56

เซลล์จุลินทรีย์ตรึงรูปสำหรับการลดความขมของน้ำมะนาวถนอม

นางสาว อัจฉรา ปิติปัญญากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-524-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17547776

IMMOBILIZED MICROBIAL CELL FOR THE DEBITTERING OF PRESERVED LIME JUICE

Miss Auchara Pitipanyakun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-524-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เซลล์จุลินทรีย์ตรึงรูปสำหรับการลดความขมของน้ำมะนาวถนอม
โดย	นางสาวอัจฉรา ปิติปัญญากุล
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... กรรมการ
(นางสาวารุณี วารัญญานนท์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัจฉรา ปิติปัญญากุล : เซลล์จุลินทรีย์ตรึงรูปสำหรับการลดความขมของน้ำมะนาวถนอม (IMMOBILIZED MICROBIAL CELL FOR THE DEBITTERING OF PRESERVED LIME JUICE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล, 147 หน้า.

จากการหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเซลล์จุลินทรีย์ Corynebacterium fascians (NRRL-B-15096) ตรึงรูป โดยใช้แคปปา-คาร์ราจีแนน เป็นตัวพยุงพบว่า ใช้เซลล์ 0.75 กรัม ผสมกับสารละลายคาร์ราจีแนนในอัตราส่วน 1:7 โดยน้ำหนัก โดยใช้แคปปา-คาร์ราจีแนน และโปแตสเซียม-คลอไรด์เข้มข้น 2.0% และ 1 โมลาร์ ตามลำดับ สมบัติของเซลล์ตรึงรูปในการย่อยสลายลิโมนินพบว่า มีช่วง pH ที่เหมาะสมเป็น 4.0-5.0 ขณะที่เซลล์จุลินทรีย์อิสระมีช่วง pH ที่เหมาะสมที่ 5.0-6.0 และอุณหภูมิที่เหมาะสมของเซลล์ตรึงรูปที่ 25-35 °ซ ส่วนเซลล์อิสระอยู่ที่ 25-28 °ซ ค่าคงที่ไมคิลัส (K_m) ของจุลินทรีย์ตรึงรูปเท่ากับ 3.6×10^2 มิลลิโมล ต่ำกว่าค่าของเซลล์อิสระซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.7×10^2 มิลลิโมล เสถียรภาพในระหว่างการเก็บของจุลินทรีย์ตรึงรูปมีค่าสูงกว่าของเซลล์อิสระทั้ง 2 ภาวะ คือที่อุณหภูมิ 8-10 °ซ และที่อุณหภูมิห้อง ค่าครึ่งชีวิตของเซลล์อิสระที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส มีค่าเป็น 60 วัน และมากกว่า 80 วัน ตามลำดับ ส่วนจุลินทรีย์ตรึงรูปมีค่ามากกว่า 80 วัน ในทั้ง 2 สภาวะการเก็บ น้ำมะนาวที่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูปมีปริมาณวิตามินซีและกรดซิตริกต่ำกว่าน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความขมเล็กน้อย

จากการทดลองใช้จุลินทรีย์ตรึงรูปในการลดความขมในน้ำมะนาวถนอมแบบพาสเจอร์ไรส์พบว่า สามารถลดปริมาณลิโมนินจาก 12.21 ppm เหลือเพียง 7.07 ppm และหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน น้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านการลดความขมมีค่า pH, °Brix และปริมาณกรดซิตริกเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมเกิดขึ้นน้อยกว่าน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านการลดความขม ส่วนปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านการลดความขมจะมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 34 และ 58 ตามลำดับ สำหรับปริมาณลิโมนินพบว่า ในน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านการลดความขมปริมาณลิโมนินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 12.29 ppm เป็น 17.12 ppm ส่วนปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสหลังจากเก็บน้ำมะนาวเป็นระยะเวลา 2 เดือน และ 3.5 เดือน ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านการลดความขมจะมีรสขมมาก และไม่ได้รับการยอมรับ ส่วนน้ำมะนาวที่ผ่านการลดความขมจะมีรสขมเพียงเล็กน้อย และได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต อัจฉรา ปิติปัญญากุล

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

AUCHARA PITIPANYAKUN : IMMOBILIZED MICROBIAL CELL FOR THE DEBITTERING OF PRESERVED LIME JUICE. THESIS ADVISOR : ASSIS. PROF. PRANEE ANPRUNG, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASSO. PROF. CHAIYUTE THUNPITHAYAKUL, Ph.D., 147 PP.

