บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลงานวิจัย

1. ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมจุลินทรีย์ตรึงรูป

ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ 0.75 กรัม

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ระหว่างเซลล์จุลินทรีย์ : แคปปา-คาร์ราจีแนน 1:7

ความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนน 2.0 เปอร์เซ็นต์

ความเข้มข้นของโปแตสเซียมคลอไรด์ 1.0 โมลาร์

กลูตารัลดีไฮด์ไม่มีผลต่อความแข็งและแอคติวิตีของจุลินทรีย์ตรึงรูป

2. ประสิทธิภาพการห่อหุ้มของจุลินทรีย์ตรึงรูปภายในตัวพยุงมีค่าสูง คือโอกาสที่เซลล์จะหลุดจากตัวพยุงมีน้อยมาก

3. จากการศึกษาโครงสร้างด้วย SEM พบว่า โครงสร้างของเม็ดเจลที่ไม่มีเซลล์จุลินทรีย์มีลักษณะเป็นรูพรุน ส่วนโครงสร้างของจุลินทรีย์ตรึงรูปจะมีเซลล์จุลินทรีย์ลักษณะเป็นท่อน ๆ เกาะอยู่เป็นจำนวนมาก

4. จลนพลศาสตร์

ค่าที่ศึกษา	จุลินทรีย์ตรึงรูป	เซลล์อิสระ
K_m (มิลลิโมล)	3.6×10^2	6.7×10^2
V_{max} (มิลลิโมล/นาที)	1.11	4.00
ช่วง pH ที่เหมาะสม	4.0-5.0	5.0-6.0
ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม (องศาเซลเซียส)	25-35	25-28
ค่าครึ่งชีวิต - อุณหภูมิห้อง	> 80 วัน	60 วัน
- อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส	> 80 วัน	> 80 วัน
ระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)	2.5	2.0

5. เสถียรภาพในระหว่างการเก็บของเซลล์อิสระและจุลินทรีย์ตรึงรูปที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิห้อง และเสถียรภาพของจุลินทรีย์ตรึงรูปมีค่าสูงกว่าของเซลล์อิสระ ทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส

6. เมื่อ pH สูงขึ้น ปริมาณวิตามินซีและกรดซิตริกจะมีค่าลดลง

7. ที่ pH ตามธรรมชาติของน้ำมะนาว (pH = 2.2) และที่ pH ที่เหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์ตรึงรูป (pH = 4.0) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณวิตามินซีจะมีค่าลดลง ส่วนปริมาณกรดซิตริกจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

8. น้ำมะนาวที่ผ่านกระบวนการลดความขมมีปริมาณวิตามินซีและกรดซิตริกต่ำกว่าน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความขม

9. ปริมาณลิโมนินในน้ำมะนาวที่ผ่านกระบวนการลดความขมจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บ เมื่ออายุการเก็บครบ 4 เดือน มีค่าประมาณ 7.43 ppm ส่วนน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความขม ปริมาณลิโมนินจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บ เมื่อเก็บครบ 4 เดือน มีค่าประมาณ 17.12 ppm

10. ปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เก็บ ทั้งน้ำมะนาวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูป

11. ปริมาณกรดซิตริกมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่เก็บในน้ำมะนาวทั้ง 2 ชนิด

12. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในน้ำมะนาวที่ผ่านกระบวนการลดความขมจะเกิดขึ้นน้อยกว่าน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความขม

13. ประสิทธิภาพการนำจุลินทรีย์ตรึงรูปกลับมาใช้ซ้ำมีค่าไม่สูงมาก อาจแก้ไขโดยนำจุลินทรีย์ตรึงรูปมาบรรจุในคลอัมน์ แล้วให้น้ำมะนาวหรือสับสเตรทมีการหมุนเวียนผ่านคอลัมน์

14. เมื่ออายุการเก็บครบ 2 เดือน และ 3.5 เดือน พบว่าน้ำมะนาวที่ผ่านกระบวนการลดความขมได้รับการยอมรับทั้งสมบัติทางด้านรส และการยอมรับรวม สูงกว่าน้ำมะนาวที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความขม แต่สมบัติทางด้านกลิ่นในน้ำมะนาวทั้ง 2 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

ผลงานวิจัยทั้งหมดที่ได้ศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตและเก็บถนอมน้ำผลไม้ตระกูลส้มให้มีคุณภาพตามต้องการ โดยใช้วิธีการตรึงรูปเซลล์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมขึ้น เช่น อาจใช้สารสร้างพันธะร่วมตัวอื่น เช่น เฮกซาเมทธิลลีนไดอามีน แทนนิน เป็นต้น หรืออาจใช้ตัวพยุงตัวอื่น เช่น วุ้น แคลเซียมอัลจิเนต โพลีอะไครลาไมด์เจล โพลียูรีเทน (polyurethane) หรือใช้วิธีการตรึงรูปวิธีอื่น เช่น การเชื่อมด้วยพันธะโควาเลนต์ เพื่อป้องกันการสูญเสียกรดซิตริกและวิตามินซี เนื่องจากการดูดซับของสารพวกโพลิเมอร์ นอกจากนี้ยังอาจใช้สารพวก locust bean gum ซึ่งเป็นสารพวก D-galacto-D-mannoglycan ที่สกัดได้จาก Locust bean เป็นส่วนผสมในการตรึงรูป สารตัวนี้สามารถเพิ่มเสถียรภาพและความแข็งของเม็ดเจล การใช้ locust bean gum จะทำให้สามารถลดความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ใช้ในการตรึงรูป โดยความแข็งของเม็ดเจลไม่ลดลง ซึ่งจะเป็นผลดี คือ จากผลงานวิจัยนี้พบว่าที่ความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนนต่ำ จะได้จุลินทรีย์ตรึงรูปที่มีแอคติวิตีสูง แต่เม็ดเจลไม่ค่อยแข็ง ฉะนั้นเราจึงสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้สารตัวนี้ในการตรึงรูป และการใช้แคปปา-คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นต่ำจะช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งเหมาะกับเอนไซม์ที่มีความไวต่อความร้อน ส่วนวิธีการขึ้นรูปเซลล์ในงานวิจัยนี้ต้องใช้แรงงานคน ซึ่งค่อนข้างจะสิ้นเปลืองเวลาและแรงงานมาก และไม่เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรม ฉะนั้นจึงอาจปรับปรุงวิธีขึ้นรูปโดยการใช้เพอริสสเตติคปั๊มในการขึ้นรูป ซึ่งสามารถทำได้เป็นระบบต่อเนื่อง และได้เม็ดเจลที่มีขนาดสม่ำเสมอ

การลดความขมโดยจุลินทรีย์ตรึงรูปในงานวิจัยนี้ เป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาค่อนข้างนาน ดังนั้นจึงน่าจะมีการทดลองปรับปรุงให้มีการผลิตแบบต่อเนื่อง เช่น การบรรจุจุลินทรีย์ตรึงรูปลงในคอลัมน์ (Packed-bed reactor) หรือทำแบบฟลูอิไดเซชั่น ให้จุลินทรีย์ตรึงรูปมีการเคลื่อนที่เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยากับสับสเตรท ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตน้ำมะนาวถนอมที่มีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค โดยมีการปรับปรุงรูปแบบต่าง ๆ ให้เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การผลิตแบบต่อเนื่องสำหรับใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป