 1 หมู่มาเกาะอยู่ ซึ่งจำนวนวงฟีนอลและหมู่ที่มาเกาะเป็นลักษณะที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก (Bravo, 1998) โดยส่วนใหญ่แล้วในพืชจะพบสารประกอบฟีนอลิกในรูปอิสระน้อยมาก มักจะพบอยู่ในรูปโกลโคไซด์มากกว่ารูปอะโกลโคน (Banias *et al.*, 1992) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มตามโครงสร้าง ดังแสดงตามตารางที่ 7 นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังมีผลต่อการเกิดสี กลิ่น และรสชาติในผักและผลไม้ พืชจะสร้างสารประกอบฟีนอลิกขึ้นมาเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและใช้เป็นกลไกในการป้องกันอันตรายต่างๆ ให้กับพืช อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกยังมีบทบาทในการดึงดูดสัตว์และแมลงเพื่อช่วยในการผสมเกสรเพื่อขยายพันธุ์ของพืชต่อไป (Kim *et al.*, 2003)

ตารางที่ 7 โครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มต่างๆ

กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก	โครงสร้าง
Simple phenolics, benzoquinones	C_6
Hydroxybenzoic acids	C_6-C_1
Acetophenones, phenylacetic acids	C_6-C_2
Hydroxycinnamic acids, phenylpropanoids	C_6-C_3
Napthoquinones	C_6-C_4
Xanthones	$C_6-C_1-C_6$
Stilbenes, anthraquinones	$C_6-C_2-C_6$
Flavonoids, isoflavonoids	$C_6-C_3-C_6$
Lignans, neolignans	$(C_6-C_3)_2$
Biflavonoids	$(C_6-C_3-C_6)_2$
Lignins	$(C_6-C_3)_n$
Condensed tannins (proanthocyanidins and flavolans)	$(C_6-C_3-C_6)_n$

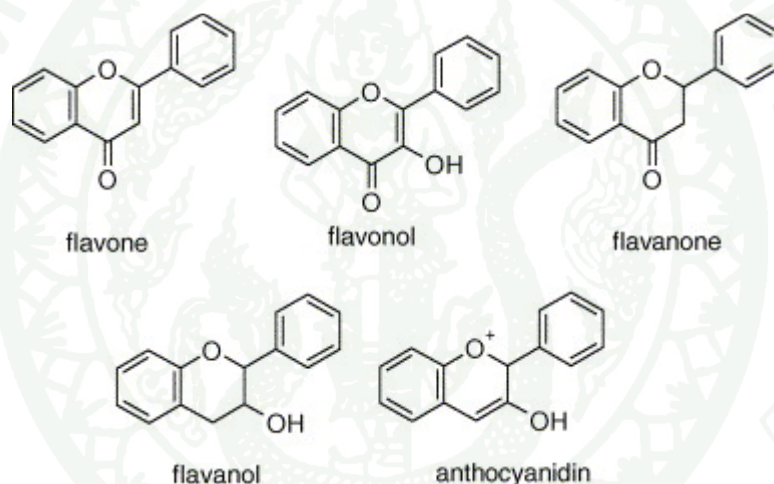
ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)

สารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารประกอบที่พบมากในพืชและในผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างพื้นฐานจากคาร์บอนอะตอมสามวงต่อกัน ซึ่งประกอบไปด้วยวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) A ต่อกับวงเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) C และมีพันธะของคาร์บอนอะตอมเชื่อมกับวงอะโรมาติก B แสดงดังภาพที่ 8 จากโครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งฟลาโวนอยด์ออกเป็น 6 กลุ่มใหญ่คือ ฟลาวานอล (flavanol) ฟลาโวน (flavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาวาโนน (flavanone) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) และแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) แสดงดังภาพที่ 9 (Hollman and Katan, 1999)



ภาพที่ 8 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟลาโวนอยด์

ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)



ภาพที่ 9 โครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มหลักในสารประกอบฟลาโวนอยด์

ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)

สารประกอบฟลาโวนอยด์มีผลดีต่อสุขภาพ โดยช่วยป้องกันโรคต่างๆ ในการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การรับประทานอาหารที่มีสารประกอบฟลาโวนอยด์มีความสัมพันธ์ในการลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ (Egert and Rimbach, 2011) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าสารประกอบฟลาโวนอยด์มีผลต่อการป้องกันการเกิดไขมันไปสะสมในหลอดเลือด เช่น ป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไลโปโปรตีน การเกิดการรวมตัวกันของเกล็ดเลือด เป็นต้น ซึ่งอาการดังกล่าวสามารถส่งผลต่อการเกิดโรคหัวใจได้ (Middleton *et al.*, 2000) โดยแหล่งอาหารที่มีสารประกอบฟลาโวนอยด์ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แหล่งอาหารที่มีสารประกอบฟลาโวนอยด์

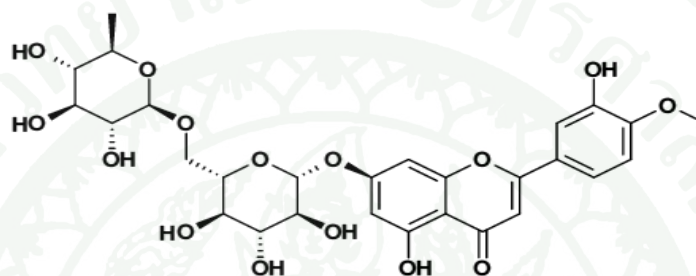
กลุ่มของสารประกอบ ฟลาโวนอยด์	สารประกอบฟลาโวนอยด์	แหล่งอาหาร
anthocyanidin	cyanidin, apigenidin	มะเขือม่วง แบลคเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่
flavanol	catechin, epicatechin, epigallocatechin	ชาเขียว ชอคโกแลต เซอร์รี่
flavanone	hesperidin, naringin, narirutin	ผลไม้ตระกูลส้ม เกรฟฟรุต
flavone	apigenin, luteolin	พริกหวาน ผักชี ขึ้นช่าย
flavonol	quercetin, kaempferol, myricetin	หัวหอม แอปเปิ้ล ถั่วเหลือง
isoflavone	genistein, daidzein	บรอกโคลี

ที่มา: Egert and Rimbach (2011)

ผลไม้ตระกูลส้มและผลิตภัณฑ์เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญ Ghafar *et al.* (2010) ตรวจพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมะนาวซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 211.70 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญที่พบได้ในผลไม้ตระกูลส้มมีอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิก ประเภทของสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในผลไม้ตระกูลส้ม คือ สารประกอบฟลาโวนอยด์ในกลุ่มย่อยของฟลาวาโนน (flavanones) เช่น เฮสเพอริดิน (hesperidin) นาริรูติน (narirutin) นีโอเฮสเพอริดิน (neohesperidin) นาริงจีน (naringin) และ นีโออีริโอซิตริน (neoeriocitrin) (Tripoli *et al.*, 2007) นอกจากนี้ในผลไม้ตระกูลส้มยังสามารถพบกรดฟีนอลิกอีกหลายชนิด เช่น คาเฟอิก (caffeic) พี-คูมาลิก (*p*-coumaric) เฟอรูลิก (ferulic) และซินนาปิก (sinapic) (Robbins, 2003)

จากงานวิจัยของ Nogata *et al.* (2006) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในผลไม้ตระกูลส้มพบว่า สารเฮสเพอริดินเป็นสารหลักที่พบในมะนาวไทย (*Citrus aurantifolia*) โดยมีปริมาณเท่ากับ 197 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด เฮสเพอริดินเป็นสารหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาวาโนนที่เป็นกลุ่มย่อยของสารประกอบฟลาโวนอยด์ ซึ่งอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ คือมีโครงสร้างเกาะกับน้ำตาล rutinose (ภาพที่ 10) และเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ในเมทานอลและกรดอะซิติก นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ปราศจากกลิ่นและรสชาติ ซึ่งพบสารนี้ได้

ส่วนของเปลือกชั้นนอกและเนื้อเยื่อของผลไม้ (Kimball, 1999) เฮสเพอริดินเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ด้านการอักเสบ ป้องกันมะเร็ง และด้านการเกิดภูมิแพ้ (Garg *et al.*, 2001) แต่มีผลเสียต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำผลไม้ตระกูลส้มคือ จะพบเป็นลักษณะแผ่นฟิล์มขาวๆ ในน้ำผลไม้ โดยลักษณะเช่นนี้เกิดจากการเรียงตัวของสารเฮสเพอริดินภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (Kimball, 1991)



ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของเฮสเพอริดิน

ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)

8. อนุมูลอิสระและสารต้านออกซิเดชัน

8.1 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากในโมเลกุลมีอิเล็กตรอนขาดไป 1 ตัว (Zewat *et al.*, 1999) ซึ่งในโมเลกุลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ reactive oxygen species (ROS) และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบคือ reactive nitrogen species (RNS) อนุมูลอิสระเหล่านี้ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical, $O_2^{\cdot-}$) อนุมูลไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide radical, $H_2O_2^{\cdot}$) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, $OH^{\cdot}$) อนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical, $ROO^{\cdot}$) อนุมูลไนตริกออกไซด์ (nitric oxide radical, $NO^{\cdot}$) และอนุมูลไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide, $NO_2^{\cdot}$) เป็นต้น (Asada, 1999) อนุมูลอิสระอาจเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การหายใจ หรืออาจเกิดจากมลภาวะภายนอก เช่น รังสียูวี ควันบุหรี่ เป็นต้น โดยปกติร่างกายมีการรักษาสมดุลและกำจัด

อนุมูลอิสระ แต่ถ้าเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายมากเกินไปจะทำให้ร่างกายผิดปกติ เช่น ทำลายเซลล์ในร่างกาย ทำลายกรดนิวคลีอิกซึ่งเป็นองค์ประกอบของดีเอ็นเอ ส่งผลทำให้เกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น

8.2 สารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หมายถึง สารที่สามารถลดหรือยับยั้งปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดออกซิเจนหรือสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งเป็นสารที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น (substrate) หรือหมายถึงสารในอาหารที่มีผลในการลด reactive oxygen species หรือ reactive nitrogen species ในร่างกาย (Huang *et al.*, 2005) นอกจากนี้สารต้านออกซิเดชันยังมีความสำคัญต่อระบบอาหาร โดยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบในอาหาร โดยเฉพาะไขมันเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา รวมทั้งมีประโยชน์ต่อร่างกาย คือ ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเป็นสารต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ และต้านการก่อมะเร็งอีกด้วย

ปัจจุบันสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ เช่น จากผักและผลไม้ ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคหันมาสนใจและใส่ใจในสุขภาพมากขึ้น ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติว่าปลอดภัย ไม่มีสารเคมี ในขณะที่สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์บางชนิดมีการรายงานว่า เกิดความเป็นพิษในสัตว์ทดลอง โดยจะทำให้เซลล์เกิดการ ทำงานที่ผิดปกติ ทำให้เกิดเป็นเนื้องอก หรือเกิดการกลายพันธุ์ และอาจก่อให้เกิดมะเร็งในที่สุดเมื่อได้รับสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์เป็นเวลานานและในปริมาณที่มากเกินไป (Madhavi and Salunkhe, 1997) ผัก ผลไม้ รวมถึงธัญพืชเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งสารต้านออกซิเดชันที่พบได้ในผักและผลไม้ ได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก ส่วนใหญ่สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติจะเป็นสารประกอบฟีนอลิก

9. การวัดความสามารถต้านออกซิเดชัน

สามารถแบ่งการวัดความสามารถต้านออกซิเดชันตามลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 2 แบบคือ การแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer, HAT) และการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (single electron transfer, SET) ซึ่งทั้งสองหลักการนี้ประกอบไปด้วยวิธีการวัดความสามารถต้านออกซิเดชันหลายวิธี (Huang *et al.*, 2005) แสดงดังตารางที่ 9 เช่น Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay นิยมใช้วัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันของพืชและระบบร่างกาย Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay เหมาะสำหรับการวัดสารต้านออกซิเดชันทั่วไปในอาหาร และ 2,2-di(4-*tert*octylphenyl)-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay เหมาะสำหรับการวัดความสามารถต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากผักและผลไม้ หรือน้ำผักและผลไม้ เป็นต้น

ตารางที่ 9 การเกิดปฏิกิริยาและวิธีการวัดความสามารถต้านออกซิเดชัน

การเกิดปฏิกิริยา	วิธีการวัดความสามารถต้านออกซิเดชัน
การแลกเปลี่ยนอะตอมไฮโดรเจน (HAT)	ORAC (oxygen radical absorbance capacity)
$ROO^\bullet + AH \longrightarrow ROOH + A^\bullet$	TRAP (total radical trapping antioxidant parameter)
$ROO^\bullet + LH \longrightarrow ROOH + L^\bullet$	inhibition of linoleic acid oxidation
	inhibition of LDL oxidation
	IOU (inhibit oxygen uptake)
การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเดี่ยว (SET)	TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity)
$X^\bullet + AH \longrightarrow X^- + AH^{+\bullet}$	FRAP (ferric ion reducing antioxidant parameter)
	DPPH (diphenyl-1-picrylhydrazyl)
	total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent
	Copper (II) reduction capacity
ปฏิกิริยาอื่นๆ	TOSC (total oxidant scavenging capacity)
	inhibition of Briggs-Rauscher oscillation reaction
	electrochemiluminescence

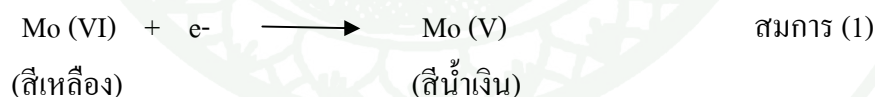
ที่มา: Huang *et al.* (2005)

9.1 ตัวอย่างวิธีที่ใช้วัดความสามารถต้านออกซิเดชันในน้ำผลไม้

Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent (FCR)

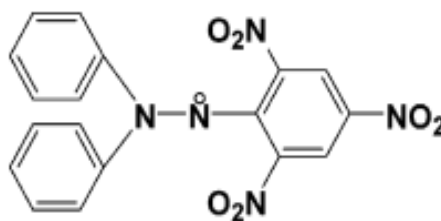
การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เริ่มแรกนั้นใช้สำหรับการวิเคราะห์โปรตีนไทโรซีน เนื่องจากมีหมู่ฟีนอลซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu Reagent (FCR) ได้ ต่อมาการใช้วิธีนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในไวน์ ตั้งแต่นั้นมาการวิเคราะห์วิธีนี้จึงเป็นที่นิยมในการใช้วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด หลักการของวิธีนี้คือ เป็นการวัดความสามารถของสารในการรีดิวซ์ โดยจะทำปฏิกิริยากับ FCR ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง และวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent, GAE) (Huang *et al.*, 2005)

FCR เป็นสารละลายสีเหลืองเข้ม โครงสร้างประกอบด้วย heteropolyphospho- tungstate- molybdates ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาโดยการรับ 1 หรือ 2 อิเล็กตรอน แล้วเปลี่ยนเป็นสารละลายสีน้ำเงิน เนื่องจาก Mo (V) หรือ molybdenum ง่ายต่อการรับอิเล็กตรอนระหว่าง reductant และ Mo (VI) ตามสมการที่ 1 แต่ molybdenum ไม่จำเพาะกับสารประกอบฟีนอลิกเท่านั้น ยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นๆ ที่มีหมู่รีดิวซ์ เช่น วิตามินซี



2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay

หลักการของวิธีนี้คือ วัดความสามารถในการยับยั้ง 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ซึ่งเป็นสารอนุมูลไนโตรเจนที่ค่อนข้างคงตัวและมีความเสถียรสูง ดังภาพที่ 11 โดยในขณะเริ่มต้นการทดลอง DPPH จะให้สารสีม่วงเข้ม เมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงเข้มเป็นสีเหลือง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH จะลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต้านออกซิเดชันและอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 11 โครงสร้างของ DPPH

ที่มา: Huang *et al.* (2005)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีความแม่นยำ ใช้เวลาน้อย และใช้เครื่องมือที่ง่ายในการวัดคือ เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ นิยมใช้วิธีนี้เป็นวิธีเบื้องต้นในการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับการวัดการต้านออกซิเดชันของน้ำผักและน้ำผลไม้ หรือสารสกัดจากผักและผลไม้ (Huang *et al.*, 2005) แต่ไม่เหมาะสมในการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในเลือดหรือพลาสมา เนื่องจาก DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่มีความคงตัวจึงไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือร่างกาย นอกจากนี้อิเล็กตรอนเดี่ยวในโครงสร้างของอนุมูลอิสระ DPPH จะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วงและหมู่ไนโตร (ภาพที่ 10) ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง และสารรีดิวซ์ยังสามารถทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้อีกด้วย (โอภา และ คณะ, 2549)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 มะนาวพันธุ์แป้น เบอร์ 400 จากตลาดสี่มุมเมือง กรุงเทพมหานคร

2. สารเคมี

2.1 เอทานอล (Merck, เยอรมันนี)

2.2 เมทานอล (AR grade, Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)

2.3 เมทานอล (HPLC grade, Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)

2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck, เยอรมันนี)

2.5 อะซีโตรไนไตรล์ (HPLC grade, Mallinckrodt, สหรัฐอเมริกา)

2.6 กรดซิตริก (Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)

2.7 ออโต-ฟีนิลลินไคเอมีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.8 เฮกซะเซซิลไตรเมทิล-แอมโมเนียมโบรไมด์ (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.9 เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีติกแอซิด (Merck, เยอรมันนี)

2.10 โพแทสเซียม ได-ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)

2.11 กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก : Dehydro-L-ascorbic acid (HPLC grade, Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.12 กรดแอสคอร์บิก : L-ascorbic acid (HPLC grade, Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.13 กรดไอโซแอสคอร์บิก : D-isoascorbic acid (HPLC grade, Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.14 กรดแอสคอร์บิก : L-ascorbic acid (AR grade, Polskie Odezynniki Chemiczne S.A, โปแลนด์)

- 2.15 กรดแกลลิก (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.16 โซเดียมคาร์บอเนต (Ajax Finechem, นิวซีแลนด์)
- 2.17 โพลิน-ซีโอคาทุ (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.18 2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคิล-ไฮดราซิด: DPPH (Aldrich, เยอรมันนี)
- 2.19 ฟีนอล์ฟทาไลน์ (Merck, เยอรมันนี)
- 2.10 ลิโมนิน : Limonin (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.11 เฮสเพอริดิน : Hesperidin (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2.12 เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 (Rohm and Hass, Philadelphia, สหรัฐอเมริกา)

3. อุปกรณ์

- 3.1 เครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบคั้นโยก (Hatsuyuki, ประเทศไทย)
- 3.2 เครื่องวัดสี (colorimeter) รุ่น 3500d (Minolta, ญี่ปุ่น)
- 3.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น 2-Star Benchtop (Thermo Origin, สหรัฐอเมริกา)
- 3.4 เครื่องเหวี่ยงแยกแบบอุณหภูมิต่ำ (refrigerated centrifuge) รุ่น RC-5C Plus (Sorvall, สหรัฐอเมริกา)
- 3.5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (balance: 2 decimals) รุ่น BP 3100S (Sartorius, เยอรมันนี)
- 3.6 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (balance: 4 decimals) รุ่น AC 211S (Sartorius, เยอรมันนี)
- 3.7 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV visible spectrophotometer) รุ่น T60 (PG instrument, อังกฤษ)
- 3.8 เครื่องปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenizer) พร้อมหัวปั่นขนาดเล็ก รุ่น T10 basic (Ika, มาเลเซีย)
- 3.9 เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) (Genie II, สหรัฐอเมริกา)
- 3.10 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC) (Waters, สหรัฐอเมริกา)
- 3.11 Solid Phase Extraction (SPE) ชนิด C-18 ขนาด 300 มิลลิกรัม, 3 มิลลิลิตร (Waters, สหรัฐอเมริกา)
- 3.12 คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

3.13 ปัมป์ (peristaltic pump) รุ่น Micro tube pump MP-3N (Eyela, ญี่ปุ่น)

3.14 เครื่องรีแฟลคโตมิเตอร์ (hand refractometer) รุ่น ATAGO N-10 (0-32 %Brix)
(Atago, ญี่ปุ่น)

3.15 ปิเปตอัตโนมัติ (autopipette) (Gilson, ฝรั่งเศส)