In this research, optimal condition for cells immobilization was studied. The bacteria used is Corynebacterium fascians (NRRL-B-15096). The optimal conditions for immobilization of cells were determined ; mixing 0.75 g. of cells with K-carrageenan in the ratio of 1:7, the appropriate concentrations of K-carrageenan and potassium chloride used for immobilization process were 2.0% and 1.0 M, respectively. The enzymic properties of the immobilized cells in limonin hydrolysis were : optimal pH for the immobilized cells and the free cells were 4.0-5.0 and 5.0-6.0 respectively while the temperatures for the immoiblized cells and the free cells were 25-35°C and 25-28°C in respective order. K_m of the immobilized cells was found to be 3.6×10^2 mM which was smaller than 6.7×10^2 mM of the free cells. The storage stability of the immobilized cells was higher than that of the free cells under two conditions; at 10°C and room temperature. Half-life of the free cells stored at room temperature and 8-10°C were 60 days and more than 80 days, respectively while those of the immobilized cells were more than 80 days under the two conditions of storage. The vitamin C and citric acid contents of the debittered lime juice using immobilized cells were lower than those of the non-debittered lime juice.

The debittering process using immobilized cells could reduce the limonin contents of pasteurized lime juice from 12.21 ppm to 7.07 ppm. The debittered and the non-debittered lime juices were stored at 8-10°C for a period at four months and samples were analyzed at regular intervals. It was shown that °Brix, pH and citric acid contents of the two kinds of lime juices varied little with storage time. The browning reaction of debittered lime juice was less than that of the non-debittered one and the vitamin C contents were reduced to 34% and 58% respectively after 4 months in storage. The limonin content of the non-debittered lime juice increased with storage time; it increased from 12.29 ppm to 17.12 ppm at the end of 4 months. On the other hand, the limonin content of the debittered lime juice varied little during the storage. At the end of 2 and 3.5 months, the debittered and non-debittered lime juices were tested for organoleptic properties by trained taste panels. The non debittered lime juice was rejected whereas the debitterred lime juice was still accepted by the taste panel.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ชลธรา ปิติปัญญากุล

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความรู้ในการวิจัยนี้ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบคุณ ภาควิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาชีวเคมี ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือและสารเคมีในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ Dr. A.J. Lyons แห่ง USDA ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้เซลล์จุลินทรีย์ Corynebacterium fascians (NRRL-B-15096) และ Dr. G.L. Robertson แห่ง CSIRO ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้สารลิโมนินเพื่อใช้ในการวิจัยนี้ และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ทุนผู้ช่วยวิจัย และทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับความอนุเคราะห์จากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่กรุณาให้ความร่วมมือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูป ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทัศน์ 4

3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย 44

3.1 วัสดุและเคมีภัณฑ์ 44

3.2 อุปกรณ์ 47

3.3 วิธีการเลี้ยงและเก็บเซลล์จุลินทรีย์ 48

3.4 วิธีการวิเคราะห์ 49

3.4.1 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณลิโมนิน 49

3.4.2 วิธีวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะนาว 50

3.5 การศึกษาภาวะการใช้เซลล์จุลินทรีย์ในการลดปริมาณลิโมนิน ... 51

3.5.1 ระดับ pH 51

3.5.2 ระดับอุณหภูมิ 52

3.5.3 ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ 53

3.5.4 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 52

3.5.5 เสถียรภาพในระหว่างการเก็บ 52

3.5.6 หาค่าครึ่งชีวิต 53

3.6 การเตรียมจุลินทรีย์ตรึงรูป 53

บทที่ หน้า

3.6.1 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณเซลล์จุลินทรีย์และสารละลายแคปปา-คาร์ราจีแนน 54
3.6.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมจุลินทรีย์ตรึงรูป ..
3.6.2.1 กำหนดความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนนและโปแตสเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการตรึงรูป 54
3.6.2.2 กำหนดความเข้มข้นของกลูตารัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในการตรึงรูป 55
3.6.2.3 กำหนดปริมาณเซลล์ที่เหมาะสมในการตรึงรูป 55
3.6.3 ศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 55
3.6.4 ศึกษาโครงสร้างของจุลินทรีย์ตรึงรูป 56
3.6.5 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ตรึงรูป 56
3.6.5.1 เปรียบเทียบ pH profile ของแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 56
3.6.5.2 เปรียบเทียบ temperature profile ของแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 57
3.6.5.3 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 57
3.6.5.4 วัดค่า K_m, V_{max} ของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 58
3.6.5.5 เสถียรภาพในระหว่างการเก็บ 58
3.6.5.6 หาค่าครึ่งชีวิต .....
3.7 การลดความขมของน้ำมะนาวถนอมแบบพาสเจอร์ไรส์โดยจุลินทรีย์ตรึงรูป 58
3.7.1 ศึกษาผลของ pH ต่อองค์ประกอบของน้ำมะนาวถนอม . 58
3.7.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของน้ำมะนาวถนอม 58
3.7.3 ศึกษาผลของระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรส์ต่อปริมาณลิโมนิน 59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.7.4 กระบวนการเตรียมและการลดความขมในน้ำมะนาวถนอม 59
3.7.5 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาที่เก็บต่อสมบัติของน้ำมะนาว 61
ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขม 61
3.7.6 ศึกษาสมบัติด้านประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวถนอม 61
3.8 ศึกษาประสิทธิภาพการนำจุลินทรีย์ตรึงรูปมาใช้ใหม่ 61
4. ผลการวิจัย 63
4.1 การเพาะเลี้ยงเซลล์จุลินทรีย์ 63
4.2 การศึกษาภาวะการใช้จุลินทรีย์ในการลดปริมาณลิโมนิน 64
4.2.1 pH profile 64
4.2.2 Temperature profile 64
4.2.3 ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ที่เหมาะสม 64
4.2.4 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม 65
4.2.5 เสถียรภาพในระหว่างการเก็บ 65
4.2.6 ค่าครึ่งชีวิต 71
4.3 การเตรียมจุลินทรีย์ตรึงรูป 71
4.3.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณเซลล์จุลินทรีย์และ
สารละลายแคปปา-คาร์ราจีแนน 71
4.3.2 ภาวะที่เหมาะสมในการตรึงรูป .....
4.3.2.1 ความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนน และ
โปแตสเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสม 72
4.3.2.2 ความเข้มข้นของกลูตารัลดีไฮด์ที่เหมาะสม . 73
4.3.2.3 ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสม 74
4.3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 76
4.3.4 ผลการศึกษาโครงสร้างของจุลินทรีย์ตรึงรูปเปรียบเทียบกับ
ตัวพยุง 75
4.3.5 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ตรึงรูป 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

4.3.5.1 เปรียบเทียบ pH profile ของแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 79
4.3.5.2 เปรียบเทียบ temperature profile ของแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 79
4.3.5.3 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา .. 80
4.3.5.4 ค่า K_m, V_{max} ของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 80
4.3.5.5 เสถียรภาพในระหว่างการเก็บ 80
4.3.5.6 ค่าครึ่งชีวิต 81
4.4 ผลการทดลองลดความขมของน้ำมะนาวถตอมแบบพาสเจอร์ไรส์โดยจุลินทรีย์ตรึงรูป 87
4.4.1 ผลของระดับ pH ต่อองค์ประกอบของน้ำมะนาวถนอม ..
4.4.2 ผลของระดับอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของน้ำมะนาวถนอม . 89
4.4.3 ผลของระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรส์ต่อปริมาณลิโมนิน 92
4.4.4 ผลการทดลองแสดงสมบัติของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขม 94
4.4.5 การศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวถนอม .. 97
4.4.6 เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านการลดความขมที่เก็บไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 98
4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำจุลินทรีย์ตรึงรูปมาใช้ใหม่ 102
5. อภิปรายผลการทดลอง 103
5.1 การเลี้ยงเซลล์จุลินทรีย์ 103
5.2 การศึกษาภาวะการใช้เซลล์จุลินทรีย์ในการลดปริมาณลิโมนิน 104
5.2.1 ระดับ pH 104
5.2.2 ระดับอุณหภูมิ 104
5.2.3 ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ที่เหมาะสม 104
5.2.4 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม 105

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

5.2.5 เสถียรภาพในระหว่างการเก็บ 105
5.2.6 ค่าครึ่งชีวิต 105
5.3 การเตรียมจุลินทรีย์ตรึงรูป 106
5.3.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณเซลล์จุลินทรีย์และสารละลายแคปปา-คาร์ราจีแนน 107
5.3.2 ภาวะที่เหมาะสมในการตรึงรูป 107
5.3.2.1 ความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนนและโปแตสเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสม 108
5.3.2.2 ความเข้มข้นของกลูตารัลดีไฮด์ที่เหมาะสม . 108
5.3.2.3 ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสม 109
5.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 110
5.3.4 การศึกษาโครงสร้างของจุลินทรีย์ตรึงรูปเปรียบเทียบกับตัวพยุง 110
5.3.5 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ตรึงรูป 111
5.3.5.1 เปรียบเทียบ pH profile ของแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 111
5.3.5.2 เปรียบเทียบ temperature profile ของแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 111
5.3.5.3 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา .. 112
5.3.5.4 ค่า K_m, V_{max} ของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ 112
5.3.5.5 เสถียรภาพในระหว่างการเก็บ 113
5.3.5.6 ค่าครึ่งชีวิต 113
5.4 การทดลองลดความขมของน้ำมะนาวถนอมแบบพาสเจอร์ไรส์โดยจุลินทรีย์ตรึงรูป 113
5.4.1 ผลของระดับ pH ต่อองค์ประกอบของน้ำมะนาวถนอม .. 113
5.4.2 ผลของระดับอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของน้ำมะนาวถนอม . 114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

5.4.3 ผลของระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรส์ต่อปริมาณลิโมนิน 114
5.4.4 สมบัติของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขม 114
5.4.5 เปรียบเทียบสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวที่ผ่าน
และไม่ผ่านกระบวนการลดความขม 115
5.4.6 เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่าน
การลดความขมที่เก็บไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 116
5.5 ประสิทธิภาพการนำจุลินทรีย์ตรึงรูปมาใช้ใหม่ 117
6. สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ 118
6.1 สรุปผลงานวิจัย 118
6.2 ข้อเสนอแนะ 120
เอกสารอ้างอิง 121
ภาคผนวก ก 132
ภาคผนวก ข 138
ประวัติผู้เขียน 147

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	The Taste of Citrus Limonoids and Some Derivatives ..	6
2	ความเข้มข้นของลิโมนอยด์ในเมล็ดของผลไม้ตระกูลส้มชนิดต่าง ๆ	7
3	Limonoid Distribution in Desert Navel Orange Tissue .	11
4	ปริมาณลิโมนินในผลไม้ชนิดและพันธุ์ต่าง ๆ	18
5	ระดับความขมกับปริมาณลิโมนิน	19
6	ผลการทดสอบระดับความขมของน้ำส้มที่มีปริมาณลิโมนินต่าง ๆ กัน	20
7	ผลของ Divalent Cation ต่อเอนไซม์ลิโมโนเอท ดีไฮโดรจีเนส ...	29
8	ผลของตัวยับยั้งต่อเอนไซม์ลิโมโนเอท ดีไฮโดรจีเนส	29
9	ผลการทดลองเปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำผลไม้ที่ผ่านคอลัมน์ที่ไม่มีเซลล์แบคทีเรียตรึงรูปกับคอลัมน์ที่มีเซลล์แบคทีเรียตรึงรูปของ A. globiformis	39
10	ชนิดของแบคทีเรียที่ใช้ในการย่อยสลายสารลิโมนอยด์ และวิถีทางการย่อยสลายของแบคทีเรียแต่ละชนิด	43
11	ผลของปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนนต่อแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูป	71
12	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปของร้อยละของปริมาณลิโมนินที่ลดลงในการหาความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนนและโปแตสเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการตรึงรูปเซลล์จุลินทรีย์ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99	73
13	ร้อยละของปริมาณลิโมนินที่ลดลงในน้ำมะนาวที่ทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ตรึงรูปที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ..	74
14	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการหาปริมาณเซลล์ที่เหมาะสมในการเตรียมจุลินทรีย์ตรึงรูปด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99	74
15	ปริมาณลิโมนินที่ลดลงในน้ำมะนาวที่หยุดปฏิกิริยาที่ระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้ม	76

