การลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวาน Citrus reticulata โดยใช้เปลือกไข่

นางสาวณัฏฐา เลาหกุลจิตต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-520-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20503088

REDUCTION OF BITTERNESS AND SOURNESS IN TANGERINE *Citrus reticulata* JUICE USING EGG SHELL

MISS NUTTA LAOHAKUNJIT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Food Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN 974-636-520-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวาน Citrus reticulata โดยใช้เปลือกไข่

โดย นางสาวณัฏฐา เลาหกุลจิตต์

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ สุหร่าย สายศร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นพ. ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตรจารย์ สุหร่าย สายศร)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุพ ชัยวานิชศิริ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ : การลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวาน Citrus reticulata โดยใช้เปลือกไข่ (REDUCTION OF BITTERNESS AND SOURNESS IN TANGERINE Citrus reticulata JUICE USING EGG SHELL) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง และ รศ. สุหร่าย สายศร, 131 หน้า. ISBN 974-636-520-7

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานอย่างต่อเนื่องโดยใช้เปลือกไข่ธรรมชาติและอย่างไม่ต่อเนื่องโดยใช้เปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน การลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มอย่างต่อเนื่องในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซ.ม ยาว 30 ซ.ม ขนาดอนุภาคเปลือกไข่ 20-40, 40-60 และ 60-80 เมช แปร space velocity (สัดส่วนระหว่างความเร็วการไหลต่อปริมาตรของเบดเปลือกไข่ในคอลัมน์) ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน 3 ระดับคือ 2, 4 และ 6 นาที$^{-1}$ พบว่าขนาดอนุภาคของเบดเปลือกไข่ และ space velocity มีผลร่วมต่อการลดลงของลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก และสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อวิตามินซี และค่าองศาบริกซ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กล่าวคือเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 60-80 เมช space velocity 2 นาที$^{-1}$ ลดปริมาณลิโมนิน นารินจิน ได้สูงสุดคิดเป็น 33.05% และ17.85% ลดกรดซิตริกคิดเป็น 76.62% ลดปริมาณวิตามินซี 0.38% และค่าสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนในระบบไม่ต่อเนื่องนั้นพบว่าขนาดอนุภาค ปริมาณเปลือกไข่และเวลาในการแช่ย่า มีผลร่วมต่อการลดลงของ ลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก วิตามินซี และสี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และไม่มีผลต่อค่าองศาบริกซ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยที่เปลือกไข่ขนาดอนุภาค 60-80 เมช จำนวนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้ม ในเวลา 60 นาที สามารถลดปริมาณลิโมนินได้สูงสุด 31.56% ซึ่งภายใต้ภาวะที่ปริมาณลิโมนินลดลงได้สูงสุดนั้น ปริมาณนารินจิน และกรดซิตริกจะลดลงได้สูงสุดเช่นกัน คิดเป็น 24.02% และ74.05% ตามลำดับ ลดปริมาณวิตามินซี 17.30% ทำให้สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในการลดรสขมและรสเปรี้ยวด้วยวิธีไม่ต่อเนื่องใช้เปลือกไข่ปลอดโปรตีน พบว่าขนาดอนุภาค ปริมาณเปลือกไข่ และเวลาในการแช่ย่ามีผลร่วมต่อการลดลงของลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก และวิตามินซี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าองศาบริกซ์ กล่าวคือเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 60-80 เมช จำนวนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้ม เวลา 60 นาที สามารถลดปริมาณลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก ได้สูงสุด คิดเป็น 33.55%, 24.46% และ 30.73% ตามลำดับ ส่วนปริมาณวิตามินซีลดลง 7.98% การประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านรสขมของปริมาณลิโมนินในน้ำส้มและในน้ำกลั่น พบว่าระดับความขมในน้ำส้มและในน้ำกลั่นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณลิโมนินที่เพิ่มขึ้น (R^2=0.93 และ R^2=0.95) ตามลำดับ แต่ผู้ทดสอบสามารถรับรสขมในน้ำกลั่นได้ดีกว่ารสขมในน้ำส้ม การศึกษาผลของอายุการเก็บของน้ำส้มกระป๋องที่ผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีนและเปลือกไข่ธรรมชาติเปรียบเทียบกับน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยว ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าอายุการเก็บมีผลต่อปริมาณ ลิโมนิน นารินจิน วิตามินซี และสี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวจะมีค่าดังกล่าวสูงกว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีนและเปลือกไข่ธรรมชาติ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C727245 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: DEBITTER / LIMONIN / EGG SHELL / ORANGE JUICE
NUTTA LAOHAKUNJIT : REDUCTION OF BITTERNESS AND SOURNESS IN TANGERINE Citrus reticulata JUICE USING EGG SHELL. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PRANEE ANPRUNG, Ph.D. AND ASSO. PROF. SURAI SAISORN, 131 pp. ISBN 974-636-520-7

The purpose of this research are to study a method of debittering orange juice in a continuous process using untreated egg shell and batch process using untreated egg shell and treated egg shell with base. In continuous process, the condition used was column 30 cm.× 1.5 cm.i.d., with various particle sizes 20-40, 40-60 and 60-80 mesh, space velocity in nitrogen atmosphere 2, 4 and 6 min^{-1}. In this condition, the contents of limonin, naringin, citric acid and color were significantly decrease ($p \leq 0.05$) but those of vitamin C and °Brix remained unchanged. Space velocity of 2 min^{-1} with 60-80 mesh size were used in this experiment to obtain a maximum reduction of limonin and naringin contents (33.05% and 17.85%, respectively). When all column volume were combined, there was a net 0.38% loss of vitamin C and no change in color. In a batch process using untreated egg shell, the results indicated that the contents of limonin, naringin, citric acid, vitamin C and color were significantly affected by particle sizes of egg shell, weight by volume of orange, and reaction time. To obtain a maximum reducing of limonin content for 1 hour of reaction time and 15 gm of egg shell with 60-80 mesh in size per 100 ml. of orange juice was applied. At this condition, the limonin content was decrease 31.56% and the contents of naringin, citric acid and vitamin C was lost 24.02%, 74.05% and 17.30%, respectively. There was slightly change in color. In a batch process using egg shell treated with KOH 20%, the results indicated that the content of limonin, naringin, citric acid and vitamin C were significantly affected by particle sizes of egg shell, weight by volume of orange and reaction time. There was no significantly change in color and °Brix. It was found that a maximum of limonin content would be obtained if 15 gm of egg shell with 60-80 mesh in size per 100 ml. of orange juice were applied for an hour of reaction time. At this condition, the limonin content was decrease 33.55%, 24.46% and 30.73% but vitamin C was loss 7.98%. Organoleptic taste of limonin in orange juice and distilled water were evaluated. Panelists said that bitterness of limonin in orange juice and distilled water were significantly correlated directly with limonin contents in orange juice and distilled water (R^2=0.93 and 0.95, respectively). However they can detect the bitterness in distilled water better than in orange juice. The treated and untreated canned orange juice were storaged at 4 °C for 3 months. The results suggested that the contents of limonin, naringin, vitamin C and color were significantly affected by storage time. We also found that the contents of limonin, naringin, vitamin C and color of untreated canned orange juice were higher than those of batch processed canned orange juice.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ณัฐพา เลาหกุลจิตต์

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ประณีต อ่านปรุง

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สุรัย สายรส

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของ รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ส่งเสริมและผลักดันให้มีผลงานทางวิชาการ รวมทั้งชี้แนะแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัยและในการดำเนินชีวิตประจำวัน ตลอดทั้งตรวจสอบและแก้ไขข้อความต่างๆในการเขียนวิทยานิพนธ์นี้อย่างดีที่สุด และข้าพเจ้าขอระลึกถึงพระคุณของ รองศาสตราจารย์ สุหร่าย สายศร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ไปตราบนานเท่านานซึ่งเปรียบเสมือนแม่คนที่สอง ที่เป็นกำลังใจ หวังดี ช่วยชี้แนะแนวทางและส่งเสริมให้ข้าพเจ้ามีความเจริญก้าวหน้าในการศึกษาตลอดมา อีกทั้งเป็นผู้ผลักดันให้เกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กรุณาให้คำแนะนำให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัย ติดต่อจัดหาเครื่องมือและสนับสนุนเงินทุนบางส่วนที่ใช้ในการวิจัย ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุพ ชัยวานิชศิริ ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาทำหน้าที่เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบพระคุณ อ. สุธี สุนทรธรรม หัวหน้าภาควิชาอาหารเคมี ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยบางส่วน ขอขอบคุณคุณสุนันท์ รังษีกาญจน์ส่อง และคุณรัชนีพร ตนเจริญสุข ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC และกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน ขอขอบคุณ คุณมณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง Retort เพื่อวิเคราะห์หาค่า Fo ขอขอบคุณบริษัท Royal Cans ที่กรุณาเอื้อเฟื้อกระป๋องที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณพงศพล จิตรวงษ์ตระกูล บริษัท กรุงเทพธุรภัณฑ์ ออโตเมชั่น จำกัด ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาอาหารเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย และท้ายนี้ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรรณี ชิโนรักษ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.กันยารัตน์ ไชยสุตและคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้วิจัยได้มีความรู้ จนประสบผลสำเร็จในการศึกษา โดยเฉพาะคุณพ่อและคุณแม่ ที่ส่งเสริมการศึกษาของลูกเป็นอย่างดี รวมทั้งขอบคุณ พี่-น้อง หลาน และเพื่อนพ้องทุกๆรุ่น ที่กรุณาสละเวลาและแรงงานช่วยเหลือสนับสนุนและเป็นกำลังใจคอยเป็นห่วงเป็นใยตลอดมา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1
2. วารสารปริทัศน์ 4
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย 26
4. ผลการวิจัย 38
5. อภิปรายผลการทดลอง 82
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 94

เอกสารอ้างอิง 97

ภาคผนวก

ก. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 105

ข. การวิเคราะห์ทางสถิติ 116

ค. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 124

ง. การเปรียบเทียบความสามารถของสารดูดซับสังเคราะห์ในการดูดซับสารให้รสขม 127

ประวัติผู้เขียน 131

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของน้ำส้มคั้น 5

2 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของเปลือกไข่ 19

3 องค์ประกอบอินทรีย์ของเปลือกไข่ในส่วนต่างๆ ของเปลือกไข่ 21

4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มเขียวหวานสด 38

5 ค่าเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติโดยรวมปริมาตรเบดการไหลเวียนของน้ำส้มทั้ง 5 ครั้ง 43

6 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติเทียบกับน้ำส้มก่อนผ่านกระบวนการดูดซับ 44

7 ค่าเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มที่ลดลงโดยกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติขนาดต่างๆ 51

8 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติเทียบกับน้ำส้มก่อนผ่านกระบวนการดูดซับ 52

9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก และวิตามินซีที่ลดลงโดยใช้เปลือกไข่ธรรมชาติด้วยกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง 58

10 ค่าเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน 60

11 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีนเทียบกับน้ำส้มก่อนผ่านกระบวนการดูดซับ 61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริกและวิตามินซี ที่ลดลงในน้ำส้มโดยใช้เปลือกไข่ธรรมชาติและปลอดโปรตีนด้วยกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่อง 67

13 การเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมและโปตัสเซียมในน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการดูดซับกับน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน 68

14 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มกระป๋องที่ระยะเวลาการเก็บประมาณ 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 75

15 การเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำส้มกระป๋องที่ระยะเวลาการเก็บประมาณ 3 เดือน อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 76

16 การเทียบมาตรฐานของปริมาณลิโมนินวิเคราะห์โดย HPLC ปริมาตร 10 มล. เปรียบเทียบระหว่าง spiked juice sample และ unspiked juice sample 110

17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานในกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ 116

18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานในกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ 118

19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานในกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน 120

20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับความขมของปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นที่ทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Scoring test 122

21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับความขมของปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นที่ทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Ranking test เปลี่ยนคะแนนตามวิธีของ Fisher และ Yates (1942) 122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับความขมของปริมาณลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวานที่ทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Scoring test 123
23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับความขมของปริมาณลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวานที่ทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Ranking test เปลี่ยนคะแนนตามวิธีของ Fisher และ Yates (1942) 123
24 เปรียบเทียบกระบวนการดูดซับสารให้รสขมและกรดในเกรพฟรุตของสารดูดซับสังเคราะห์ชนิดต่างๆ 127
25 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับบางชนิด 129
26 เปรียบเทียบศักยภาพของเรซินชนิดต่างๆที่ใช้ในการลดรสขมและลดกรด 130

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1 โครงสร้างภาคตัดขวางของเปลือกไข่ 20

2 ภาคตัดขวางของเปลือกไข่แสดงสารประกอบอินทรีย์ (ด้านซ้าย) และโครงสร้างผลึก (Crystalline structure)(ด้านขวา) 22

3 แผนการทดลองโดยรวม 28

4 การเตรียมน้ำส้ม 29

5 การเตรียมเปลือกไข่ปลอดโปรตีนและเปลือกไข่ธรรมชาติ 32

6 แผนผังกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวอย่างต่อเนื่องและอุปกรณ์อื่นๆ 33

7 กระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มอย่างไม่ต่อเนื่อง 34

8 แสดงโครงสร้างเปลือกไข่จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน (a)โครงสร้างของเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 60-80 เมช กำลังขยาย 100 เท่า (b) โครงสร้างภาคตัดขวางของเปลือกไข่ธรรมชาติกำลังขยาย 200 เท่า 39

9 (a) พื้นผิวด้านในของเปลือกไข่ธรรมชาติกำลังขยาย 200 เท่า (b) พื้นผิวด้านในของเปลือกไข่ธรรมชาติกำลังขยาย 350 เท่า 40

10 (a) โครงสร้างพื้นผิวด้านนอกของเปลือกไข่ปลอดโปรตีนกำลังขยาย 50 เท่า (b) โครงสร้างพื้นผิวด้านในของเปลือกไข่ปลอดโปรตีนกำลังขยาย 350 เท่า .. 41

11 ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณลิโมนินที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 45

12 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินในน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ 46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

13 ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณนารินจินที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 47

14 ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณกรดซิตริกที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 48

15 ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณวิตามินซีที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 49

16 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณลิโมนินที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 53

17 โครมาโทแกรมการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินในน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ 54

18 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณนารินจินที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช (ข) และ 60-80 เมช (ค) 55

19 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณกรดซิตริกที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 56

20 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณวิตามินซีที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

21 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณลิโมนินที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข)และ 60-80 เมช (ค) 62

22 โครมาโทแกรมการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินในน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน 63

23 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณนารินจินที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 64

24 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณกรดซิตริกที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 65

25 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณวิตามินซีที่ลดลงของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ขนาด 20-40 เมช (ก), 40-60 เมช(ข) และ 60-80 เมช (ค) 66

26 ปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นที่สามารถตรวจสอบระดับความขมทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Scoring Test 70

27 ปริมาณลิโมนินในน้ำส้มที่สามารถตรวจสอบระดับความขมทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Scoring Test 71

28 ปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นที่สามารถตรวจสอบระดับความขมทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ranking Test 72

29 ปริมาณลิโมนินในน้ำส้มที่สามารถตรวจสอบระดับความขมทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ranking Test 73

30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณลิโมนินในน้ำส้มกระป๋องที่ระยะเวลาการเก็บประมาณ 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

31 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณลิโมนินที่เพิ่มขึ้นของน้ำส้มกระป๋องที่ระยะเวลาการเก็บประมาณ 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 78
32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณนารินจินในน้ำส้มกระป๋องที่ระยะเวลาการเก็บประมาณ 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 79
33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซิตริกในน้ำส้มกระป๋องที่ระยะเวลาการเก็บประมาณ 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 80
34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มกระป๋องที่ระยะเวลาการเก็บประมาณ 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 81
35 กราฟคำนวณของสารละลายนารินจิน 106
36 โครมาโทแกรมของสารละลายลิโมนินมาตรฐานในน้ำกลั่น 111
37 น้ำส้มเขียวหวานก่อนผ่านกระบวนการดูดซับและหลังผ่านกระบวนการดูดซับ.. 115