3.16 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยระบบคลื่นเสียง (sonicator) รุ่น RK 52 (Bandelin Soronex,
เยอรมันนี)

3.17 อุปกรณ์เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

3.18 ตู้แช่แข็ง (freezer -40 °C) รุ่น DW-40L262 (Haier, จีน)

3.19 ตู้แช่แข็ง (freezer -20 °C) รุ่น SF-C1497 (Sanyo, ญี่ปุ่น)

วิธีการ

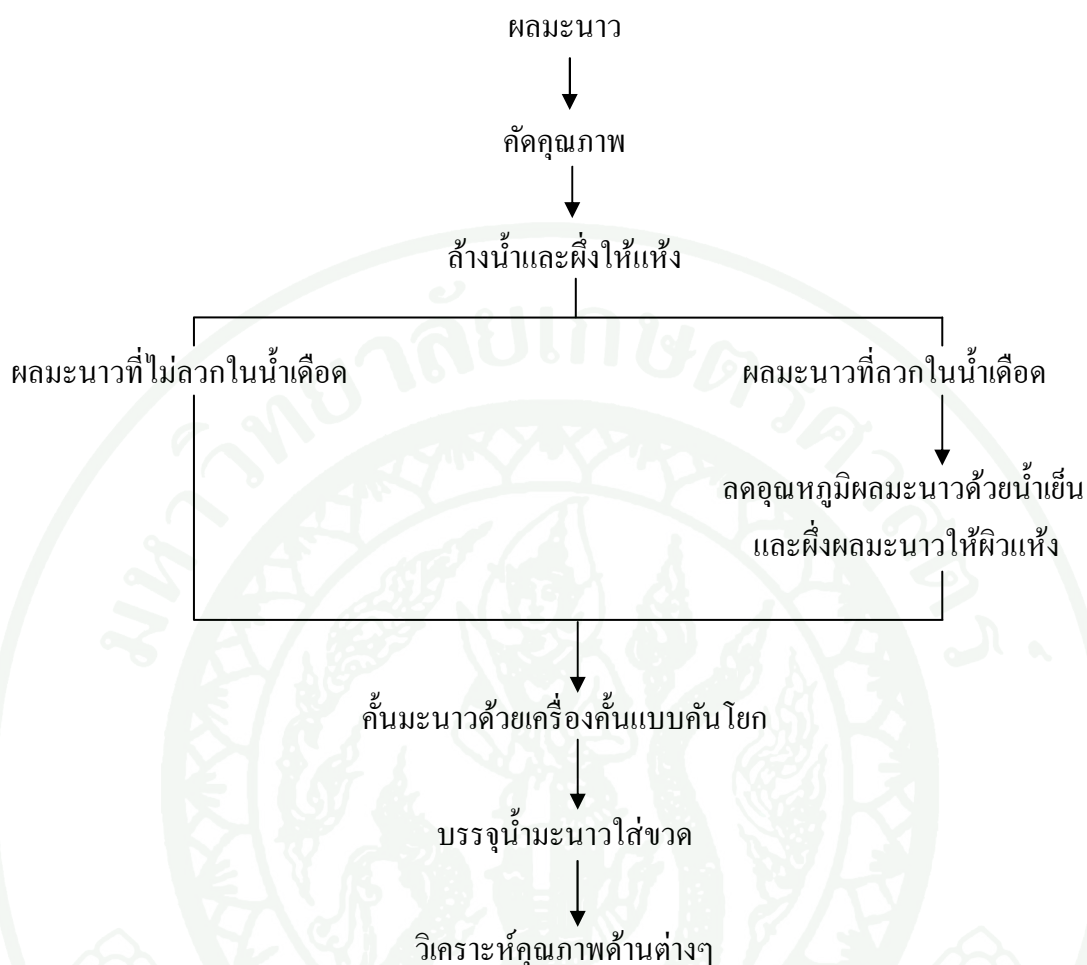
1. การศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำผลมะนาวมาคัดคุณภาพโดยเลือกผลมะนาวที่มีสีเขียวสด ผิวเรียบ ไม่มีรอยชำรุด จากนั้นนำมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง เพื่อนำไปศึกษาตามขั้นตอนต่อไป

1.2 การลวกผลมะนาว

นำผลมะนาวจากข้อ 1.1 มาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 1 นาที (วรรณิ, 2545) โดยมีอัตราส่วนระหว่างน้ำกับผลมะนาว เท่ากับ 20 ลูกต่อน้ำ 2 ลิตร จากนั้นลดอุณหภูมิผลมะนาวด้วยน้ำเย็นทันทีและผึ่งให้แห้ง และอีกส่วนไม่ลวกผลมะนาว (ผลมะนาวสด) โดยในส่วนของผลมะนาวสดจะแบ่งออกไปวิเคราะห์ชนิดของสารให้ความขมและสารประกอบฟลาโวนอยด์ นำผลมะนาวทั้ง 2 ส่วน มาคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบคันโยก โดยผ่าผลมะนาวออกเป็นสองส่วนต่อผล ใส่ผลมะนาวลงในเครื่องคั้นทีละส่วน กดคันโยกเครื่องคั้นเพียง 1 ครั้ง และกรองน้ำมะนาวด้วยตะแกรงหยาบขนาด 0.3 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 12 จากนั้นนำน้ำมะนาวที่ได้ทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ สารให้ความขมคือ ลิโมนิน สารประกอบฟลาโวนอยด์คือ เฮสเพอริดิน วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ตามขั้นตอนในข้อ 1.3 ถึง 1.8



ภาพที่ 12 แผนภูมิการเตรียมตัวอย่างน้ำมะนาวเพื่อศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

1.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี

1.3.1 ค่าสี นำตัวอย่างน้ำมะนาวมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Minolta Colorimeter model 3500d ในระบบ CIE (L^* a^* b^*)

1.3.2 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning Index, BI) โดยนำค่าสีในระบบ CIE (L^* a^* b^*) ของตัวอย่างน้ำมะนาวมาแปลงค่าเป็นค่าสีในระบบ Hunter lab (L a b) แล้วนำมาคำนวณค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลด้วยสมการดังนี้ (Palou *et al.*, 1999)

$$BI = [100(x - 0.31)] / 0.172$$

เมื่อ $x = (a + 1.75L) / (5.645L + a - 3.012b)$

1.3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH-meter

1.3.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) โดยวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างน้ำมะนาวโดยใช้เครื่อง hand refractometer รายงานผลเป็นองศาบริกซ์ (°Brix)

1.3.5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) ตามวิธีของ AOAC 942.15 (AOAC, 2000) นำน้ำมะนาว 2 มิลลิลิตรมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน จากนั้นคำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในหน่วยร้อยละของปริมาณกรดซิตริก

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารให้ความขม

วิเคราะห์สารให้ความขมคือ ลิโมนิน โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) วิธีการสกัดและการวิเคราะห์ดัดแปลงจาก Widmer (1991)

1.4.1 การสกัดลิโมนิน

นำตัวอย่างน้ำมะนาวไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 13,500 g ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใส 6 มิลลิลิตรผ่าน SepPak C₁₈ Tubes ที่มีการ precondition ด้วยเมทานอล 3 มิลลิลิตร และตามด้วยน้ำปราศจากไอออน 6 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างส่วนใสผ่าน SepPak แล้วชะด้วยเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 6 มิลลิลิตร สูดท้ายชะด้วยเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เก็บส่วนที่ได้ตอนสุดท้ายมาผ่านตัวกรอง 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดสีชา ทำการสกัดตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

1.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณลิโมนีน

นำตัวอย่างสารสกัดจากข้อ 1.4.1 มาวิเคราะห์ปริมาณลิโมนีน โดยการฉีดสารสกัดปริมาตร 20 ไมโครลิตร วิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ เข้าสู่คอลัมน์ชนิด C18 (Symmetry®, 3.9 mm x 150 mm) โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นน้ำปราศจากไอออน (DI water) และ อะซิโตรไนไทรล์ (acetonitrile) ในอัตราส่วน 62:38 ซึ่งมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ detector ชนิด UV diode-array ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร วิเคราะห์ปริมาณสารโดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับกราฟมาตรฐานของลิโมนีน

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์คือ เฮสเพอริดิน ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC วิธีการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์มีดังนี้

1.5.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างน้ำมะนาวไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 13,500 g ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสผ่านตัวกรอง 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดสีชา (ดัดแปลงจากวิธีของ Rouseff, 1988)

1.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณเฮสเพอริดิน

นำตัวอย่างจากข้อ 1.5.1 มาวิเคราะห์ปริมาณเฮสเพอริดิน ดัดแปลงจากวิธีของ Gorinstein *et al.* (2006) โดยใช้เครื่อง HPLC ตามสภาวะในการวิเคราะห์ แสดงในตารางผนวก ข1 วิเคราะห์ปริมาณสารโดยนำพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับกราฟมาตรฐานของเฮสเพอริดิน

1.6 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ด้วยเครื่อง HPLC โดยการสกัดและการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีดัดแปลงจากวิธีของ Zapata and Dupour (1992)

1.6.1 การสกัดวิตามินซี

นำตัวอย่างน้ำมะนาว 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง เติมสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 5 ที่มีส่วนผสมของ 0.1 โมลาร์ของกรดซิตริก และ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ร้อยละ 0.05 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่อง homogenizer นาน 2 นาที เติมกรดไอโซแอสคอร์บิก (internal standard) 20 มิลลิกรัมต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 13,500 g ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนใสมากผ่าน SepPak C₁₈ Tubes ที่มีการ precondition ด้วยเมทานอล 10 มิลลิลิตร และตามด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร ไล่น้ำที่ค้างใน cartridge ด้วยอากาศโดยใช้แรงดันจากปั๊มก่อนนำมาใช้ ซึ่งส่วนใส 5 มิลลิลิตรแรกให้ทิ้งไป และเก็บ 3 มิลลิลิตรถัดมา จากนั้นเติม *o*-phenylenediamine (OPDA) ความเข้มข้น 3.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชาและวางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 37 นาที แล้วนำตัวอย่างผ่านตัวกรอง 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดสีชาและฉีดเข้าเครื่อง HPLC

1.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

โดยการฉีดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1.6.1 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร วิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ เข้าสู่คอลัมน์ชนิด C18 (Symmetry®, 3.9 mm x 150 mm) โดยมีเมทานอลต่อน้ำปราศจากไอออน (5:95) ที่มีส่วนผสมของ 5 mM ของ hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) และ 50 mM ของโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ detector ชนิด UV diode-array ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตร สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดไอโซแอสคอร์บิก และที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร สำหรับตรวจวัดกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก คำนวณหาความเข้มข้นโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารชนิดนั้นๆ รายงานผลเป็นมิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร มิลลิกรัมกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร และมิลลิกรัมของปริมาณวิตามินซีทั้งหมด ตามลำดับ โดยปริมาณวิตามินซีทั้งหมดคำนวณมาจากผลรวมของกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร

1.7 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Total phenols assay ดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Lee (2003) โดยใช้ตัวอย่างน้ำมะนาวปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมฟอลิน-ซีโอเคาทุปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 6 นาที เติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 90 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 20-100 ppm (แสดงในภาพผนวก 1) รายงานผลเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร)

1.8 การวิเคราะห์สมบัตการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (DPPH Radical Scavenging Capacity)

การวิเคราะห์สมบัตการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH โดยดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al.* (2002) โดยใช้ตัวอย่างน้ำมะนาวปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ (ละลายในสารละลายเมทานอล) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งที่ไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 20-100 ppm (แสดงในภาพผนวก 2) รายงานผลเป็นสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร)

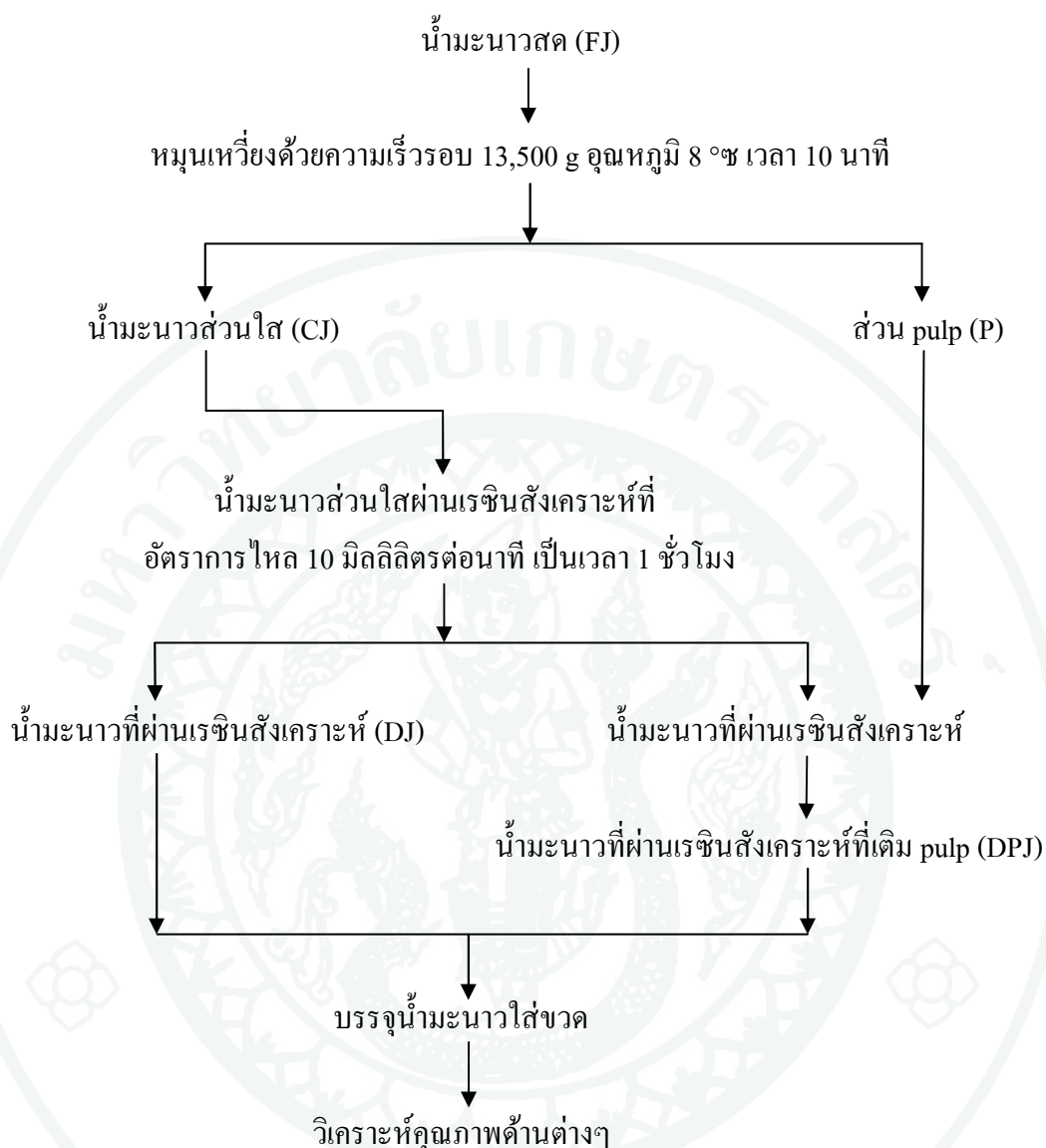
2. การศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำน้ำมะนาวจากข้อ 1.2 ที่คั้นจากผลมะนาวสดไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 13,500 g ที่อุณหภูมิ 8 °ซ เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวส่วนใสและเนื้อเยื่อของมะนาว (pulp) จากนั้นนำทั้งสองส่วนมาเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °ซ เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2 การใช้เรซินสังเคราะห์ในการลดความขม

นำน้ำมะนาวส่วนใสจากข้อ 2.1 มาแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกไม่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และอีกส่วนนำมาผ่านกระบวนการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ที่ผ่านการ precondition ตามขั้นตอนในภาคผนวก ก โดยน้ำมะนาวมีอัตราการไหลที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำน้ำมะนาวที่ได้จากการผ่านเรซินสังเคราะห์มาแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเติม pulp (pulp ที่แยกได้จากการหมุนเหวี่ยง) และส่วนที่สองไม่เติม ดังภาพที่ 13 จากนั้นนำน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ) มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ตามขั้นตอนข้อ 1.3 ถึง 1.8 และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส



ภาพที่ 13 แผนภูมิการเตรียมตัวอย่างน้ำมะนาวเพื่อศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ดูดสารให้ความขม
คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

2.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน (นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) ทำการทดสอบชิมตัวอย่าง เพื่อบอกคุณลักษณะทางด้าน

สีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขม โดยมีการใช้ตัวอย่างอ้างอิงคุณลักษณะด้านต่างๆ แสดงในตารางผนวก จ1 ในการทดสอบใช้สเกล 15 เซนติเมตร กำหนดให้ค่าสเกลความเข้ม ตั้งแต่ 0 (ไม่มีสี กลิ่น และรส) จนถึง 15 (สี กลิ่น และรสเข้มมาก) นำตัวอย่างน้ำมะนาว 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยพลาสติกโดยแต่ละถ้วยติดรหัสสุ่ม 3 หลัก นำเสนอตัวอย่างให้กับผู้ทดสอบ ได้แก่ น้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp เพื่อให้ผู้ทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะทางด้านสี กลิ่น และรส โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงในภาคผนวก จ

3. การศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์

นำน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp จากข้อ 2.2 มาแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกไม่พาสเจอไรซ์ และส่วนที่สองนำไปพาสเจอไรซ์โดยการนำมารรจุใส่ขวดแก้วปริมาณ 80 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาและนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที (เสาวภาคย์, 2545) แล้วลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 5 °ซ จากนั้นนำน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ (DPJ) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที (DPJ 70) และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที (DPJ 85) มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ตามขั้นตอนข้อ 1.3 ถึง 1.8 โดยเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันคือ 70 °ซ เวลา 60 วินาที (FJ 70) และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที (FJ 85) และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามขั้นตอนข้อ 2.3 ซึ่งตัวอย่างที่นำเสนอให้กับผู้ทดสอบมี 3 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Random Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science, Version 12) ถ้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และวิธี T-test

5. สถานที่ปฏิบัติการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ 2411 ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

6. ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2553 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

การศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว จากการทดลองได้นำผลมะนาวไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที ก่อนคั้นน้ำเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่คั้นจากผลมะนาวสด จากนั้นนำน้ำมะนาวทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าสี L^* a^* b^* ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณลิโมนีน ปริมาณเฮสเพอริดิน ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

1.1 คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาผลของการลวกผลมะนาว พบว่า ค่าสี L^* a^* b^* และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกและผลมะนาวสดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 10) โดยน้ำมะนาวมีค่า L^* ซึ่งมีค่าความสว่างอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ค่า a^* เป็นลบ จะอยู่ในช่วงของสีเขียวเล็กน้อย ค่า b^* เป็นบวก อยู่ในช่วงของสีเหลืองค่อนข้างมาก ซึ่งผลที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับสีของน้ำมะนาวตามธรรมชาติ นอกจากนี้การลวกผลมะนาวไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรรณิ (2545) ศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อคุณภาพของน้ำมะนาว โดยทำการลวกผลมะนาวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 1 นาที พบว่าน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกมีค่าสี L^* a^* b^* ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด

ตารางที่ 10 ค่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวก

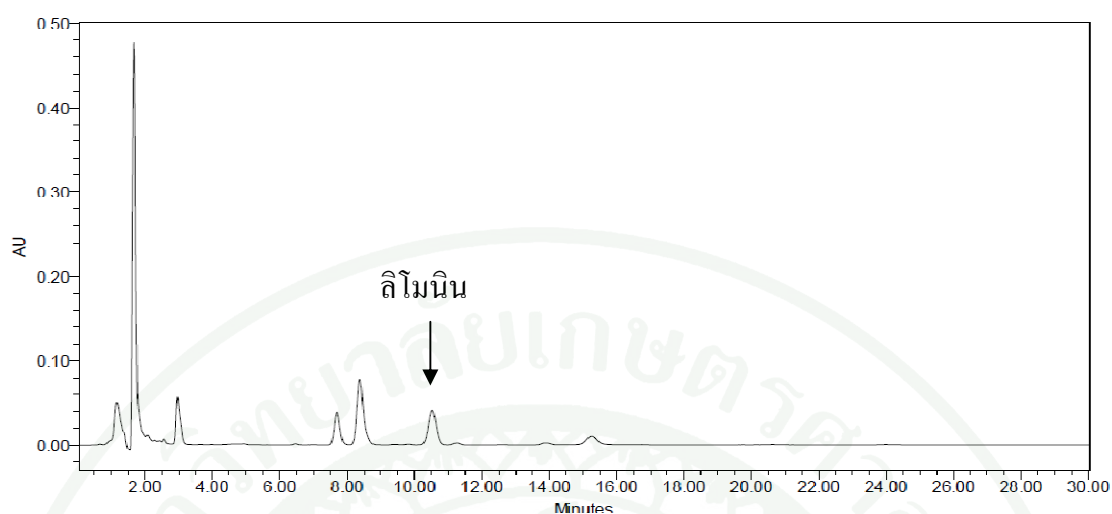
ค่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี	น้ำมะนาว	
	ผลมะนาวสด	ผลมะนาวลวก
ค่า L* ^{ns}	69.85±0.01	70.20±0.04
ค่า a* ^{ns}	-0.47±0.01	-0.49±0.01
ค่า b* ^{ns}	24.31±0.07	24.23±0.16
ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ^{ns}	31.03±0.04	30.14±0.48
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	2.22 ±0.00	2.23±0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (°Brix) ^{ns}	7.40 ±0.14	7.50±0.14
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละกรดซิตริก) ^{ns}	7.88±0.02	7.86±0.02

หมายเหตุ *ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

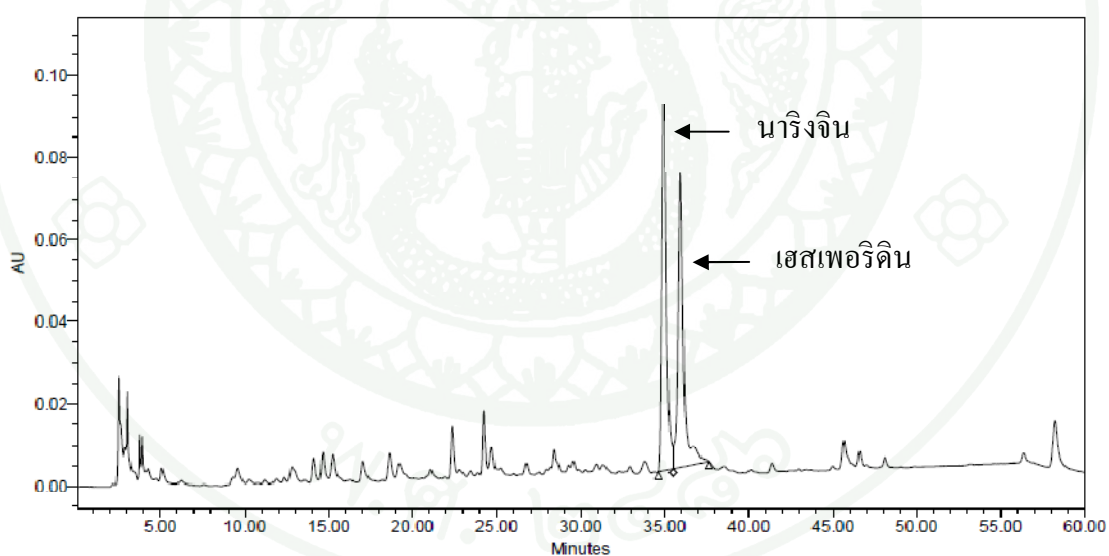
ตัวอักษร ns ในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05)

1.2 สารให้ความขมและสารประกอบฟลาโวนอยด์

ในการผลิตน้ำผลไม้ตระกูลส้มปัญหาที่สำคัญคือ รสขม สาเหตุของรสขมเกิดจากสารหลัก 2 ชนิดคือ ลิโมนินและนาริงจิน ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีหาน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดด้วยเทคนิค HPLC พบว่า ชนิดของสารให้รสขมที่ตรวจพบคือ ลิโมนิน แสดงดังภาพที่ 14 ส่วนสารนาริงจินตรวจไม่พบในน้ำมะนาว เนื่องจากทำการตรวจสอบด้วยการ spike สารมาตรฐานนาริงจินเข้าไปในตัวอย่างน้ำมะนาว พบว่าโครมาโตแกรมที่เกิดขึ้นในน้ำมะนาวไม่ใช่สารนาริงจิน แต่เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน คือ เฮสเพอริดิน (ภาพที่ 15) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Albach and Redman (1996); Nogata *et al.* (2006) ได้ศึกษาสารประกอบฟลาโวนอยด์ในผลไม้ตระกูลส้ม พบว่าตรวจไม่พบสารนาริงจินในมะนาว แต่พบสารเฮสเพอริดินซึ่งเป็นสารหลักในมะนาว เฮสเพอริดินเป็นสารที่ปราศจากรสขม แต่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำมะนาวคือ จะพบเป็นลักษณะแผ่นฟิล์มขาวๆ ในน้ำมะนาว ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวของสารเฮสเพอริดินภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (Kimball, 1991)



ภาพที่ 14 โครมาโตแกรมของสารลิโมนินในน้ำมะนาวซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร



ภาพที่ 15 โครมาโตแกรมของน้ำมะนาวที่มีการ spike สารมาตรฐานนาริงจีนซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

จากการศึกษาผลของการลวกผลมะนาว พบว่า ปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกมีปริมาณสูงกว่าน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด แสดงดังตารางที่ 11 ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรณิ (2545) ศึกษาผลของการลวกผลมะนาวต่อปริมาณสารให้ความขมในน้ำมะนาว โดยนำผลมะนาวมาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °ซ เป็นเวลา 1 นาที ก่อนการคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบลูกกลิ้ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณลิโมนิน ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า การลวกผลมะนาวสามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวจากผลมะนาวสด จากผลการทดลองที่ไม่สอดคล้องกันเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการคั้นน้ำที่แตกต่างกันคือ เครื่องคั้นน้ำแบบลูกกลิ้งและเครื่องคั้นน้ำแบบคั่นโยก จากการทดลองเมื่อนำผลมะนาวไปลวกจะทำให้เปลือกของมะนาวนิ่มขึ้น จากนั้นเมื่อนำมาคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นแบบคั่นโยกอาจทำให้ส่วนของเปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน และผนังกลีบได้รับแรงบีบมากขึ้น จึงทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้แตกและฉีกขาดเป็นผลทำให้ลิโมนิเอท เอริง แลคโตน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ไม่มีรสขม และเอนไซม์ลิโมนิน ดีริง แลคโตน ไฮโดรเลส ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของผลไม้ออกมาในระหว่างการคั้นน้ำมากขึ้น ส่งผลให้สารตั้งต้นที่ไม่มีรสขมถูกเปลี่ยนไปเป็นลิโมนิน ได้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pareek *et al.* (2011) ศึกษาผลของวิธีการคั้นน้ำต่อปริมาณลิโมนินในน้ำส้มแมนดาริน พบว่า การใช้เครื่องคั้นน้ำแบบมือกดที่เป็นระบบไฟฟ้าทำให้มีปริมาณลิโมนินในน้ำส้มสูงกว่าการใช้เครื่องคั้นน้ำแบบเกลียวอัด และงานวิจัยของ Khurdiya *et al.* (1994) ศึกษาผลของวิธีการคั้นน้ำต่อปริมาณลิโมนินในน้ำส้ม พบว่า น้ำส้มที่ใช้เครื่องคั้นน้ำแบบไฮดรอลิกมีปริมาณลิโมนินน้อยกว่าการใช้เครื่องคั้นน้ำแบบบีบอัดพร้อมเปลือก นอกจากนี้วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินที่แตกต่างกันคือ การใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเครื่อง HPLC จากงานวิจัยของ Soleiman *et al.* (2005) เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินในน้ำส้มคือ เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเครื่อง HPLC พบว่า การวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินด้วยเครื่อง HPLC มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินด้วยเครื่อง HPLC มีปริมาณสูงกว่าการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และค่า precision ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC มีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.10 และ 1.69 ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณลิโมนินของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสด และผลมะนาวลวกอยู่ในช่วง 17.82-47.23 ppm จากงานวิจัยของ Patil *et al.* (2009) ได้ศึกษาปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาว (*Citrus aurantifolia* Swingle) พบว่า มีปริมาณเท่ากับ 10.25 ppm

ตารางที่ 11 ปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดินของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวก

น้ำมะนาว	ลิโมนิน (ppm)	เฮสเพอริดิน (ppm)
ผลมะนาวสด	17.82±0.23 ^b	44.41±1.06 ^b
ผลมะนาวลวก	47.23±0.26 ^a	83.29±0.22 ^a

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาผลของการลวกผลมะนาว พบว่าปริมาณเฮสเพอริดินในน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกมีปริมาณสูงกว่าน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด (ตารางที่ 11) เฮสเพอริดินเป็นสารที่พบได้ในส่วนของเปลือกชั้นนอกและเนื้อเยื่อของผลไม้ ซึ่งผลมะนาวที่ผ่านการลวกแล้วจะมีเปลือกนํ้าขึ้น เมื่อนํ้ามาคั้นนํ้าด้วยเครื่องคั้นแบบคั้นโยกอาจทำให้เปลือกชั้นนอกได้รับแรงบีบมากขึ้น จึงทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้ออกมาในระหว่างการคั้นนํ้ามากขึ้น ปริมาณเฮสเพอริดินในนํ้าผลไม้จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการคั้นนํ้าผลไม้มีผลต่อปริมาณเฮสเพอริดิน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Izquierdo *et al.* (2002) ศึกษาผลของวิธีการคั้นนํ้าต่อปริมาณเฮสเพอริดินในนํ้าส้ม โดยใช้เครื่องคั้นนํ้าผลไม้ 2 ชนิดคือ เครื่องคั้นนํ้าแบบคั้นมือและเครื่องคั้นนํ้าแบบที่ใช้ในอุตสาหกรรม พบว่า การใช้เครื่องคั้นนํ้าแบบคั้นมือทำให้มีปริมาณเฮสเพอริดินในนํ้าส้มสูงกว่าการใช้เครื่องคั้นนํ้าแบบที่ใช้ในอุตสาหกรรม และงานวิจัยของ Alvarez *et al.* (2012) ศึกษาผลของวิธีการคั้นนํ้าต่อปริมาณเฮสเพอริดินในนํ้าส้ม พบว่าการใช้เครื่องคั้นนํ้าแบบบีบอัดพร้อมเปลือกทำให้มีปริมาณเฮสเพอริดินในนํ้าส้มสูงกว่าการใช้เครื่องคั้นนํ้าแบบลูกกลิ้ง และ Marin *et al.* (2002) ศึกษากระบวนการคั้นนํ้าที่ต่างกันต่อปริมาณเฮสเพอริดินในนํ้าเลมอน โดยใช้เครื่องคั้นนํ้าแบบคั้นมือและเครื่องคั้นนํ้าแบบลูกกลิ้ง พบว่าการใช้เครื่องคั้นนํ้าแบบคั้นมือมีปริมาณเฮสเพอริดินสูงกว่าการใช้เครื่องคั้นนํ้าแบบลูกกลิ้ง นอกจากนี้ปริมาณเฮสเพอริดินของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวกอยู่ในช่วง 44.41-83.29 ppm จากงานวิจัยของ Patil *et al.* (2009) ได้ศึกษาปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวพบว่า มีปริมาณเท่ากับ 46.18 ppm

1.3 วิตามินซี

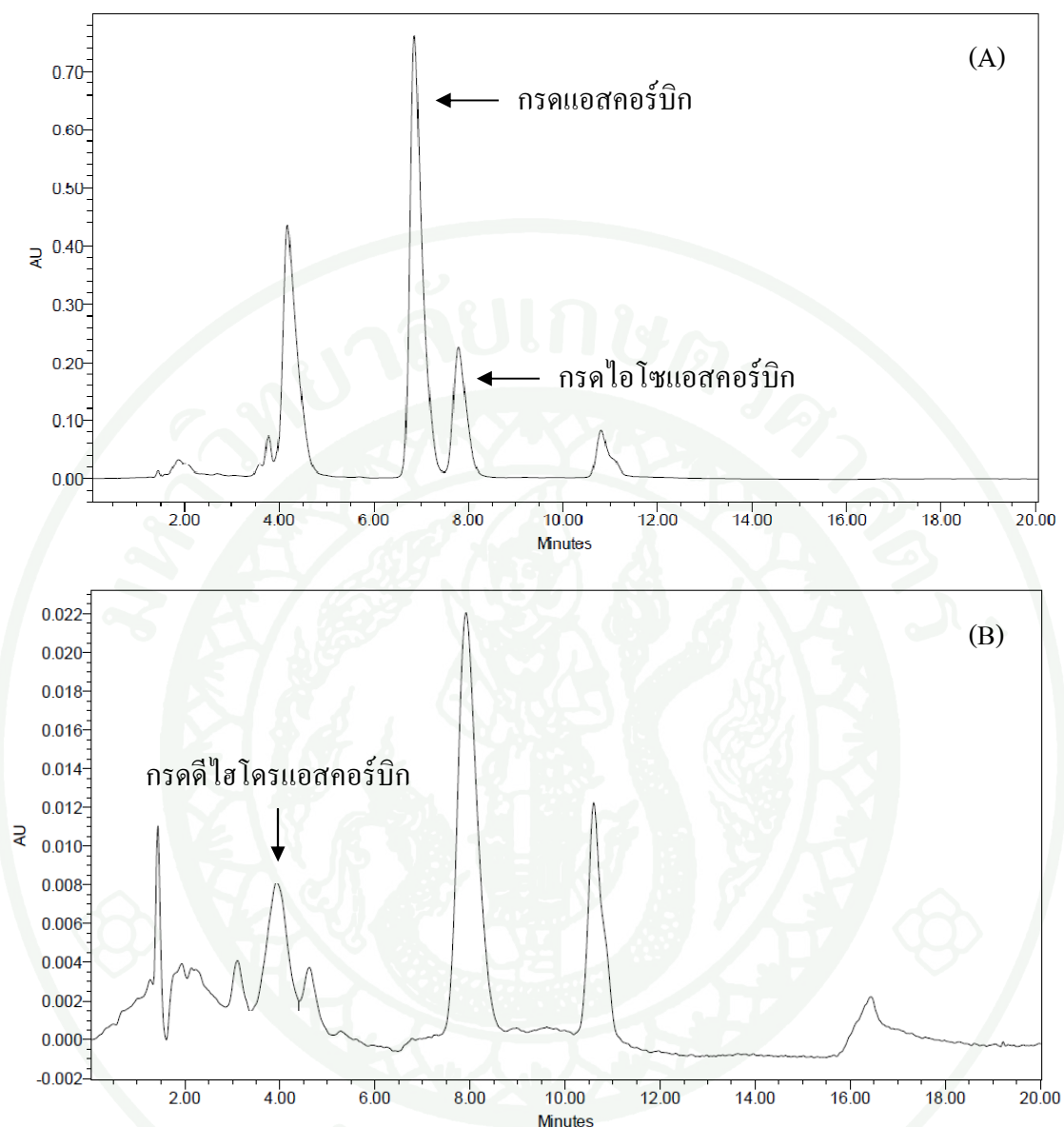
จากการศึกษาผลของการลวกผลมะนาว พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกและผลมะนาวสดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 16 การลวกเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินในผักและผลไม้ได้ในระหว่างการลวกโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายในน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะสูญเสียเนื่องจากความร้อน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวกก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสูญเสียวิตามิน (วิไล, 2547) โดยในการทดลองได้ใช้อุณหภูมิในการลวกผลมะนาวที่ 100 °ซ เวลา 1 นาที ก่อนคั้นน้ำ ซึ่งพบว่า ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวไม่เปลี่ยนแปลงที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากการใช้เวลาที่ไม่นานในการลวกผลมะนาว จากงานวิจัยของ ธรรมรัตน์ (2551) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว โดยการลวกผลมะนาวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °ซ เป็นเวลา 1 2 3 และ 5 นาที ก่อนการคั้นน้ำ พบว่า น้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกที่ทุกๆ อุณหภูมิที่เวลา 1 นาที มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด นอกจากนี้ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวจะลดลงเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้น

ตารางที่ 12 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวก

น้ำมะนาว	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร)		
	กรดแอสคอร์บิก ^{ns}	กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก ^{ns}	วิตามินซีทั้งหมด ^{ns}
ผลมะนาวสด	88.07±3.45	0.42±1.14	88.49±3.41
ผลมะนาวลวก	87.71±4.44	0.41±1.05	88.12±2.06

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร ns ในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ภาพที่ 16 โครมาโตแกรมของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) กรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid; internal standard) (A) ในน้ำมะนาวโดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 261 นาโนเมตร และกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (B) ในน้ำมะนาวโดยเทคนิค HPLC ที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร

1.4 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

จากการศึกษาผลของการลวกผลมะนาว พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกมีค่าสูงกว่าน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด แสดงดังตารางที่ 13 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jia *et al.* (2012) ศึกษาผลของการลวกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของน้ำเชอร์รี่ โดยได้ทำการลวกผลเชอร์รี่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 °ซ เป็นเวลา 1 ถึง 6 นาที ก่อนคั้นน้ำ พบว่า น้ำเชอร์รี่ที่ได้จากผลเชอร์รี่ลวกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าน้ำเชอร์รี่ที่ได้จากผลเชอร์รี่ที่ไม่ผ่านการลวก และงานวิจัยของ Brambilla *et al.* (2011) ศึกษาผลของการลวกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของบลูเบอร์รี่ โดยการลวกผลบลูเบอร์รี่ด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำส่วนเนื้อภายในของผลบลูเบอร์รี่มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งพบว่า เนื้อของผลบลูเบอร์รี่ที่ผ่านการลวกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าเนื้อของผลบลูเบอร์รี่สด นอกจากนี้ Randhir *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อสารประกอบฟีนอลิกของธัญพืช โดยนำเมล็ดข้าวสาลี เมล็ดข้าวโอ๊ต และเมล็ดข้าวโพดมาให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเป็นเวลา 20 นาที พบว่า เมล็ดธัญพืชที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดธัญพืชที่ไม่ได้ให้ความร้อน ซึ่งปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวกอยู่ในช่วง 40.67-51.42 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิตร จากงานวิจัยของ Ghafar *et al.* (2010) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมะนาว (*Citrus aurantifolia*) พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 211.70 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิตร

สารประกอบฟีนอลิกในพืชเป็นสาร metabolic intermediate สะสมอยู่ในแวคคิวโอลของพืช ซึ่งกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อน และการลวกก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ความร้อน จะทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์พืชถูกทำลายจึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกถูกปลดปล่อยออกมา (Chism and Haard, 1996) นอกจากนี้ยังพบว่า แนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวกมีแนวโน้มเดียวกับปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับปริมาณลิโมนินมีค่า r^2 เป็น 0.951 และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับปริมาณเฮสเพอริดินมีค่า r^2 เป็น 0.950 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันมากเนื่องจากในโครงสร้างของลิโมนินมีหมู่ไฮโดรเจนที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu Reagent (FCR) โดยการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนได้ และ FCR ยังสามารถ

เกิดปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นๆ ที่มีหมู่รีดิวซ์ เช่น วิตามินซี (Huang *et al.*, 2005) เฮสเพอริดินเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก โดยโครงสร้างของสารประกอบฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างพื้นฐานมาจากสารประกอบฟีนอลิก คือ มีวงแหวนอะโรมาติกและมีหมู่ไฮดรอกซี (Nijveldt *et al.*, 2001)

ตารางที่ 13 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวก

น้ำมะนาว	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด*	สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH**
ผลมะนาวสด	40.67±0.24 ^b	41.06±0.24 ^b
ผลมะนาวลวก	51.42± 0.71 ^a	46.17± 0.86 ^a

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

*มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร

**มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร

สมบัติการต้านออกซิเดชันที่วัดด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาว แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวลวกมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rossi *et al.* (2003) ศึกษาผลของการลวกต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำบลูเบอร์รี่ โดยนำผลบลูเบอร์รี่มาลวกด้วยไอน้ำนาน 3 นาที ก่อนคั้นน้ำ พบว่า น้ำบลูเบอร์รี่ที่คั้นจากผลบลูเบอร์รี่ที่ผ่านการลวกมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าน้ำบลูเบอร์รี่ที่คั้นจากผลบลูเบอร์รี่สด และงานวิจัยของ Olivera *et al.* (2008) ศึกษาผลของการลวกต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของกะหล่ำปลีพวง (*Brassica oleracea L. gemmifera* DC) โดยทำการลวก 2 วิธีคือ การลวกในน้ำอุณหภูมิ 100 °ซ เวลา 4 นาที และการลวกด้วยไมโครเวฟ นาน 5 นาที ตามด้วยการลวกในน้ำอุณหภูมิ 100 °ซ เวลา 2 นาที พบว่ากะหล่ำปลีพวงที่ผ่านการลวกทั้งสองวิธีมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่ากะหล่ำปลีพวงที่ไม่ได้ผ่านการลวก และ Adefegha and Oboh (2011) ศึกษาผลของการลวกผักใบเขียวต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH พบว่าผักที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำนาน 10 นาทีมีสมบัติการต้าน

ออกซิเดชันสูงกว่าผักสด นอกจากนี้สมบัติการต้านออกซิเดชันที่วัดด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวกมีค่าอยู่ในช่วง 41.06-46.17 มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิกรัม ซึ่งได้มีงานวิจัยศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ในน้ำมะนาว (*Citrus aurantifolia*) พบว่ามีค่าสมบัติการต้านออกซิเดชันเท่ากับ 70 มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิกรัม (Ghafar *et al.*, 2010)

นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วัดด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวจากผลมะนาวสดและผลมะนาวลวกมีแนวโน้มเดียวกับปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดินเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH กับปริมาณลิโมนินมีค่า r^2 เป็น 0.911 และสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH กับปริมาณเฮสเพอริดินมีค่า r^2 เป็น 0.904 ซึ่งจากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดินมีความสัมพันธ์กับสมบัติการต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH เนื่องจากสารดังกล่าวมีการรายงานว่ามีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Roy and Saraf, 2006; Garg *et al.*, 2001)

จากการศึกษาผลของการลวกผลมะนาว พบว่าการลวกผลมะนาวทำให้ปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ได้จากผลมะนาวสด ดังนั้นวิธีการลวกผลมะนาวก่อนการคั้นน้ำไม่สามารถลดสารให้ความขมในน้ำมะนาวได้

2. การศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

การศึกษการใช้เรซินสังเคราะห์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว จากการทดลองได้นำน้ำมะนาวส่วนใส (จากผลมะนาวสด) ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงมาผ่านกระบวนการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 และนำน้ำมะนาวที่ได้มาเติม pulp จากนั้นนำจากส่วนต่างๆ คือ น้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าสี L^* a^* b^* ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณลิโมนิน ปริมาณเฮสเพอริดิน ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการ

ด้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA โดยทดสอบระหว่างตัวอย่างน้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

2.1 คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ในน้ำมะนาว พบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น (L^*) ค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (a^*) และค่าความเป็นสีเหลืองลดลง (b^*) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใส และ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ทำให้สีของน้ำมะนาวจางลง (ตารางที่ 14 และภาพที่ 17) สารที่ให้สีในน้ำผลไม้ตระกูลส้มส่วนใหญ่เป็นสารประกอบแคโรทีนอยด์ เช่น เบต้าแคโรทีน ซึ่งจะให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง เบต้าแคโรทีนเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน อะซิโตน และเบนซีน เป็นต้น (Stewart, 1977) นอกจากนี้เบต้าแคโรทีนยังมีค่าไดโพลโมเมนต์เท่ากับ 0 (Three dimensional structure database, 2006) ไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) เป็นปริมาณที่ใช้วัดความมีขั้วของพันธะ โดยมีหน่วยเป็นเดอบาย (debye, D) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า เป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (ปรีชาและนิติ, 2549) ดังนั้น เบต้าแคโรทีนจึงเป็นสารที่ไม่มีขั้วและมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก ส่วนเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 เป็นเรซินที่ใช้ในการดูดซับสารที่มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก โดยเรซินมีค่าไดโพลโมเมนต์เท่ากับ 0.3 เดอบาย ซึ่งค่าไดโพลโมเมนต์ของเรซินสังเคราะห์และเบต้าแคโรทีนมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าเบต้าแคโรทีนถูกดูดซับไว้ที่ผิวของเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ได้ จึงส่งผลทำให้สีของน้ำมะนาวจางลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernandez *et al.* (1992) และ Lee and Kim (2003) ศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ในน้ำเกรฟฟรุตและน้ำเกรฟฟรุตเข้มข้น พบว่า การใช้เรซินสังเคราะห์มีผลทำให้สีของน้ำเกรฟฟรุตจางลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเกรฟฟรุตที่ไม่ผ่านเรซินสังเคราะห์

ส่วนค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีค่าน้อยกว่าน้ำมะนาวสด โดยการเกิดสีน้ำตาลในน้ำมะนาวส่วนใหญ่เกิดจากการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกเป็น dehydroascorbic acid (DHA) จากนั้น DHA จะถูกเปลี่ยนเป็น 2,3-diketogulononic acid และสารนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นสารประกอบฟิวราล (furfural) ทำให้น้ำมะนาวมีสีน้ำตาล นอกจากนี้สารดังกล่าวสามารถรวมตัวกับกรดอะมิโนอื่นๆ และเกิดการ polymerization

ได้เป็นสารเชิงซ้อนสีน้ำตาลได้ (Sapers, 1993) อาจเป็นไปได้ว่า เรซินสังเคราะห์ชนิด Amberlite XAD-16 สามารถดูดซับ โมเลกุลของสารสีน้ำตาลได้จึงทำให้สีน้ำตาลในน้ำมะนาวลดลง

ตารางที่ 14 ค่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

ค่าคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมี	น้ำมะนาว				
	FJ	CJ	P	DJ	DPJ
ค่า L*	69.85±0.01 ^d	91.50±0.03 ^b	62.57±0.31 ^c	93.54±0.24 ^a	86.82±0.48 ^c
ค่า a*	-0.47±0.01 ^b	-1.93±0.02 ^d	-1.11±0.08 ^c	-0.09±0.02 ^a	-0.34±0.03 ^b
ค่า b*	24.31±0.07 ^b	12.57±0.03 ^d	30.10±0.26 ^a	6.32±0.19 ^c	14.87±0.28 ^c
ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล	31.03±0.04 ^a	11.50±0.01 ^c	32.07±0.41 ^a	6.39±0.23 ^d	13.71±0.35 ^b
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	2.22±0.01	2.23 ±0.01	2.26±0.01	2.24 ±0.01	2.24 ±0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายน้ำได้ (°Brix) ^{ns}	7.40±0.01	7.20 ±0.00	7.60±0.00	7.20 ±0.00	7.40±0.00
ปริมาณกรดที่ไทเทรต ได้ (ร้อยละกรดซิตริก) ^{ns}	7.88±0.02	7.62±0.03	7.58 ±0.03	7.60±0.13	7.66±0.04

หมายเหตุ *ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

FJ คือ น้ำมะนาวสด

CJ คือ น้ำมะนาวส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง

P คือ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง

DJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์

DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ns ในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 17 ตัวอย่างน้ำมะนาวก่อนและหลังผ่านเรซินสังเคราะห์

หมายเหตุ 1 คือ น้ำมะนาวสด

2 คือ น้ำมะนาวส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง

3 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์

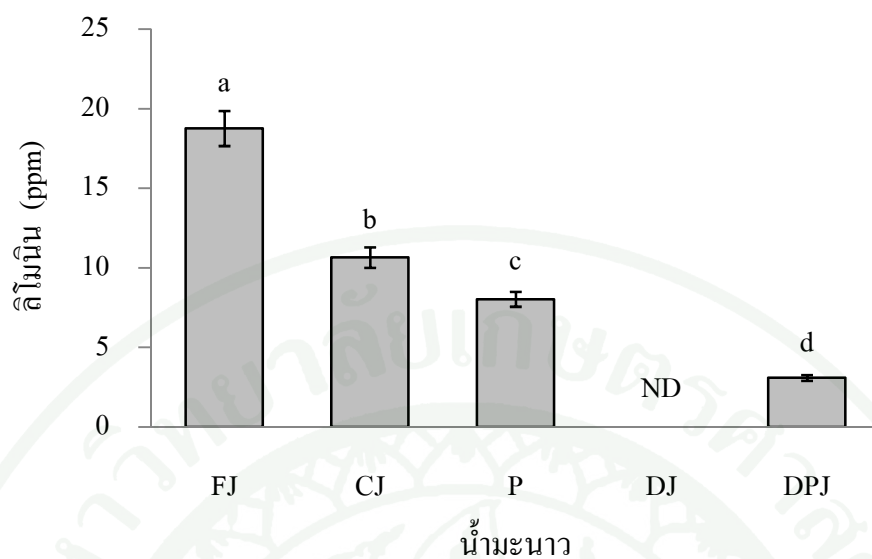
4 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

นอกจากนี้การใช้เรซินสังเคราะห์ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใส และ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง (ตารางที่ 13) เนื่องจากในน้ำมะนาวส่วนใหญ่จะมีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนบวกได้ ซึ่งเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 เป็นเรซินที่มีโครงสร้างแบบ nonionic จึงไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ส่วนปริมาณของแข็งที่อยู่ในน้ำผลไม้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาล คือ ฟรุกโตสและกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็กโดยต้องใช้การกรองในระดับนาโนฟิวด์เรชันและรีเวิร์สออสโมซิสซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.001 ไมโครเมตร โมเลกุลของน้ำตาลจึงไม่สามารถแทรกผ่านได้ (Koch Membrane Systems, 2004) ในขณะที่เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 20-60 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดอนุภาคใหญ่จึงทำให้โมเลกุลของน้ำตาลสามารถแทรกผ่านเรซินสังเคราะห์ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee and Kim (2003) ศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ในน้ำเกรฟฟรุตเข้มข้น พบว่าน้ำเกรฟฟรุตที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเกรฟฟรุตสด

2.2 สารให้ความขม

จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ในน้ำมะนาว พบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 มีปริมาณลิโมนินลดลงจนไม่สามารถตรวจพบสารนี้ได้ จากนั้นเมื่อเติม pulp ลงไปในน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีผลทำให้ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้นเป็น 3.09 ppm แต่ยังมีปริมาณน้อยกว่าในน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง (ภาพที่ 18 และ 19) จากรายงานของ The Florida Department of Citrus ระบุว่า น้ำผลไม้ตระกูลส้มควรมีปริมาณลิโมนินไม่เกิน 6 ppm ซึ่งถ้าเกินตามที่ระบุไว้จะทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้รสขมได้ และจะไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์นั้นๆ (Hui *et al.*, 2006) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jungsakulrujirek and Noomhorm (2004) ศึกษาการลดสารลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวานด้วยเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 พบว่า การใช้เรซินสังเคราะห์สามารถลดสารลิโมนินในน้ำส้มได้ร้อยละ 78 และงานวิจัยของ Hernandez *et al.* (1992) ศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ในการลดความขมในน้ำเกรฟฟรุต พบว่า น้ำเกรฟฟรุตที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีปริมาณลิโมนินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเกรฟฟรุตสด นอกจากนี้ Wilson *et al.* (1989) ศึกษาการลดความขมในน้ำสัมนาเวล (*Citrus sinensis*) ด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ทรินพอลิเมอร์และเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-4 และ XAD-16 โดยกระบวนการฟลูอิดไอเซชัน พบว่า เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 สามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มได้ถึงร้อยละ 93 ซึ่งมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมาคือเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-4 (ร้อยละ 58) และปีตาไซโคลเดกซ์ทรินพอลิเมอร์ (ร้อยละ 55)

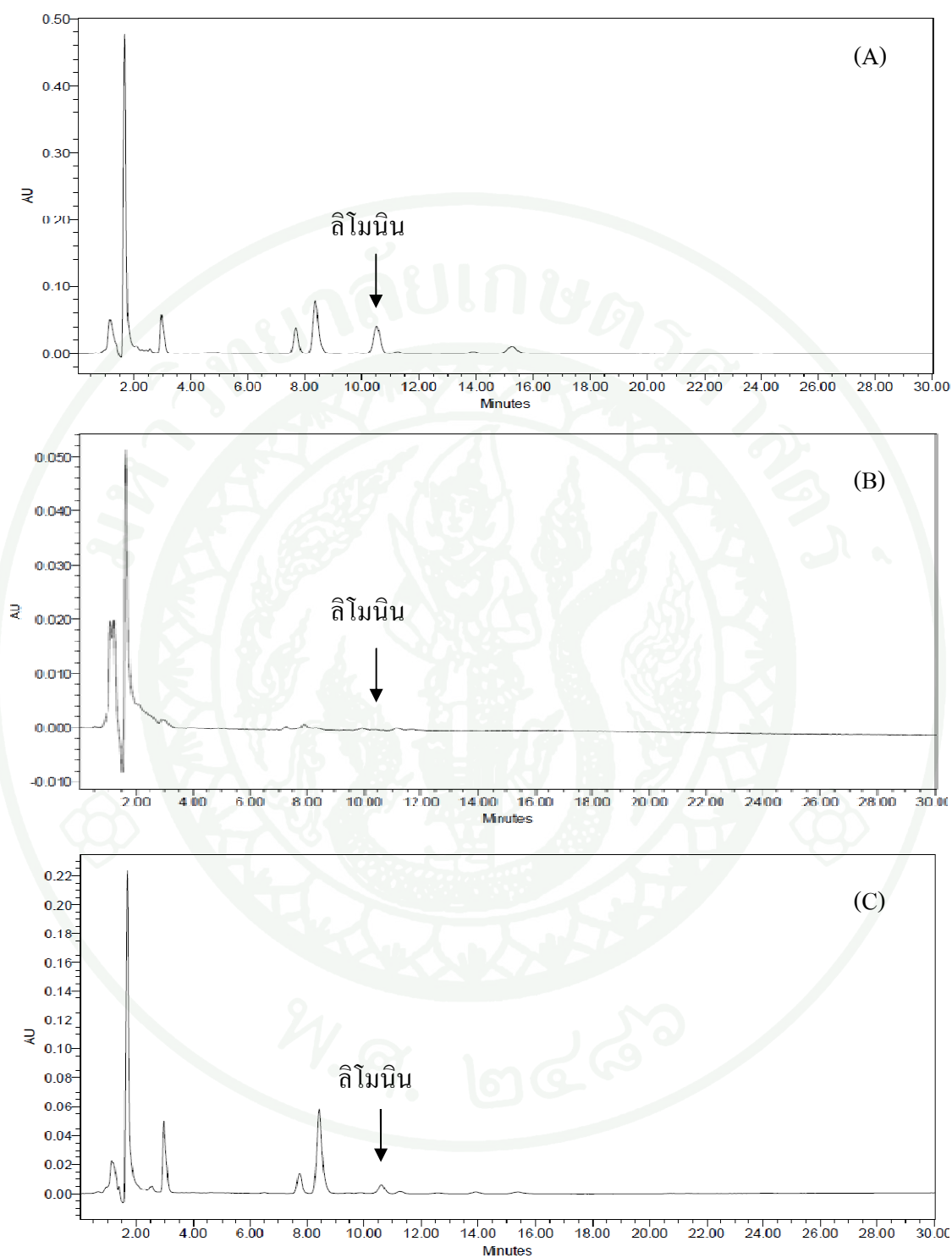
เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 เป็นเรซินที่ใช้ในการดูดซับสารที่มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก และมีค่าไดโพลโมเมนต์เป็น 0.3 เดอบาย ส่วนลิโมนินเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตรไนไตรล์ ไคลอโรฟอร์มเทน และไดเมทิลฟอร์มาร์ไมด์ (Maier *et al.*, 1977) และมีค่าไดโพลโมเมนต์เป็น 0 ซึ่งจากการทดลองพบว่า สารลิโมนินในน้ำมะนาวลดลงหลังจากผ่านเรซินสังเคราะห์ จึงเป็นไปได้ว่าลิโมนินมีความมีขั้วใกล้เคียงกันกับเรซินสังเคราะห์จึงทำให้ลิโมนินถูกดูดซับที่ผิวของเรซินชนิดนี้ได้



ภาพที่ 18 ปริมาณลิเทียมของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

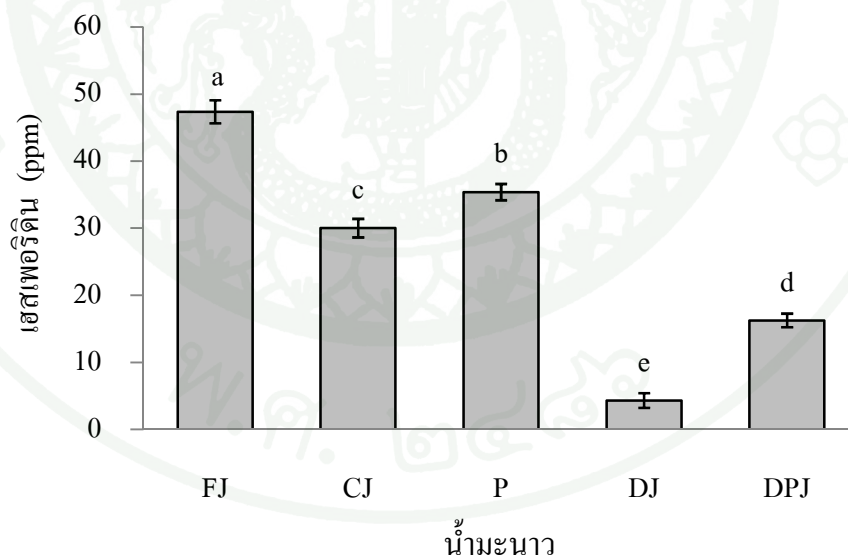
ND = not detected หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้



ภาพที่ 19 โครมาโตแกรมของลิโมนินในน้ำมะนาวก่อนผ่านเรซินสังเคราะห์ (A) น้ำมะนาว
 หลังผ่านเรซินสังเคราะห์ (B) และน้ำมะนาวหลังผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (C)
 ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร

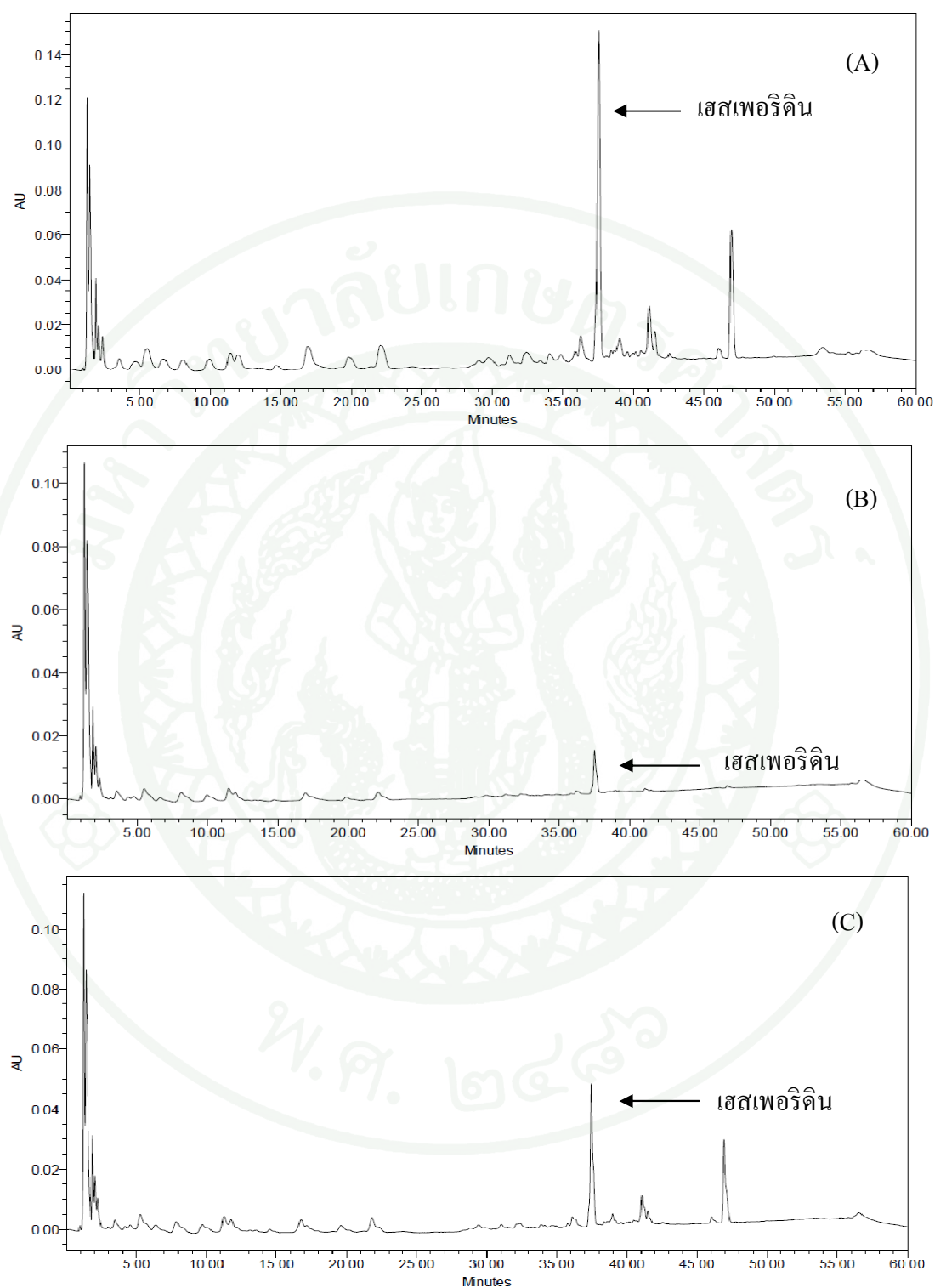
2.3 สารประกอบฟลาโวนอยด์

จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ในน้ำมะนาว พบว่า น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 มีปริมาณเฮสเพอริดินลดลง จากนั้นเมื่อเติม pulp ลงไปในน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีผลทำให้ปริมาณเฮสเพอริดินเพิ่มขึ้น แต่ยังมีปริมาณน้อยกว่าในน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวียง (ภาพที่ 20 และ 21) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 สามารถดูดซับสารเฮสเพอริดินได้ เนื่องจากเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 และเฮสเพอริดินมีความมีขั้วใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เรซินสังเคราะห์ชนิดนี้ยังสามารถดูดซับสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มของฟลาโวนินได้ เช่น นาริงจิน นาริรูติน และนีโอเฮสเพอริดิน (Ribeiro *et al.*, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernandez *et al.* (1992) ศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ในน้ำเกรฟฟรุต พบว่าน้ำเกรฟฟรุตที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีปริมาณเฮสเพอริดินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเกรฟฟรุตสด และงานวิจัยของ Couture and Rouseff (1992) ศึกษาการลดความขมในน้ำส้มโดยใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 พบว่าการใช้เรซินสังเคราะห์มีผลทำให้ปริมาณเฮสเพอริดินในน้ำส้มลดลง



ภาพที่ 20 ปริมาณเฮสเพอริดินของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวียง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)

หมายเหตุ ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 21 โครมาโตแกรมของเฮสเพอริดินในน้ำมะนาวก่อนผ่านเรซินสังเคราะห์ (A) น้ำมะนาว
 หลังผ่านเรซินสังเคราะห์ (B) และน้ำมะนาวหลังผ่านเรซินสังเคราะห์และเติม pulp (C)
 ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

2.4 วิตามินซี

จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ในน้ำมะนาว พบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันกับน้ำมะนาวสด และปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวส่วนใส่ที่ได้จากการหมუნเหวียงและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีปริมาณน้อยกว่าน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp และน้ำมะนาวสดเนื่องจากในขั้นตอนการลดความขมจะต้องมีการแยกส่วน pulp ออกก่อน ซึ่งในส่วน pulp มีปริมาณวิตามินซีสูงเช่นกัน และหลังจากเดิม pulp กลับทำให้น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างจากน้ำมะนาวสด (ตารางที่ 15) ดังนั้น การใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซี เนื่องจากวิตามินซีเป็นวิตามินที่ละลายในน้ำ ซึ่งน้ำมีความมีขั้วสูงโดยมีค่าไดโพลโมเมนต์เท่ากับ 1.85 เดอบาย (Three dimensional structure database, 2006) ซึ่งจากความมีขั้วที่แตกต่างกันระหว่างวิตามินซีและเรซินสังเคราะห์ทำให้เรซินสังเคราะห์ไม่สามารถดูดซับวิตามินซีได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Couture and Rouseff (1992) ศึกษาการลดความขมในน้ำส้มโดยใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 พบว่า การใช้เรซินสังเคราะห์ไม่มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเปลี่ยนแปลง และงานวิจัยของ Ribeiro *et al.* (2002) ศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ในน้ำส้มนาว พบว่า น้ำส้มที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันกับน้ำส้มที่ไม่ผ่านเรซินสังเคราะห์

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกของน้ำมะนาวส่วนใส่ที่ได้จากการหมუნเหวียง น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสด อาจเนื่องจากการนำน้ำมะนาวไปหมუნเหวียงและในกระบวนการการลดความขมน้ำมะนาวอาจโดนแสงและอากาศจึงทำให้วิตามินซีที่อยู่ในรูป L-ascorbic acid ถูกออกซิไดส์ไปอยู่ในรูป dehydroascorbic acid ได้ โดยปฏิกิริยานี้สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (Noctor and Foyer, 1998)

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดของน้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

น้ำมะนาว	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร)		
	กรดแอสคอร์บิก	กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก	วิตามินซีทั้งหมด
FJ	87.07±3.45 ^a	0.42±0.14 ^b	88.49±3.41 ^a
CJ	69.84±3.14 ^b	1.38±0.14 ^a	71.22±2.38 ^b
P	73.56±4.24 ^b	1.42±0.20 ^a	74.98±4.03 ^b
DP	72.80 ±5.26 ^b	1.41±0.15 ^a	74.21±5.50 ^b
DPJ	85.93±2.50 ^a	1.46±0.17 ^a	87.39±2.92 ^a

หมายเหตุ *ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

FJ คือ น้ำมะนาวสด

CJ คือ น้ำมะนาวส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง

P คือ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง

DJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์

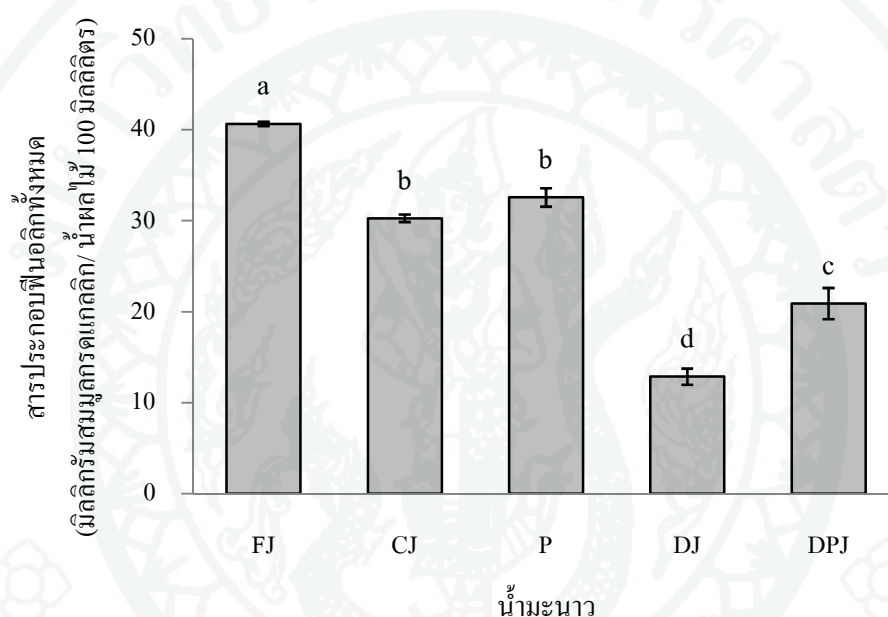
DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2.5 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ในน้ำมะนาว พบว่าการใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมะนาวลดลง (ภาพที่ 22) เนื่องจากโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกเป็นวงอะโรมาติกและมีโมเลกุลของไฮโดรเจนจึงทำให้สามารถเกาะจับที่พื้นผิวของเรซินสังเคราะห์ได้ (Soto *et al.*, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee and Kim (2003) ศึกษาการลดความขมในน้ำเกรฟฟรุตเข้มข้นโดยใช้เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 พบว่าการใช้เรซินสังเคราะห์ในการลดความขมมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำเกรฟฟรุตลดลง นอกจากนี้แนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ

น้ำมะนาวสด น้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีแนวโน้มเดียวกับปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดิน ซึ่งเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับปริมาณลิโมนินมีค่า r^2 เป็น 0.910 และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับปริมาณเฮสเพอริดินมีค่า r^2 เป็น 0.998 จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า สารลิโมนินและเฮสเพอริดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

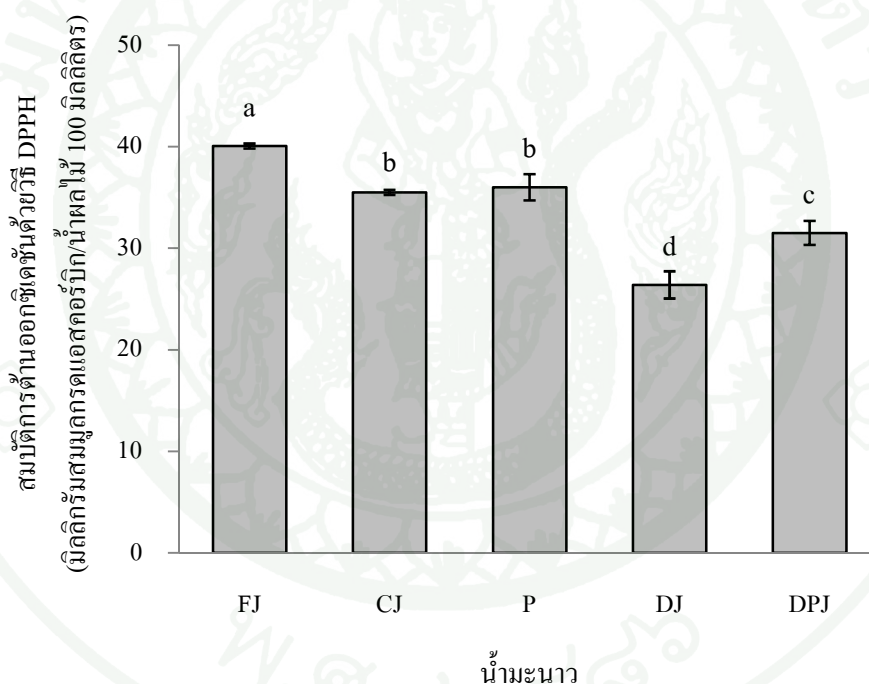


ภาพที่ 22 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2.6 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ในน้ำมะนาว พบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวส่วนใสและ pulp ที่ได้จากการหมუნเหวี่ยง และน้ำมะนาวสด (ภาพที่ 23) ซึ่งการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มเดียวกับปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดินโดยความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านออกซิเดชันกับปริมาณลิโมนินมีค่า r^2 เป็น 0.897 และสมบัติการต้านออกซิเดชันกับปริมาณเฮสเพอริดินมีค่า r^2 เป็น 0.968 แสดงให้เห็นว่าปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดินมีความสัมพันธ์กับสมบัติการต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH



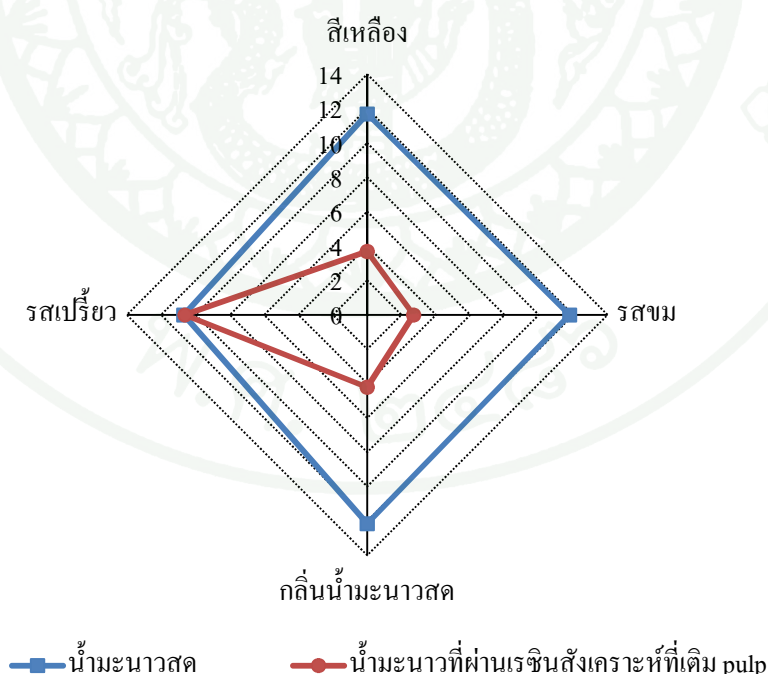
ภาพที่ 23 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวสด (FJ) น้ำมะนาวส่วนใส (CJ) และ pulp ที่ได้จากการหมუნเหวี่ยง (P) น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ (DJ) และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp (DPJ)

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d ที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2.7 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA (Quantitative Descriptive Analysis) โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน (นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) ทำการทดสอบชิมตัวอย่าง เพื่อบอกคุณลักษณะทางด้าน สีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขม โดยใช้สเกล 15 เซนติเมตร กำหนดให้ค่าสเกล ความเข้ม ตั้งแต่ 0 (ไม่มีสี กลิ่น และรส) จนถึง 15 (สี กลิ่น และรสเข้มมาก) ซึ่งในแต่ละตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของน้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp แสดงดังภาพที่ 24 และตารางที่ 16 พบว่า น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์และเติม pulp มีระดับคะแนนความเข้มของสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด และรสขมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสด ส่วนรสเปรี้ยวพบว่า ระดับคะแนนความเข้มแตกต่างกันไม่ มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ภาพที่ 24 แผนภาพความเข้มของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขมของน้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

คุณลักษณะทางด้านสีเหลืองของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีระดับคะแนนความเข้ม 3.68 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำมะนาวสดที่มีระดับคะแนนเท่ากับ 11.70 สอดคล้องกับการวัดค่าสี พบว่าค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสด คุณลักษณะทางด้านกลิ่นน้ำมะนาวสด พบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีระดับคะแนนความเข้ม 4.22 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำมะนาวสดที่มีระดับคะแนนเท่ากับ 12.15 สารให้กลิ่นในผลไม้ตระกูลส้มส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเทอร์พีน (terpenes) ซึ่งประกอบด้วย linalool, nerol, geranial, neral และ limonene โดย limonene เป็นสารหลักของสารให้กลิ่นในน้ำมะนาว (Gamarra *et al.*, 2006) และมีค่าไคโพลโมเมนต์เป็น 0.27 เดอบาย (Beckham, 2002) ส่วนเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 มีค่าไคโพลโมเมนต์เท่ากับ 0.3 เดอบาย ซึ่งทั้งเรซินสังเคราะห์และ limonene มีค่าไคโพลโมเมนต์ใกล้เคียงกัน เรซินสังเคราะห์จึงสามารถดูดซับ limonene ได้ ส่วนคุณลักษณะทางด้านรสเปรี้ยวของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp และน้ำมะนาวสด พบว่าระดับคะแนนความเข้มแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) สอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน และคุณลักษณะทางด้านรสขมของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีระดับคะแนนความเข้ม 2.71 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำมะนาวสดที่มีระดับคะแนนเท่ากับ 11.77 สอดคล้องกับปริมาณลิโมนินที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มีปริมาณลิโมนินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสด

ตารางที่ 16 คะแนนความเข้มของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขมของน้ำมะนาวสดและน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp

คุณลักษณะ	คะแนนความเข้มคุณลักษณะด้านต่างๆ ของน้ำมะนาว	
	น้ำมะนาวสด	น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp
สีเหลือง	11.70±0.59 ^a	3.68±0.67 ^b
กลิ่นน้ำมะนาวสด	12.15±0.66 ^a	4.22±1.20 ^b
รสเปรี้ยว ^{ns}	10.68±0.93	10.63±0.90
รสขม	11.77±1.12 ^a	2.71±0.86 ^b

หมายเหตุ *ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

ตัวอักษร ns ในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ พบว่าเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ทำให้ปริมาณลิโมนีนในน้ำมะนาวลดลงจนไม่สามารถตรวจพบได้ เมื่อเติม pulp กลับลงไป ในน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์มีผลทำให้ปริมาณลิโมนีนเพิ่มขึ้น แต่ยังมีปริมาณไม่เกินตามที่ The Florida Department of Citrus ระบุไว้คือ 6 ppm ดังนั้นวิธีการใช้เรซินสังเคราะห์สามารถลดสารให้ความขมในน้ำมะนาวได้ จึงนำน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มาศึกษาการพาสเจอไรซ์ในขั้นตอนต่อไป

3. การศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์

การศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์ต่อสารให้ความขม คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ จากการทดลองได้นำน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp มาแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกไม่พาสเจอไรซ์ และส่วนที่สองนำไปพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที จากนั้นนำน้ำมะนาวทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าสี L^* a^* b^* ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณลิโมนีน ปริมาณเฮสเพอริดิน ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH โดยเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาข้างต้น และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA โดยทดสอบระหว่างตัวอย่างน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิ

3.1 คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ พบว่า น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที มีค่า L^* a^* b^* และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันกับ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ($p>0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน พบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีค่า L^* a^* สูงกว่า และค่า b^* ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิเดียวกันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ค่าคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมี	น้ำมะนาว				
	DPJ	DPJ 70	DPJ 85	FJ 70	FJ 85
ค่า L^*	86.82±0.18 ^a	86.10±0.14 ^a	86.40±0.04 ^a	69.28±0.03 ^b	69.50±0.10 ^b
ค่า a^*	-0.34±0.03 ^a	-0.30±0.01 ^a	-0.33±0.02 ^a	-0.40±0.10 ^b	-0.43±0.09 ^b
ค่า b^*	12.87±0.18 ^b	13.55±0.02 ^b	13.37±0.03 ^b	25.55±0.25 ^a	25.39±0.21 ^a
ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล	13.71±0.35 ^b	14.53±0.28 ^b	14.23±0.39 ^b	33.40±0.17 ^a	33.25±0.04 ^a
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	2.26±0.01	2.24±0.01	2.24 ±0.02	2.22±0.04	2.23 ±0.07
ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายน้ำได้ (°Brix) ^{ns}	7.40±0.00	7.40±0.00	7.40 ±0.00	7.40±0.00	7.40 ±0.00
ปริมาณกรดที่ไทเทรต ได้ (ร้อยละกรดซิตริก) ^{ns}	7.66±0.25	7.75±0.22	7.77±0.04	7.70±0.78	7.72±0.42

ตารางที่ 17 (ต่อ)

หมายเหตุ *ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์

DPJ 70 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่

อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที

DPJ 85 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่

อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

FJ 70 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที

FJ 85 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

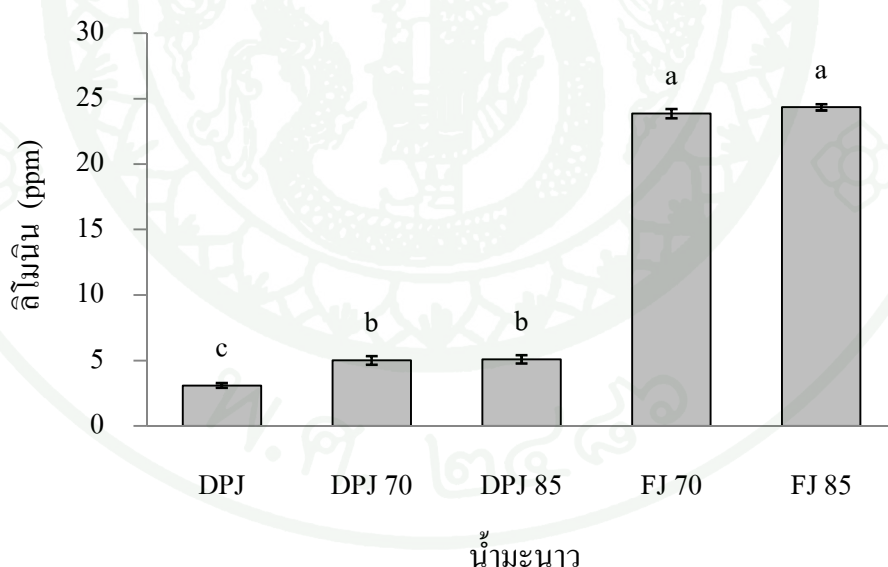
ตัวอักษร ns ในแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.2 สารให้ความขม

จากการศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ พบว่า น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที มีปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ แต่ปริมาณลิโมนินที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าในน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน และยังมีปริมาณต่ำกว่า 6 ppm ซึ่ง The Florida Department of Citrus ระบุว่า ถ้าน้ำผลไม้ตระกูลส้มมีปริมาณลิโมนินสูงกว่า 6 ppm จะทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้รสขมได้และผู้บริโภคจะไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 25 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodart (2001) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อสารลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวาน ซึ่งอุณหภูมิที่ศึกษามี 3 ระดับคือ 60, 70 และ 80 °ซ เวลา 15 นาที พบว่าปริมาณลิโมนินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และน้ำส้มที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °ซ มีปริมาณลิโมนินไม่แตกต่างกัน และงานวิจัยของ Pareek *et al.* (2011)

ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์ที่มีต่อปริมาณลิโมนินในน้ำส้มแมนดาริน โดยทำการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 °ซ เวลา 15, 25 และ 35 นาที อุณหภูมิ 75 °ซ เวลา 10, 20 และ 30 นาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้น โดยการพาสเจอร์ไรซ์น้ำส้มที่อุณหภูมิ 65 °ซ ที่เวลาต่างๆ มีปริมาณลิโมนินน้อยกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 °ซ และอุณหภูมิ 85 °ซ ที่เวลาต่างๆ

ความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ลิโมนินเอท เอริง แลคโตน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ไม่มีรสขมเปลี่ยนไปเป็นลิโมนิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ลิโมนิน ดีริง แลคโตน ไฮโดรเลส ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนและมีการรายงานว่า ช่วงอุณหภูมิ 70 และ 80 °ซ เป็นอุณหภูมิที่กิจกรรมของเอนไซม์ ลิโมนิน ดีริง แลคโตน ไฮโดรเลส ทำงานได้ดี (Maier *et al.*, 1977) นอกจากนี้เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดๆหนึ่ง ปริมาณลิโมนินจะไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก ลิโมนินเอท เอริง แลคโตน เปลี่ยนไปเป็นลิโมนินอย่างสมบูรณ์ (Kimball, 1991)



ภาพที่ 25 ปริมาณลิโมนินของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ภาพที่ 25 (ต่อ)

หมายเหตุ DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์

DPJ 70 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที

DPJ 85 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

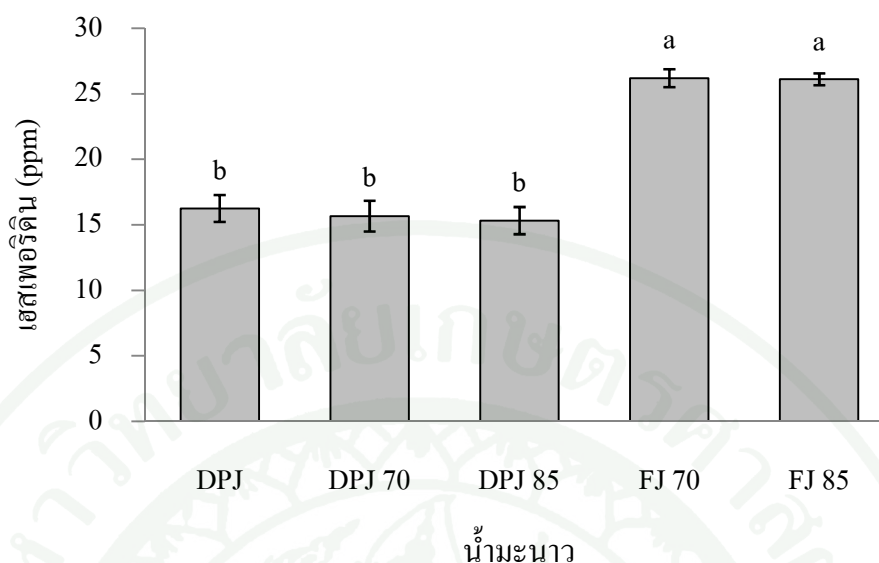
FJ 70 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที

FJ 85 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.3 สารประกอบฟลาโวนอยด์

จากการศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ พบว่าการพาสเจอไรซ์ไม่มีผลต่อปริมาณเฮสเพอริดินของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาทีและที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ แต่ปริมาณเฮสเพอริดินยังมีค่าน้อยกว่าในน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 26) สารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบในผลไม้ตระกูลส้มส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของฟลาวาโนน เช่น เฮสเพอริดิน นารินจิน และนีโอเฮสเพอริดิน โดยสารที่อยู่ในกลุ่มของฟลาวาโนนนี้จะมีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะในระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์ (Moreno, *et al.*, 2005) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Izquierdo *et al.* (2002) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณ hesperidin ในน้ำส้ม โดยให้ความร้อนแก่น้ำส้มที่อุณหภูมิ 75 และ 95 °ซ เวลา 30 วินาที พบว่าน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวมีปริมาณเฮสเพอริดินไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และงานวิจัยของ Mayer *et al.* (2007) ศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อปริมาณเฮสเพอริดินในน้ำส้ม โดยนำน้ำส้มมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °ซ เวลา 4 นาที พบว่าการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณเฮสเพอริดินในน้ำส้ม



ภาพที่ 26 ปริมาณเซสเพอรินของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

หมายเหตุ DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์
 DPJ 70 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที
 DPJ 85 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที
 FJ 70 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที
 FJ 85 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที
 ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.4 วิตามินซี

จากการศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ พบว่า น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที มีปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและปริมาณวิตามินซีทั้งหมดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันพบว่าปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซีทั้งหมดในน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 18 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Serrano *et al.* (2008) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 °ซ เวลา 30 วินาที และพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง (pulsed electric field) พบว่าน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอไรซ์และพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูงมีปริมาณวิตามินซีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะเขือเทศสด และน้ำมะเขือเทศที่ผ่านพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูงมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และงานวิจัยของ Tiwari *et al.* (2009) ศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์ต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำส้ม โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์คือ 98 °ซ เวลา 21 วินาที พบว่าน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์มีปริมาณวิตามินซีลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มคั้นสด และ Polydera *et al.* (2003) ศึกษาปริมาณวิตามินซีของน้ำส้มที่ใช้ความดันสูงและพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 °ซ เวลา 30 วินาที พบว่าน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์มีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าน้ำส้มที่ใช้ความดันสูง

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกเป็นวิตามินที่ละลายและถูกทำลายได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน แสง อากาศ และสภาพที่เป็นด่าง ซึ่งกระบวนการพาสเจอไรซ์เป็นกระบวนการแปรรูปอีกวิธีหนึ่งที่ต้องใช้ความร้อนจึงมีผลทำให้สูญเสียวิตามินซีได้ โดยวิตามินซีที่อยู่ในรูปของ L-ascorbic acid เมื่อถูกออกซิไดส์จะเปลี่ยนเป็น dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งปฏิกิริยานี้สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ แต่ถ้า DHA ถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น 2,3-diketogulonic acid จะไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี (Noctor and Foyer, 1998)

ตารางที่ 18 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก และปริมาณวิตามินซี ทั้งหมดของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

น้ำมะนาว	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อน้ำผลไม้ 100 มิลลิลิตร)		
	กรดแอสคอร์บิก	กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก	วิตามินซีทั้งหมด
DPJ	85.93±2.50 ^a	1.46±0.17 ^b	87.39±2.92 ^a
DPJ 70	65.57±2.43 ^b	1.68±0.24 ^a	67.25±2.21 ^b
DPJ 85	64.62±3.71 ^b	1.93±0.13 ^a	66.55±3.74 ^b
FJ 70	65.10±3.17 ^b	1.62±0.60 ^a	66.72±2.86 ^b
FJ 85	64.50±3.71 ^b	1.84±0.44 ^a	66.34±4.91 ^b

หมายเหตุ *ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์

DPJ 70 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที

DPJ 85 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

FJ 70 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที

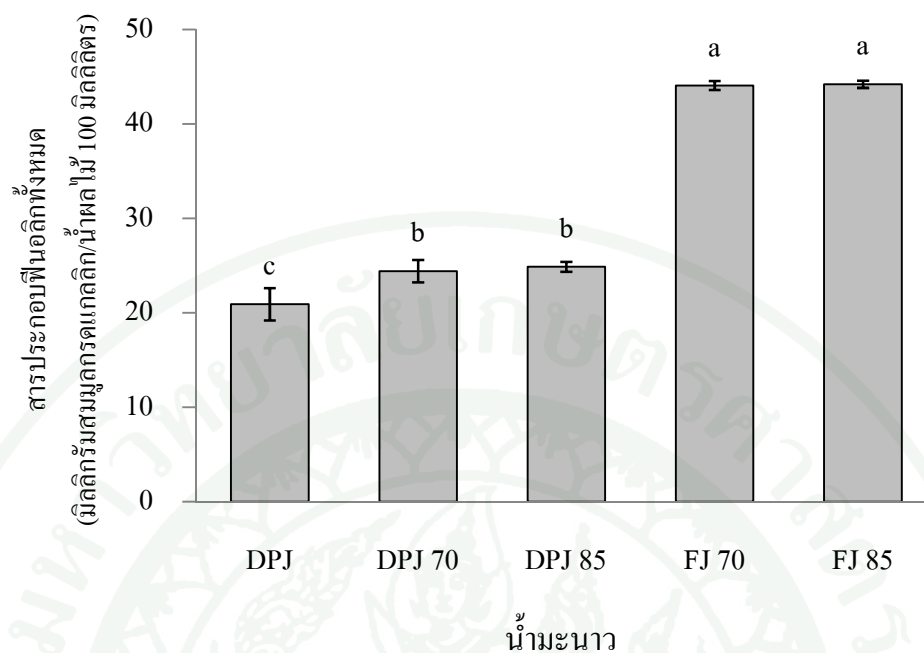
FJ 85 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

ตัวอักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.5 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากการศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ พบว่า น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าในน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 27) การที่สารประกอบฟีนอลิกไม่เปลี่ยนแปลงนั้นเนื่องจากระดับความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์ไม่ทำให้สารประกอบฟีนอลิกเสื่อมสลาย (Petre, 2011) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกที่พบในน้ำมะนาวคือ เฮสเพอริดิน โดยแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มเดียวกับปริมาณเฮสเพอริดิน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์พบว่า มีค่า r^2 เป็น 0.981 นอกจากนี้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดยังมีแนวโน้มเดียวกับปริมาณลิโมนินซึ่งมีค่า r^2 เท่ากับ 0.997 จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณเฮสเพอริดินและลิโมนินมีความสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลิก

จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Izquierdo *et al.* (2002) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้ม โดยให้ความร้อนแก่น้ำส้มที่อุณหภูมิ 75 และ 95 °ซ เวลา 30 วินาที พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณไม่แตกต่างกันกับน้ำคั้นสด และงานวิจัยของ Serrano *et al.* (2008) ศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์ต่อสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะเขือเทศ โดยให้ความร้อนแก่น้ำมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 90 °ซ เวลา 30 วินาที พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ไม่มีความแตกต่างกันกับน้ำมะเขือเทศสด

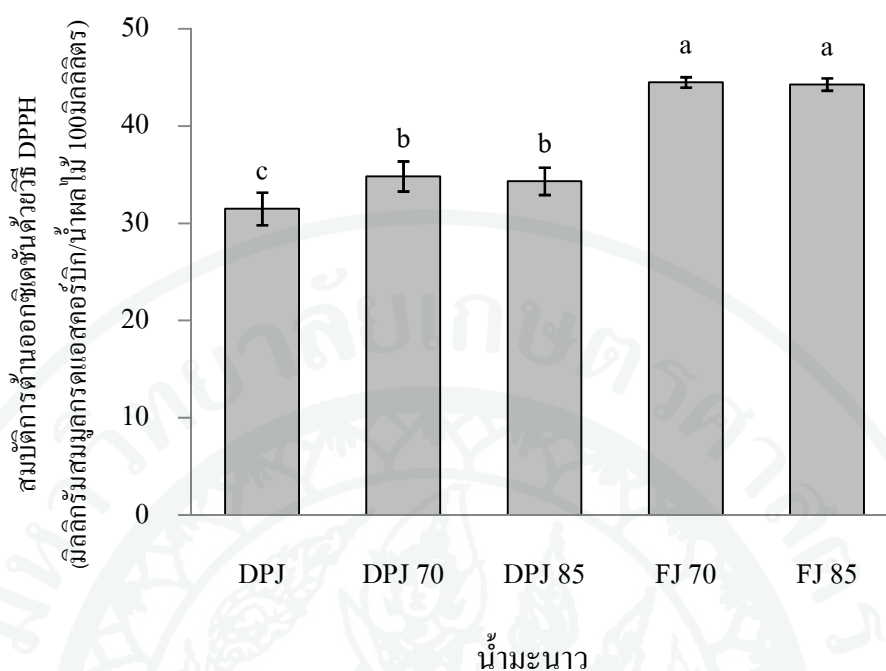


ภาพที่ 27 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

หมายเหตุ DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์
 DPJ 70 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที
 DPJ 85 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที
 FJ 70 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที
 FJ 85 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที
 ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.6 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

จากการศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ พบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาทีและอุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ซึ่งสมบัติการต้านออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าในน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 28) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสมบัติการต้านออกซิเดชันในน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp หลังผ่านการพาสเจอไรซ์นั้น เนื่องจากในกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนสูงสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถแสดงสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ (Manzocco *et al.*, 2001) จากงานวิจัยของ Lee (1992) ศึกษาสารต้านออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในน้ำส้ม พบว่าเมื่อน้ำส้มที่ผ่านการให้ความร้อนเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้คือเมลานอยดิน (melanoidins) และแนวโน้มของสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH มีแนวโน้มเดียวกับปริมาณลิโมนินและเฮสเพอริดิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านออกซิเดชันกับปริมาณลิโมนินมีค่า r^2 เป็น 0.979 และสมบัติการต้านออกซิเดชันกับปริมาณเฮสเพอริดินมีค่า r^2 เป็น 0.947



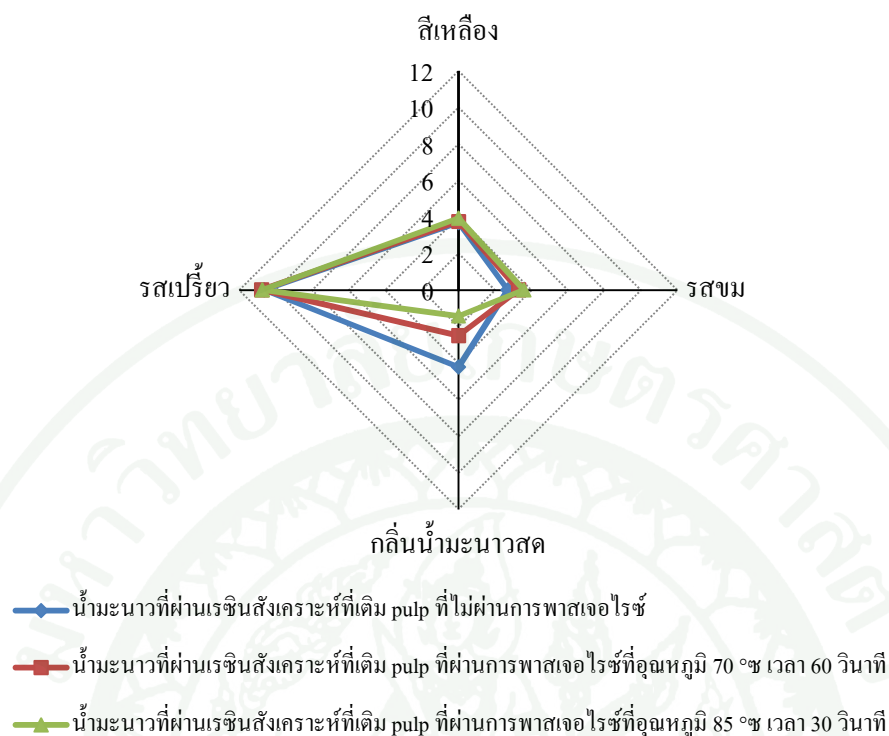
ภาพที่ 28 สมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

หมายเหตุ DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์
 DPJ 70 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที
 DPJ 85 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที
 FJ 70 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที
 FJ 85 คือ น้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที
 ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp และน้ำมะนาวสดที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน (นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) ทำการทดสอบชิมตัวอย่าง เพื่อบอกคุณลักษณะทางด้านสีเหลือง กลิ่น น้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขม โดยใช้สเกล 15 เซนติเมตร กำหนดให้ค่าสเกลความเข้ม ตั้งแต่ 0 (ไม่มีสี กลิ่น และรส) จนถึง 15 (สี กลิ่น และรสเข้มมาก) ซึ่งในแต่ละตัวอย่างประกอบด้วยน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และ 85 °ซ เวลา 30 วินาที แสดงดังภาพที่ 29 และตารางที่ 19 พบว่า ระดับคะแนนความเข้มด้านสีเหลือง รสขม และรสเปรี้ยวของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนระดับคะแนนความเข้มของกลิ่นน้ำมะนาวสดของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมิมีระดับคะแนนความเข้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์



ภาพที่ 29 แผนภาพความเข้มของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขม ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 วินาที และ 85 °C เวลา 30 วินาที

คุณลักษณะทางด้านสีเหลืองของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีระดับคะแนนความเข้มแตกต่างกันไม่มีความสำคัญ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับการวัดค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิแตกต่างกันไม่มีความสำคัญ ($p > 0.05$) คุณลักษณะทางด้านกลิ่นน้ำมะนาวสดของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีระดับคะแนนความเข้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เติม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ จากงานวิจัยของ Hui *et al.* (2006) รายงานว่า น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นน้ำผลไม้ที่มีความไวต่อความร้อนมากโดยเฉพาะเรื่องกลิ่น ซึ่งการใช้ความร้อน เช่น การพาสเจอไรซ์จะทำให้กลิ่นที่เป็นธรรมชาติของน้ำผลไม้ต่างๆ สูญเสียไป จากงานวิจัยของ Araki *et al.* (1992) ศึกษาสารให้กลิ่นในน้ำส้มคั้นสดและน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ พบว่าในน้ำส้มคั้นสดมีสารให้กลิ่นคือ d-limonene, linalool, octanal และ

ethyl butyrate แต่เมื่อนำน้ำส้มไปให้ความร้อนทำให้สารให้กลิ่นเหล่านี้ลดลง คุณลักษณะทางด้านรสเปรี้ยวของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีระดับคะแนนความเข้มข้นแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) สอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน และคุณลักษณะทางด้านรสขมของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีระดับคะแนนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณลิโมนินที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์

ตารางที่ 19 คะแนนความเข้มข้นของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขมของน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และน้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

น้ำมะนาว	คุณลักษณะ			
	สีเหลือง ^{ns}	กลิ่นน้ำมะนาวสด	รสเปรี้ยว ^{ns}	รสขม ^{ns}
DPJ	3.60±0.41	4.22±1.20 ^a	10.61±0.70	2.71±0.86
DPJ 70	3.76±0.32	2.51±0.94 ^b	10.77±0.57	3.31±0.43
DPJ 85	3.92±0.28	1.43±1.22 ^c	10.73±0.26	3.59±0.66

หมายเหตุ *ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

DPJ คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์

DPJ 70 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที

DPJ 85 คือ น้ำมะนาวที่ผ่านเรซินสังเคราะห์ที่เดิม pulp ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที

ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

ตัวอักษร ns ในแนวดิ่ง หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการศึกษาการพาสเจอไรซ์น้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ พบว่าการพาสเจอไรซ์ทำให้ปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณลิโมนินที่เพิ่มขึ้นยังมีปริมาณต่ำกว่า 6 ppm ตามที่ The Florida Department of Citrus ระบุไว้ ดังนั้นการพาสเจอไรซ์มีผลทำให้สารให้ความขมในน้ำมะนาวเพิ่มขึ้น



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลของการลวกผลมะนาว พบว่า สารให้ความขมและสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบในน้ำมะนาวคือ ลิโมนินและเฮสเพอริดิน การลวกผลมะนาวก่อนการคั้นน้ำมีผลทำให้ปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้น และยังมีผลทำให้ปริมาณเฮสเพอริดิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นด้วย การลวกผลมะนาวไม่มีผลต่อสี การเกิดสีน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี

2. การใช้เรซินสังเคราะห์ในการลดความขมของน้ำมะนาว พบว่าการลดความขมในน้ำมะนาวด้วยเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD 16 มีผลทำให้ปริมาณลิโมนินลดลง และยังมีผลทำให้การเกิดสีน้ำตาล ปริมาณเฮสเพอริดิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันลดลง การใช้เรซินไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี แต่มีผลทำให้สีของน้ำมะนาวจางลง การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA พบว่าคะแนนของคุณลักษณะด้านสีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด และรสขมของน้ำมะนาวที่ผ่านกระบวนการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์มีระดับความเข้มลดลง

3. ผลของการพาสเจอร์ไร้น้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ พบว่าการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 60 วินาที และที่อุณหภูมิ 85 °ซ เวลา 30 วินาที มีผลทำให้ปริมาณลิโมนิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง นอกจากนี้การพาสเจอร์ไรซ์ไม่มีผลต่อสี การเกิดสีน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณเฮสเพอริดิน ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA พบว่าคะแนนของคุณลักษณะด้านกลิ่นน้ำมะนาวสดของน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ทั้งสองอุณหภูมิมีระดับความเข้มลดลง

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาการใช้เรซินสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ ในการลดความขมในน้ำมะนาวเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในกระบวนการลดความขมต่อไป

ควรมีการศึกษาการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมะนาวในระหว่างผ่านเรซินสังเคราะห์

ควรมีการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำมะนาวโดยการใช้ความร้อนต่ำเพื่อช่วยลดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของน้ำมะนาว

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวที่ผ่านกระบวนการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์ทางด้านการยอมรับของผู้บริโภค เพื่อใช้เป็นข้อมูลก่อนการนำไปใช้จริงกับอุตสาหกรรมอาหารได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมอนามัย. 2544. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยส่วนที่กินได้ 100 กรัม. กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

ณัฐา เลากุลจิตต์. 2540. การลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวาน *Citrus reticulata* โดยใช้เปลือกไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศวิษา พิพัฒน์จิตติกร. 2548. การขยายส่วนการลดความขมในน้ำส้มเขียวหวาน *Citrus reticulata* Blanco ด้วยบีตาไซโคลเดกซ์ทรินพอลิเมอร์โดยกระบวนการฟลูอิดไอเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธรรมรัตน์ รุ่งสังข์. 2551. ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกต่อปริมาณลิโมนินและวิตามินซีในมะนาวพันธุ์แป้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ปรีชา เลิศปรัษฎา และ นิติ งามสมประเสริฐ. 2549. คู่มือสื่อการสอนวิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รวี เศรษฐภักดี. 2542. เทคนิคการผลิตมะนาวนอกฤดู. เอกสารประกอบการประชุมหรือเพื่อแก้ไขปัญหามะนาวระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สส. และจังหวัด. วันที่ 26 กรกฎาคม 2542. ณ ห้องประชุมสถาบันวิจัยและพัฒนาอาคารสุวรรณจากกลกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ.

วรรณิ มาวิมล. 2545. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะนาวผงและการประเมินอายุการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิเศษ อัครวิทยากุล. 2542. การปลูกมะนาว. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์เกษตรบุค, กรุงเทพฯ.

วิไล ริงสาตทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สำนักพิมพ์เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ศุภกิจ แก้วถนอม. 2540. การปลูกมะนาว. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สุพัตรา รักษาพรต. 2547. การลดความขมในน้ำส้มโดยใช้ไลโคซาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวรรณา พิชัยขงศ์วงศ์ดี และระติพร หาเรือนกิจ 2544. การศึกษาปริมาณสารให้ความขมในมะนาว และผลของเอทิลีนต่อความขม. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 9(3): 39-44.

เสาวภาคย์ วัฒนพาหุ. 2545. การยืดอายุการเก็บน้ำมะนาวด้วยวิธีการทางเคมีและกายภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. สำนักพิมพ์พี. เอส. พรินท์, นนทบุรี.

Adefegha, S.A. and G. Oboh. 2011. Cooking enhances the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. **African Journal of Biotechnology**. 10(4): 632-639.

Albach, R.F. and G.H. Redman. 1969. Composition and inheritance of flavanones in citrus fruit. **Phytochemistry**. 8: 127-143.

Alvarez, R., C.P. Carvalho, J. Sierra, O. Lara, D. Cardona and J. Londono. 2012. Citrus juice extraction systems: effect on chemical composition and antioxidant activity of clementine juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 60: 774-781.

AOAC. 2000. **Official method of Analysis of AOAC international**. 17th ed. Arlington, Virginia : Association of Official Analytical Chemists. Inc.

Araki, C. and H. Sakakibara. 1992. Changes of volatile flavor compounds in sweet orange juices by heating. **Journal of Japanese Society of Food Science and Technology**. 39(6): 477-482.

Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 50: 601-639.

Balasundram, N., K. Sundram and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence and potential uses. **Food Chemistry**. 99: 191-203.

Banias, C., V. Oreopoulou and C.D. Thomopoulos. 1992. The effect of primary antioxidants and synergists on the capacity of plant extract in lard. **Journal American Oil Chemical Society**. 69: 520-524.

Beckham, J. 2002. **Reflection on Limonene**. Molecular Modeling Using Computational Chemistry Methods. Lew Acampora.

Brambilla, A., D. Maffi and A. Rizzolo. 2011. Study of the influence of berry-blanching on syneresis in blueberry purees. **Procedia Food Science**. 1: 1502-1508.

Bravo, L. 1998. Polyphenol: chemistry, dietary source, metabolism and nutritional significance. **Nutrition Review**. 56: 517-533.

- Casas, A., M.I. Rodrigo and D. Mallest. 1979. Prevention of limonin precursor accumulation in Washington navel oranges by treating the trees with triethylamine derivatives. **Revista de Agroquimicay Technology de Alimentos**. 19(4): 513-519.
- Chandler, B.V. and R.L. Johnson. 1977. Cellulose acetate as a selective sorbent for limonin in orange juice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 28: 875-884.
- Chism, G.W. and N.F. Haard. 1996. Characteristics of edible plant tissues. In O.R. Fennema, ed. **Food Chemistry**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Couture, R. and R. Rouseff. 1992. Debittering and Deacidifying sour orange (*citrus anrantium*) juice using neutral and anion exchange resins. **Journal of Food Science**. 57(2): 380-384.
- Egert, S. and G. Rimbach. 2011. Which sources of flavonoids: complex diets or dietary supplements. **American Society for Nutrition**. 2: 8-14.
- Erdman, J.W. and B.P. Klein. 1982. Harvesting, processing and cooking influence on vitamin c in food, pp. 499-532. In P.A. Seib and B.M. Tolbelt, eds. **Ascorbic acid : Chemistry, Metabolism and Uses**. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Gamarra, F.M.C., L.S. Sakanaka, E.B. Tambourgi and F.A. Cabral. 2006. Influence on the quality of essential distillation process. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. 23(1): 147-151.
- Garg, A., S. Garg, L.J.D. Zaneveld and A.K. Singla. 2001. Chemistry and Pharmacology of the citrus bioflavonoid hesperidin. **Phytotherapy Research**. 15: 655-669.

- Ghafar, M.F.A., K.N. Prasad, K.K. Weng and A. Ismail. 2010. Flavonoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from citrus species. **African Journal of Biotechnology**. 9(3): 326-330.
- Gorinstein, S., D. Huang, H. Leontowicz, M. Leontowicz, K. Yamamoto, R.S. Fortuny, O. Martin-Belloso, A.L. Martinez-Ayala and S. Trakhtenberg. 2006. Determination of naringin and hesperidin in citrus fruit by high performance liquid chromatography the antioxidant potential of citrus fruit. **Acta Chromatogram**. 17: 108-124.
- Hasegawa, S., M.N. Patel and R.C. Snyder. 1982. Reduction of limonin bitterness in navel orange juice serum with bacterial cells immobilized in acrylamide gel. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 30(3): 509-511.
- Hasegawa, S. 1999. **Limonin bitterness in citrus juices**. Flavor Chemistry: thirty years of Progress, California.
- Hernandez, E., R. Couture, R. Rouseff, C.S. Chen and S. Barros. 1992. Evaluation of ultrafiltration and adsorption to debitter grapefruit juice and grapefruit pulp wash. **Journal of Food Science**. 57: 664-666.
- Hollman, P.C.H. and M.B. Katan. 1999. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. **Food chemistry and Toxicology**. 37: 937-942.
- Huang, D., B. Ou and R. L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 1841-1856.
- Hui, Y.H., J. Barta, M. Pilar Cano, T.W. Gusek, J.S. Sidhu and N. Sinha. 2006. **Handbook of Fruits and Fruit Processing**. Blackwell Publishing.

- Igual, M., E. Garcia Martinez, M.M. Camacho and N. Martinez Navarrete. 2010. Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. **Food Chemistry**. 118: 291-299.
- Izquierdo, A.G. M. Gil and F. Ferreres. 2002. Effect of processing techniques at industrial scale on orange juice antioxidant and beneficial health compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 5107-5114.
- Jia, G.A.O., W.A.N.G. Baogang, F.E.N.G. Xiaoyuan and Z.H.U. Yongqing. 2012. Effect of Blanching on Quality of Sour Cherry (*Prunus cerasus* L. CV. CAB) Juice. **American-Eurasian Journal of Agricultural and environment science**. 12(1): 123-127.
- Johnson, L. R. and B.V. Chandler. 1982. Reduction of bitterness and acidity in grapefruit juice by adsorptive process. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 33: 287-293.
- Johnson, L. R. and B.V. Chandler. 1985. Ion exchange and adsorbent resins for removal of acids and bitter principles from citrus juices. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 36: 480-484.
- Jungsakulrujirek S. and A. Noomhorm. 2004. Reduction of bitterness in the juice of citrus reticulata blanco, using adsorption technique with XAD-16 resin. **Journal of Science Technology and Humanities**. 2(2): 1-8.
- Khurdiya, D.S. and R.E. Lotha. 1994. Effect of juice extraction from kinnow mandarin on the composition and quality of juice pomace and peel. **Journal of Food Science and Technology**. 31: 234-240.
- Kimball, D.A. 1987. Debittering of citrus juices using supercritical carbon dioxide. **Journal of food science**. 52(2): 481-482.

- Kimball, D.A. 1991. **Citrus processing quality control and technology**. AVL Publ. Co. Inc., New York.
- Kimball, D.A. 1999. **Citrus processing: a complete guide**. 2nd ed. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers.
- Kim, S.W. Jeong and C.Y. Lee. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chemistry**. 81: 321-326.
- Koch Membrane Systems. 2004. **Microfiltration Overview**. Available source: http://www.kochmembrane.com/sep_mf.html, October 20, 2011.
- Kola, O., K. Cemal, D. Huseyin and A. Ali. 2010. Removal of limonin bitterness by treatment of ion exchange and adsorbent resins. **Food Science and Biotechnology**. 19(2): 411-416.
- Ladaniya, M.S. 2008. **Citrus fruit : biology technology and evaluation**. Academic Press of Elsevier Inc., London.
- Lee, H.S. 1992. Antioxidative activity of browning reaction products isolated from storage-aged orange juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 40: 550-552.
- Lee, H.S. and G.A. Coates. 1999. Vitamin c content in frozen, fresh squeezed, unpasteurized polyethylene-bottle orange juice: a storage study. **Food Chemistry**. 65: 165-168.
- Lee, H.S. and J.G. Kim. 2003. Effects of debittering on red grapefruit juice concentrate. **Food Chemistry**. 82: 177-180.
- Lee, S.K. and A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factor influencing vitamin c content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**. 20(3): 207-220.

Levine, M., Y.H. Wang, S.J. Padayatty and J. Morrow. 2001. A new recommended dietary allowance of vitamin c for healthy young women. **Proceedings of the National Academy of sciences.** 98: 9842-9846.

Liao, M.L. and P.A. Seib. 1988. Chemistry of L-ascorbic acid related to foods. **Food Chemistry.** 30: 289-312.

Li, L., C. Jiang, W. Xiufang, P. Pihui and Y. Zhuoru. 2006. Synthesis and characterization of suspension polymerized styrene-divinylbenzene porous microsphere using as slow-release-active carrier. **Chinese Journal of Chemical Engineering.** 14(4): 471-477.

Madhavi, D.L. and D.K. Salunkhe. 1997. Toxicological aspects of food antioxidant, pp. 267-361. *In* D.L. Madhavi, S.S. Deshpande and D.K. Sulnkhe, eds. **Food Antioxidants: Technological, Toxicological and Health Perspectives.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Maier, V.P., L.C. Brewster and A.C. Hsu. 1973. Ethylene-accelerated limonoid metabolism in citrus fruits : A process for reducing juice bitterness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 21(3): 490-495.

Maier, V.P., R.D. Bennett and S. Hasegawa. 1977. **Limonin and other limonoids.** Citrus Sci. and Techn. AVI Publ. Westsport, Conn.

Manners, D.G. 2007. Citrus limonoids: analysis, bioactivity, and biomedical prospects. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 55: 8285-8294.

Manzocco, L., C.S. Mastrocola D., M.C. Nicoli and C.R. Lerici. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. **Trends in Food Science and Technology.** 11(9-10): 340-346.

- Marin, F.R., M. Martinez, T. Uribealago, S. Castillo and M.J. Frutos. 2002. Changes in nutraceutical composition of lemon juices according to different industrial extraction systems. **Food Chemistry**. 78: 319–324.
- Mayer, C.D., M. Tbatou, M. Carail, C. Caris-Veyrat, M. Dornier and M.J. Amiot. 2007. Thermal degradation of antioxidant micronutrients in citrus juice: kinetics and newly formed compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55: 4209-4216.
- Middleton, E., C. Kandaswami and T.C. Theoharides. 2000. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease and cancer. **Pharmacological Reviews**. 52: 673-751.
- Moreno, C.S., L. Plaza, P.E. Martiane, B.D. Ancos, O. Martian-Bellso and M.P. CANO. 2005. Impact of high pressure and pulsed electric fields on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice in comparison with traditional thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 4403-4409.
- Mozaffar, Z., Q.R. Miranda, S. Jose and V. Saxena. 1998. High throughput debittering. **United States Patent**. 1-19.
- Nijveldt, R.J., E.V. Nood, D.E.V. Hoorn, P.G. Boelens, K.V. Norren and P.A.V. Leeuwen. 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 74: 418-425.
- Noctor, G. and C.H. Foyer. 1998. Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 49: 249-279.

- Nogata, Y., S. Koji, S. Hiroyuki, I. Toshinao, Y. Masamichi and O. Hideaki. 2006. Flavonoid composition of fruit tissues of citrus species. **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**. 70(1): 178-192.
- Olivera, D.F., S. Z. Vina, C.M. Marani, R.M. Ferreyra, A. Mugridge, A.R. Chaves and R.H. Mascheroni. 2008. Effect of blanching on the quality of Brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. gemmifera DC) after frozen storage. **Journal of Food Engineering**. 84: 148–155.
- Palou, E., A. Lopez-Malo, G. V. Barbosa-Canovas, J. Welti-Chanes and B. G. Swanson. 1999. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science**. 64(1):42-45.
- Patil, J.R., K.N. Chidambara Murthy, G.K. Jayaprakasha, M.B. Chettl and B.S. Patil. 2009. Bioactive compounds from Mexican lime (*Citrus aurantifolia*) juice induce apoptosis in human pancreatic cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 57: 10933-10942.
- Pareek, S., P. Ravinder and S. Mukherjee. 2011. Effect of juice extraction methods and processing temperature-time on juice quality of Nagpur mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) during storage. **Journal of Food Science and Technology**. 48 (2):197–203.
- Petre, M. 2011. **Advances in applied biotechnology**. Intech. Co. Inc., China.
- Polydera A.C., N.G. Stoforos and P.S. Taoukis. 2003. Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurised and high pressure processed reconstituted orange juice. **Journal of Food Engineering**. 60: 21–29.
- Prakash, S., R.S. Singhal and P.R. Kulkarni. 2002. Enzymic debittering of Indian grapefruit (*Citrus paradisi*) juice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 82: 394-397.

- Randhir, R., Y. In Kwon and K. Shetty. 2008. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 9: 355–364.
- Ribeiro, M.H.L., D. Silveira and S. Ferreira-Dias. 2002. Selective adsorption of limonin and naringin from orange juice to natural and synthetic adsorbents. **Europe Food Research and Technology**. 215: 462-471.
- Robbins, R.J. 2003. Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51: 2866-2887.
- Rodart, P. 2001. **Reduction of limonin in tangerine juice *Citrus reticulata* Blanco juice by beta-cyclodextrin polymer**. Master thesis, Chulalongkorn University.
- Rossi, M., E. Giussani, R. Morelli, R. L. Scalzo, R. C. Nani and D. Torreggiani. 2003. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. **Food Research International**. 36: 999–1005.
- Rouseff, R.L. 1988. Liquid chromatographic determination of naringin as a detector of Grapefruit juices in orange juices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 71: 798 - 802.
- Roy, A. and S. Saraf. 2006. Limonoids: Overview of significant bioactive triterpenes distributed in plants kingdom. **Pharmaceutical Society of Japan**. 29(2): 191-201.
- Salmah, Y., M.G. Hasanah and S.K. Gan. 1990. Naringin content in local citrus fruits. **Food Chemistry**. 37: 113-121.

- Salunkhe, D.K., H.R. Bolin and N.R. Reddy. 1991. **Storage , Processing and Nutritional Quality of Fruit and Vegetables: Vol. I. Fresh Fruit and Vegetables.** 2nded. CRC Press, Boston, MA, U.S.A.
- Sapers, G.M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants, and others means. **Food and Technology.** 47(10): 75-84.
- Scott, W.C. 1970. Limonin in florida citrus fruits. **Florida State Horticultural Society.** 270-277.
- Sebastian, J. P., A. Katz, Y. Wang, P. Eck, O. Kwon, J.H. Lee and S. Chen. 2003. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. **Journal of the American College of Nutrition.** 22(1): 18–35.
- Serrano, I.O., R. Soliva-Fortuny and O. Martin-Belloso. 2008. Changes of health-related compounds throughout cold storage of tomato juice stabilized by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. **Innovative Food Science and Emerging Technologies.** 9: 272-279.
- Shaw, P.E., J.H. Tatum and C.W. III. Wilson. 1984. Improved flavor of navel orange and grapefruit juices by removal of bitter components with beta-cyclodextrin polymer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 32(4): 832-836.
- Sigma-Aldrich Co. 1997. Amberlite XAD-16 polymeric adsorbent product specification. Amberlite XAD-16 polymeric adsorbent specification. Available Source: [http://www.sigma-aldrich.com/Amberlite XAD-16/productspecification.pdf](http://www.sigma-aldrich.com/Amberlite%20XAD-16/productspecification.pdf), April 19, 2012.
- Singh, R.P., K.N. Chidambara and G.K. Jayaprakasha. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 50: 81-86.

- Soleiman, A., P. Zandi and E. Mirbagheri. 2005. Quantitation of limonin in Iranian orange juice concentrates using high-performance liquid chromatography and spectrophotometric methods. **Europe Food Research and Technology**. 221: 202-207.
- Soto, M.L., A. Moure, H. Dominguez and J.C. Parajo. 2011. Recovery concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: a review. **Journal of Food Engineering**. 105: 1-27.
- Stewart, I. 1977. Provitamin A and carotenoid content of citrus juices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 25(5): 1132-1137.
- Sun, C., C. Kunsong, C. Yang and C. QingJun. 2005. Contents and antioxidant capacity of limonin and nomilin in different tissues of citrus fruit of four cultivars during fruit growth and maturation. **Food Chemistry**. 93: 599-605.
- Takenaka, M. K. Nanayama, S. Isobe, K. Ozaki, K. Miyaki, H. Sumi, Y. Toume, S. Morine and H. Ohta. 2007. Effect of extraction method on yield and quality of citrus depressa juice. **Food Science and Technology Research**. 13(4): 281-285.
- Three dimensional structure database. 2006. 3DMET universal description. Hesperidin and limonin universal description. Available Source: <http://www.3DMET.com>, June 5, 2012.
- Tiwari, B.K., C.P.O. Donnell, K. Muthukumarappan and P.J. Cullen. 2009. Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. **LWT-Food Science and Technology**. 42: 700-704.
- Tripoli, E., L.G. Maurizio, G. Santo, D.M. Danila and G. Marco. 2007. Citrus flavonoids: molecular structure, biological activity and nutritional properties: a review. **Food Chemistry**. 104: 466-479.

Vincent, P.M., S. Hasegawa, R.D. Bennett and L.C. Echols. 1980. Limonin and Limonoids. **Citrus Nutrition and Quality**. 4: 63-82.

Widmer, W. Wilbur. 1991. Improvements in the Quantitation of limonin in citrus juice by reversed-phase high-performance liquid chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 39: 1472-1476.

Wilson, C.W., C.J. Wagner and P.E. Shaw. 1989. Reduction of bitter components in grapefruit and navel orange juices with beta-cyclodextrin polymers or XAD resins in a fluidized bed process. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 37: 14-18.

Wuttipalakorn, P., W. Srichumpuang and N. Chiewchan. 2009. Effects of pretreatment and drying on composition and bitterness of high-dietary-fiber powder from lime residues. **Drying Technology**. 27: 133-142.

Zapata, S. and J. P. Dufour. 1992. Ascorbic, dehydroascorbic and isoascorbic acid simultaneous determinations by reverse phase ion interaction HPLC. **Journal of Food Science**. 57(1): 506-511.

Zewat, L.L., J. Merman, J. Commandeur and N. Vermeulen. 1999. Biomarker of free radical damage application of experimental animals and in humans. **Free Radical Biology and Medicine**. 26: 202-226.



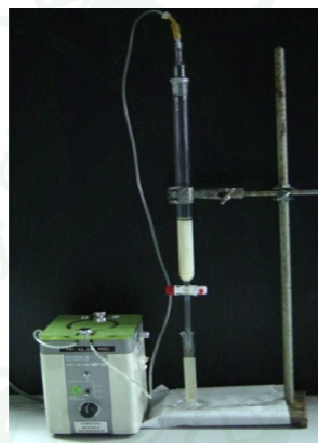
ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
เรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16

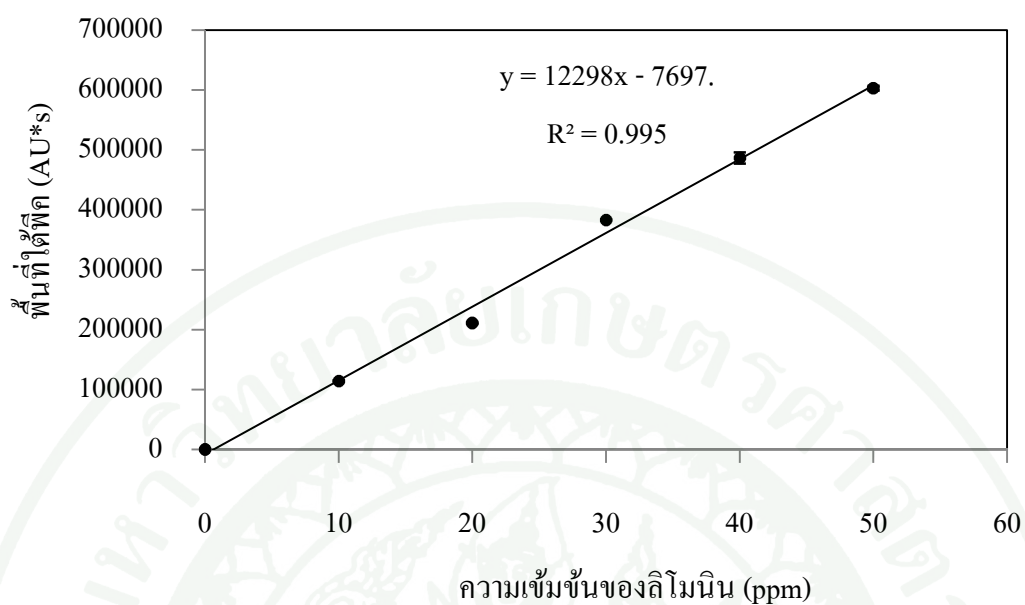
1. การ precondition เรซินสังเคราะห์

นำเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 ปริมาณ 11 กรัม มาผ่านการ precondition ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Couture and Rouseff (1992) โดยนำเรซินมาแช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน และล้างด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาบรรจุในคอลัมน์แก้วและใส่น้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอร์มัล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยอัตราการไหลที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาที



ภาพผนวกที่ ก1 ลักษณะของเรซินสังเคราะห์ Amberlite XAD-16 และกระบวนการลดความขมในน้ำมะนาวด้วยเรซินสังเคราะห์





ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานของสารลิเทียม

การวิเคราะห์ปริมาณเฮสเพอริดิน

1. สภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์เฮสเพอริดินด้วย HPLC

Column	: RP-C18 (Symmetry® 3.9 mm x150 mm)
ระบบ Mobile phase	: Gradient
Mobile phase	: 0.1% Phosphoric acid in DI water (A) 0.1% Phosphoric acid in Acetonitrile (B)
Flow rate	: 1 mL/min
Volume inject	: 20 µL
Detector	: Photodiode Array Detector
Wavelength	: 280 nm

ตารางผนวกที่ ข1 สัดส่วนวัฏภาคเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์เฮสเพอริดิน โดยเทคนิค HPLC
(ดัดแปลงจาก Gorinstein *et al.*, 2006)

เวลา (นาที)	วัฏภาคเคลื่อนที่ A (ร้อยละ)	วัฏภาคเคลื่อนที่ B (ร้อยละ)
1	92	8
4	89	11
10	87	13
20	80	20
30	78	22
50	60	40
55	92	8
60	92	8

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 นำตัวอย่างน้ำมะนาวหรือน้ำมะกรูดและสารมาตรฐานเฮสเพอริดิน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร กรองด้วย 0.45 μm cellulose ไล่ขวดสีชา

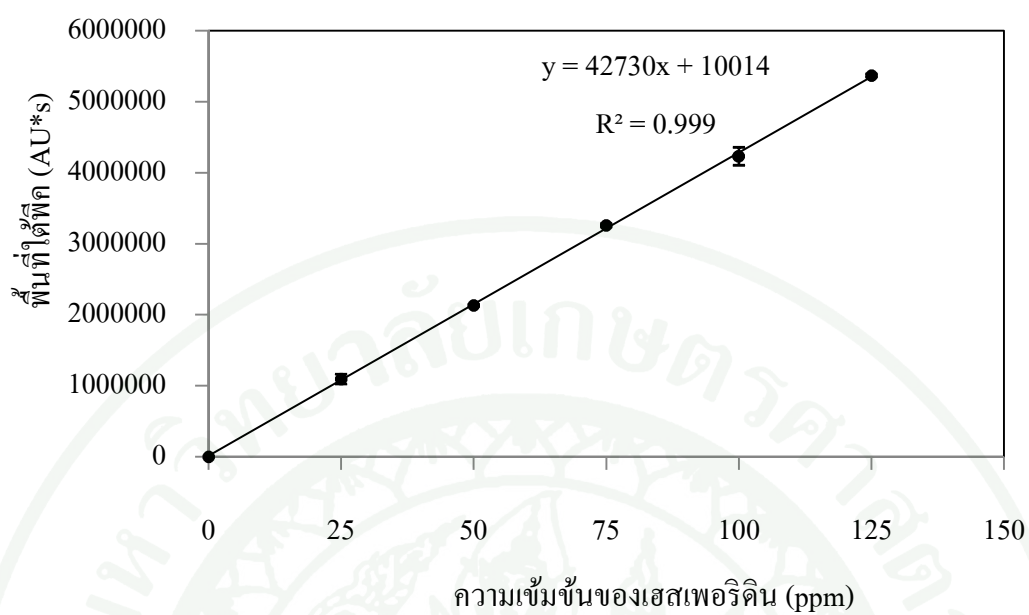
2.2 นิดตัวอย่างน้ำมะนาวและสารมาตรฐานเฮสเพอริดิน เข้าสู่เครื่อง HPLC ตามสภาวะการวิเคราะห์ข้างต้น

2.3 นำพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานมาสร้างกราฟมาตรฐานเฮสเพอริดิน ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค1

3. วิธีการคำนวณ

3.1 อ่านค่าพื้นที่ใต้พีคของสารที่ retention time ตรงกับ retention time ของสารมาตรฐานเฮสเพอริดิน โดยตรวจสอบที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

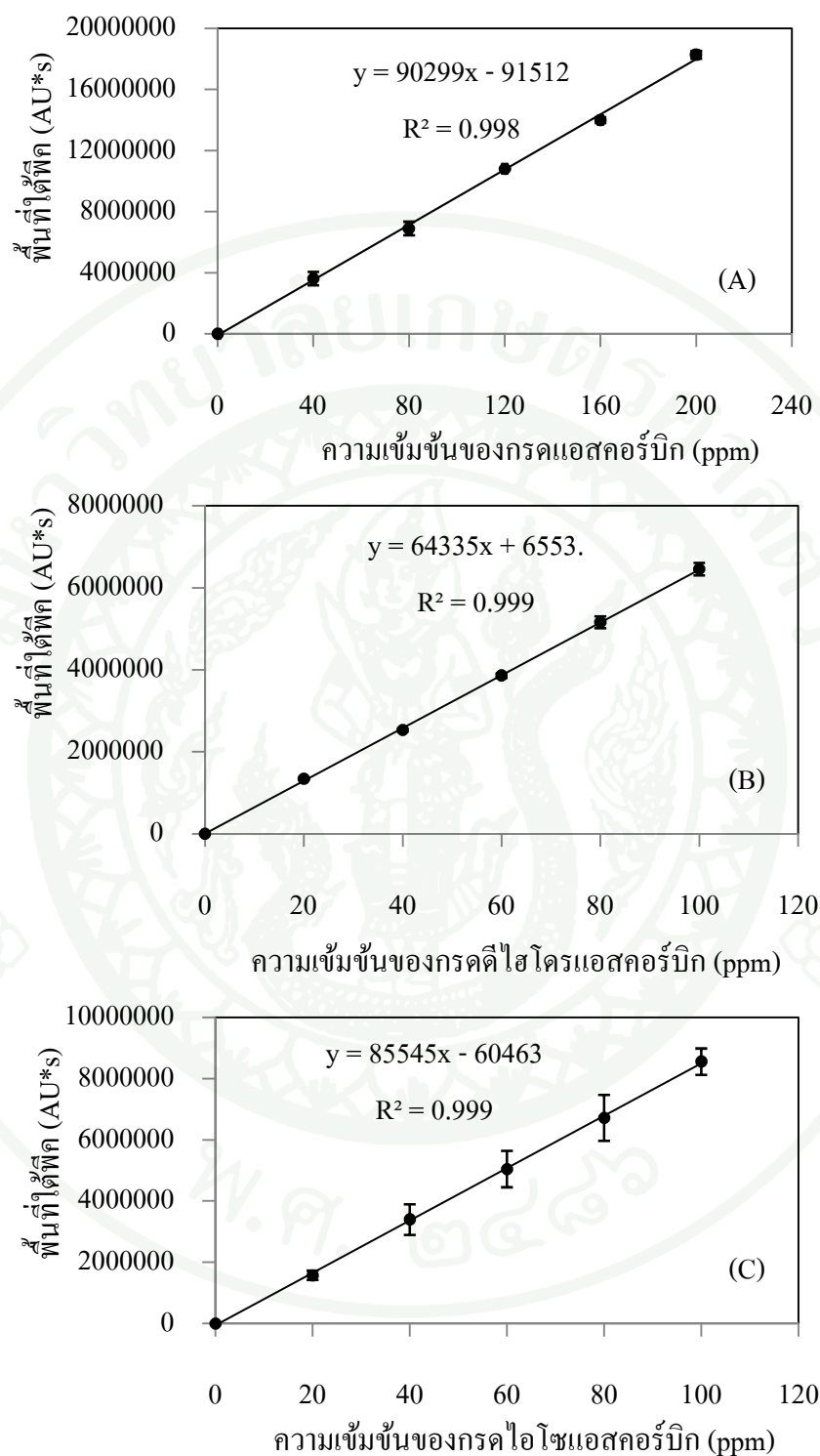
3.2 ปริมาณสารที่พบในตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณโดยการแทนพื้นที่ใต้พีคลงในสมการของกราฟสารมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ข2 กราฟมาตรฐานของสารเฮสเพอริคิน



ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

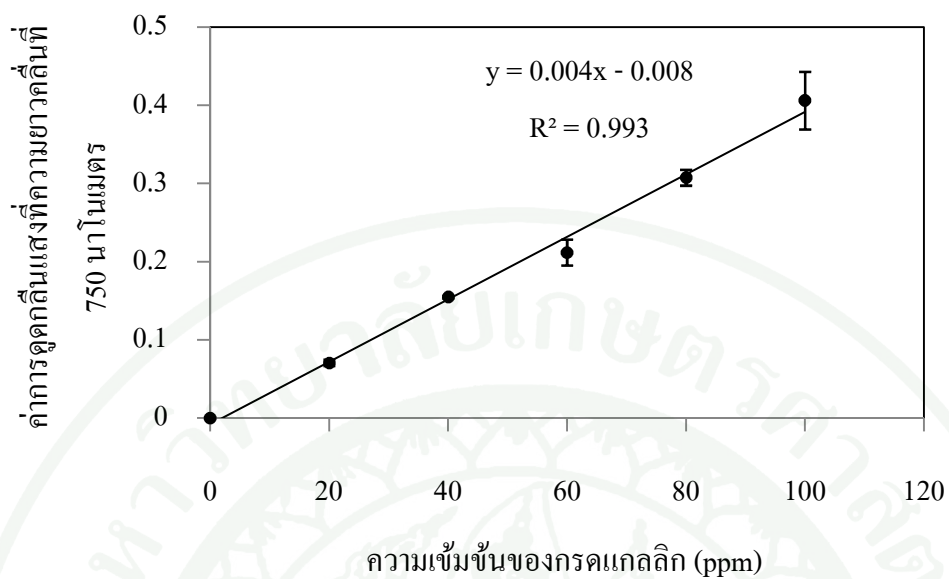


ภาพผนวกที่ ค1 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (A), กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) (B), และกราฟมาตรฐานของกรดไอโซแอสคอร์บิก (D-isoascorbic acid) (C)

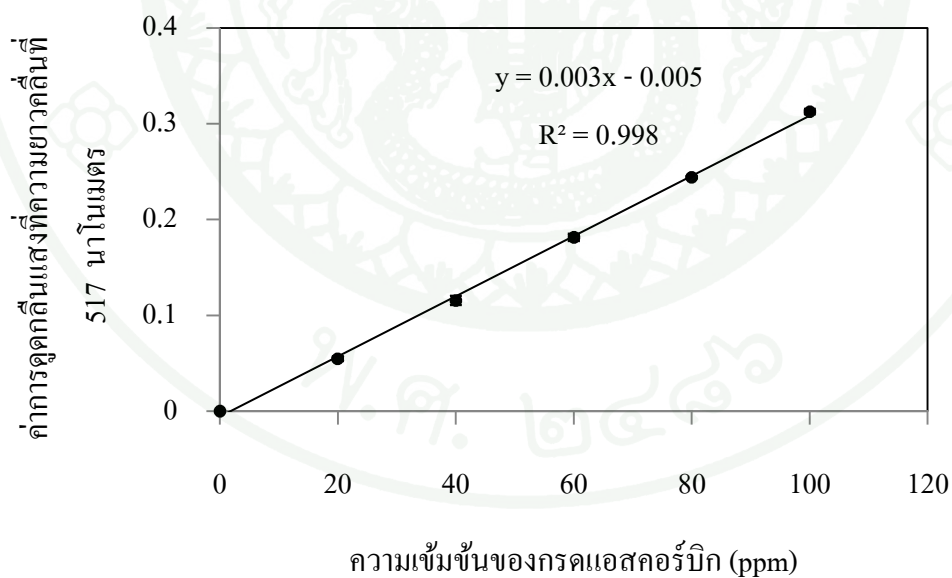


ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชัน



ภาพผนวกที่ ๑1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด



ภาพผนวกที่ ๑2 กราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกสำหรับการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชัน DPPH



1. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของน้ำมะนาวด้วยวิธี QDA (Quantitative Descriptive Analysis)

1.1 การกำหนดคุณลักษณะด้านต่างๆ และตัวอย่างที่ใช้อ้างอิง

ทำการกำหนดคำศัพท์ของคุณลักษณะด้านต่างๆ ที่ประเมินได้จากตัวอย่างโดยการอภิปรายในกลุ่มผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทั้ง 10 คน กำหนดตัวอย่างอ้างอิงของแต่ละคุณลักษณะและสร้างสเกลสำหรับการทดสอบ ในการทดสอบใช้สเกล 15 เซนติเมตร โดยกำหนดให้ค่าสเกลความเข้ม ตั้งแต่ 0 (ไม่มีสี กลิ่น และรส) จนถึง 15 (สี กลิ่น และรสเข้มมาก) ทำการฝึกฝนการใช้สเกลเพื่อปรับสเกลของผู้ทดสอบทั้งหมดให้ใกล้เคียงกัน คุณลักษณะที่ทำการศึกษาได้แก่ สีเหลือง กลิ่นน้ำมะนาวสด รสเปรี้ยว และรสขม โดยใช้ตัวอย่างอ้างอิง ดังตารางผนวกที่ จ1

ตารางผนวกที่ จ1 คุณลักษณะด้านต่างๆ และตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสำหรับการศึกษาการลดความขมด้วยเรซินสังเคราะห์

คุณลักษณะ		ตัวอย่างอ้างอิง	
คำศัพท์	ความหมาย		
สีเหลือง	สีเหลืองของน้ำมะนาว	R	น้ำมะนาวคั้นใหม่ปริมาณ 20 มิลลิลิตร
กลิ่นน้ำมะนาวสด	กลิ่นน้ำมะนาว	R	น้ำมะนาวคั้นใหม่ปริมาณ 20 มิลลิลิตร
	ธรรมชาติ		
รสเปรี้ยว	รสของกรดซิตริก	R	น้ำมะนาวคั้นใหม่ปริมาณ 20 มิลลิลิตร
รสขม	รสของคาเฟอีน	R	สารละลายคาเฟอีนความเข้มข้น 0.04, 0.06 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยวิธี QDA

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

คำแนะนำ ทดสอบชิมและดมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนในคุณลักษณะด้านต่างๆ โดยทำเครื่องหมาย “ | ” “ลงบนเส้นสเกลที่กำหนดให้ และกรณารับประทานแครกเกอร์และน้ำดื่มก่อนทดสอบตัวอย่างต่อไป

สีเหลืองของน้ำมะนาว



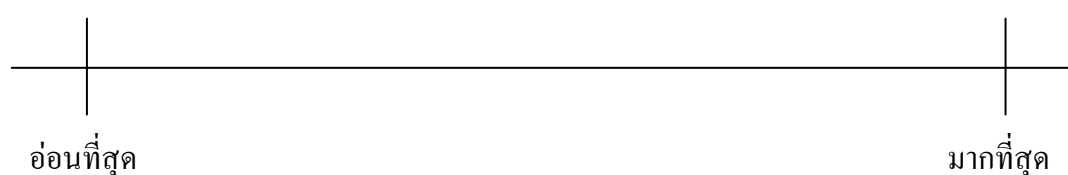
กลิ่นน้ำมะนาวสด



รสเปรี้ยว



รสขม



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวเจริญรัตน์ เจริญกิจ
วัน เดือน ปีเกิด	3 มกราคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผลงานวิจัย	เจริญรัตน์ เจริญกิจ และ วรณี จิรภาคย์กุล. 2554. ผลของการ ลวกผลมะนาวและการใช้เรซินสังเคราะห์ที่มีต่อปริมาณ ลิโมนินและกรดแอสคอร์บิกในน้ำมะนาว, น. 382-389. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 (คณะอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.