ตารางที่ หน้า

16 สมบัติของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูป 95

17 คะแนนเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวถนอมที่ระยะเวลาเก็บ 2 และ 3.5 เดือน ตามลำดับ 96

18 สมบัติต่าง ๆ ของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมที่เก็บไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ภาคตัดขวางของผลไม้ตระกูลส้ม	6
2	สูตรโครงสร้างของสารลิโมนอยด์บางตัวที่ทำให้เกิดรสขม	7
3	วิถีทางการสังเคราะห์ลิโมนินในธรรมชาติ	9
4	สูตรโครงสร้างของ Limonoic acid A-ring Lactone	11
5	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณลิโมนินระหว่างการเจริญเติบโตของ W. Navel Orange	14
6	ผลของแรงบีบคั้นต่อปริมาณลิโมนอยด์ในน้ำผลไม้เกรปฟรุ๊ตพันธุ์ Duncan กับพันธุ์-Marsh	16
7	ผลึกของลิโมนินที่ตกตะกอนลงมาใน Navel Orange Juice ระหว่างการเก็บเป็นเวลานาน	21
8	โครงสร้างของสับสเตรทต่าง ๆ ที่เข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ลิโมโนเอท ดีไฮ-โดรจีเนส โดยเปรียบเทียบแอคติวิตีกับลิโมโนเอท	30
9	วิถีทางการย่อยสลายลิโมนอยด์ในแบคทีเรีย (Pseudomonas sp. 321-18) .	31
10	การแบ่งวิธีการตรึงรูปเซลล์ โดยแบ่งตามชนิดของพันธะที่อยู่บน catalyst particle	35
11	สูตรโครงสร้างของลิโมนินและเมตาโบไลท์ที่ได้จากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียตามวิถีทางต่าง ๆ	41
12	เซลล์จุลินทรีย์ Corynebacteirum fascians (NRRL-B-15096)	63
13	กระบวนการลดความขมในน้ำมะนาวถนอมแบบพาสเจอร์ไรส์โดยเครื่องปฏิกรณ์เซลล์จุลินทรีย์ตรึงรูปแบบถังกวน ขนาด 16×12×12"	62
14	ผลของ pH ต่อแอคติวิตีของเซลล์อิสระ	66
15	ผลของอุณหภูมิต่อแอคติวิตีของเซลล์อิสระ	67
16	ผลของปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาว	68
17	ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาว	69

รูปที่		หน้า
18	เสถียรภาพของเซลล์อิสระในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง	70
19	จุลินทรีย์ตรึงรูปด้วยแคปปา-คาร์ราจีแนน	75
20	โครงสร้างพื้นผิวแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ไม่มีเซลล์จุลินทรีย์ (กำลังขยาย 9,400 เท่า)	77
21	โครงสร้างพื้นผิวแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ไม่มีเซลล์จุลินทรีย์ (กำลังขยาย 10,000 เท่า)	77
22	โครงสร้างพื้นผิวจุลินทรีย์ตรึงรูป (กำลังขยาย 3,600 เท่า)	78
23	โครงสร้างพื้นผิวจุลินทรีย์ตรึงรูป (กำลังขยาย 10,000 เท่า)	78
24	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีสัมพัทธ์ของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ กับ pH	82
25	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีสัมพัทธ์ของจุลินทรีย์ตรึงรูปและเซลล์อิสระ กับอุณหภูมิ	83
26	ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่ pH 4.0 โดยจุลินทรีย์ตรึงรูป	84
27	เปรียบเทียบ Line Weaver Burk Plot ของเซลล์อิสระและจุลินทรีย์ตรึงรูป	85
28	เสถียรภาพของจุลินทรีย์ตรึงรูปในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง	86
29	ผลของ pH ต่อปริมาณวิตามินซีและกรดซิตริกของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูป	88
30	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณวิตามินซีของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูปที่ pH 2.2 และ 4.0	90
31	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดซิตริกของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูปที่ pH 2.2 และ 4.0	91
32	ผลของระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรส์ต่อปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	93

รูปที่ หน้า

33 ผลของระยะเวลาที่เก็บต่อปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูป เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส . 100

34 ผลของระยะเวลาที่เก็บต่อสมบัติของน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูป เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส ... 101

35 ประสิทธิภาพการนำจุลินทรีย์ตรึงรูปมาใช้ใหม่ 103

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย