การผลิตกรดกลูโคนิคโดย *Aspergillus* sp. G153 ที่ตรึงในแคลเซียมอัลจิเนต

นางสาวกุลธิรา สู่สุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาจุลชีววิทยา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-534-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T 15302737

PRODUCTION OF GLUCONIC ACID BY *Aspergillus* sp. G153 IMMOBILIZED IN CALCIUM ALGINATE

Miss. Kultira Soosuk

A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Microbiology
Graduate School
Chulalongkorn University
1995

ISBN 974-632-534-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตกรดกลูโคนิคโดย *Aspergillus* sp. G153 ที่ตรึงในแคลเซียมอัลจิเนต

โดย นางสาว กุลธิรา สู่สุข

ภาควิชา จุลชีววิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ กรรณิกา จันทรสอาด

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วีระวุฒิ มหามนตรี)

อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ กรรณิกา จันทรสอาด)

กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธนียวัน)

กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ส่งศรี กุลปรีชา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กุลธิรา สู่สุข : การผลิตกรดกลูโคนิคโดย *Aspergillus* sp. G153 ที่ตรึงในแคลเซียม-อัลจิเนต (PRODUCTION OF GLUCONIC ACID BY *Aspergillus* sp. G153 IMMOBILIZED IN CALCIUM ALGINATE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.กรรณิกา จันทรสอาด, 120 หน้า. ISBN 974-632-534-5

ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรึงสปอร์และการเพาะเลี้ยงสปอร์ตรึงของ *Aspergillus* sp. G153 เพื่อการผลิตกรดกลูโคนิค คือ ใช้สปอร์หนาแน่น 1.0 - 2.5 x 10^9 สปอร์ต่อโซเดียมอัลจิเนต 2.5 เปอร์เซนต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) 100 มิลลิลิตร ขนาดเม็ดเจลสปอร์ตรึง 3.5 มิลลิเมตร เพาะเลี้ยงเม็ดเจลสปอร์ตรึงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำตาลกลูโคส 250 กรัมต่อลิตร เป็นแหล่งคาร์บอน แอมโมเนียมซัลเฟต 0.8 กรัมต่อลิตรเป็นแหล่งไนโตรเจน เป็นเวลา 66 ชั่วโมง ส่วนภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดกลูโคนิคในระดับขวดเขย่า คือใช้เม็ดเจลสายใยตรึง 40 กรัมต่ออาหารเลี้ยงเชื้อ 1 ลิตร ซึ่งมีน้ำตาลกลูโคสและแอมโมเนียมซัลเฟต 250 และ 0.2 กรัม เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน ตามลำดับ สำหรับการขยายส่วนผลิตในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่างภาวะที่เหมาะสม คือใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์ 50 กรัมต่อลิตรเป็นแหล่งคาร์บอน แอมโมเนียมซัลเฟต 0.2 กรัมต่อลิตรเป็นแหล่งไนโตรเจน อัตราการให้อากาศ 10 ลิตรต่อลิตรอาหารเลี้ยงเชื้อต่อนาที ความหนาแน่นเม็ดเจลสายใยตรึง 300 กรัมต่อลิตร

สามารถใช้แป้งไฮโดรไลเสตเป็นแหล่งคาร์บอนแทนกลูโคสบริสุทธิ์ ใช้น้ำประปาแทนน้ำปลอดประจุได้ และสามารถผลิตกรดซ้ำได้อย่างน้อย 10 ครั้ง ในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่างโดยผลผลิตไม่ลดลง เมื่อผลิตกรดกลูโคนิคซ้ำ 6 ครั้งในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีองค์ประกอบเพียงแป้งไฮโดรไลเสตที่มีความเข้มข้นกลูโคส 50 กรัมต่อลิตรและน้ำประปาเท่านั้น พบว่าผลผลิตกรดคงเดิม เมื่อตรวจการเติบโตของสายใยตรึงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดพบว่า มีสายใยตรึงเติบโตอยู่เฉพาะบริเวณผิวและลึกลงไปจากผิว 0.5 - 0.6 มิลลิเมตร และสามารถเก็บเม็ดเจลสปอร์ตรึง และเม็ดเจลสายใยตรึงไว้ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 และ 5 วัน ตามลำดับ โดยความสามารถในการผลิตกรดกลูโคนิคยังคงเดิม

ภาควิชา จุลชีววิทยา
สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต กุลธิรา สู่สุข
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา กรรณิกา จันทรสอาด
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม —

C 526123 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY
KEY WORD: *Aspergillus* sp. / GLUCONIC ACID / IMMOBILIZED MYCELIA / CALCIUM ALGINATE

KULTIRA SOOSUK : PRODUCTION OF GLUCONIC ACID BY *Aspergillus* sp. G153 IMMOBILIZED IN CALCIUM ALGINATE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. KANNIKA CHANTARASA-ARD, 120 pp. ISBN 974-632-534-5

The suitable conditions for the immobilization of *Aspergillus* sp. G153 spores in calcium alginate beads and precultivation were as followed; 1.0 - 2.5 x 10^9 spores per 2.5% (w/v) of 100 ml. sodium alginate, 3.5 mm. bead size and 66 hr. precultivation time in medium containing 250 g/l of glucose and 0.8 g/l of ammonium sulfate as carbon and nitrogen sources respectively. Forty grams of the immobilized bead per 1 liter of production medium containing 250 g of glucose and 0.2 g of ammonium sulfate as carbon and nitrogen sources respectively were suitable for gluconic acid production in shake flask culture. The optimal conditions for gluconic acid production in glass bubble column were 50 and 0.2 g/l of glucose and ammonium sulfate as carbon and nitrogen sources respectively, aeration rate : 10 vvm, inoculum size : 30% (w/v).

Starch hydrolysate and tap water could be used in stead of glucose and deionized water for 10 repeated batch in glass bubble column without reduction in the yield. Moreover, for six repeated batch in medium containing only starch hydrolysate and tap water, there is no decrease in production. The examination of the mycelial growth by scanning electron microscope demonstrated mycelial growth at the bead surface and extended 0.5 - 0.6 mm. into the bead. The immobilized spore and mycelia were able to retain their activities even after storing at 6 ^{o}C for 7 and 5 days respectively.

ภาควิชา จุลชีววิทยา
สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม —

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ กรรณิกา จันทรสอาด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ แนวความคิดและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการ และคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ด็อกเตอร์ ชินิชิ คิโนชิตะ (Prof. Dr. Shinishi Kinoshita) แห่งมหาวิทยาลัย ฮ็อกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด ที่กรุณาเอื้อเฟื้อแป้งไฮโดรไลเสตให้ใช้ตลอดการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณรุจิพร ประทีปเสน ที่ช่วยให้คำแนะนำและถ่ายภาพสายใยตรึงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดีจนบรรลุถึงจุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ คุณศรสดมภ์ ขัติยะวรา และคุณนิติพงษ์ จิระวรานันท์ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการทำสไลด์และบันทึกภาพเพื่อใช้ในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณมารดา และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญรูป..... ฌ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย..... 19

3. ผลการวิจัย..... 37

4. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย..... 92

รายการอ้างอิง..... 105

ภาคผนวก..... 113

ประวัติผู้เขียน..... 120

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. ตัวอย่างการตรึงเซลล์หรือสายใยในสารพาหะต่าง ๆ..... 7
2. ตัวอย่างการตรึงจุลินทรีย์ในแคลเซียมอัลจิเนตเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ..... 10
3. เปรียบเทียบการพบสายใยอิสระในอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อการทำให้สปอร์ตรึงงอกที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้นต่าง ๆ กัน และผลผลิตกรดกลูโคนิคจากสายใยตรึง..... 44
4. เปรียบเทียบการพบสายใยอิสระในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้นต่าง ๆ กันและผลผลิตกรดกลูโคนิคจากสายใยตรึง..... 50
5. ปริมาณกรดกลูโคนิค และเวลาที่พบตะกอนข้นแข็งเมื่อผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงของ *Aspergillus* sp.G153 เมื่อแปรความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสต่างกัน..... 55
6. ปริมาณกรดกลูโคนิค และเวลาที่พบตะกอนข้นแข็งเมื่อแปรผันความหนาแน่นของเม็ดเจลสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 ที่ใช้ในการผลิต..... 59

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1. ขั้นตอนการเกิดกรดกลูโคนิคจากน้ำตาลกลูโคส..... 1
2. การตรึงสปอร์ *Aspergillus* sp.G153 ในแคลเซียมอัลจิเนต..... 23
3. การผลิตกรดกลูโคนิคระดับขยายส่วนในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง.... 26
4. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 เมื่อใช้โซเดียมอัลจิเนตของบริษัท นาคาราอิ ความเข้มข้นต่าง ๆ กันในการตรึงสปอร์..... 38
5. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 เมื่อใช้โซเดียมอัลจิเนตของบริษัท ฟลูกา ความเข้มข้นต่าง ๆ กันในการตรึงสปอร์..... 40
6. การผลผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 เมื่อตรึงสปอร์ความหนาแน่นต่าง ๆ กัน..... 42
7. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 เมื่อทำให้สปอร์ตรึงงอกในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นแอมโมเนียมซัลเฟตต่างกัน..... 45
8. ผลการแปรผันอายุของหัวเชื้อที่ใช้ในการผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงของ *Aspergillus* sp.G153 47
9. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงของ *Aspergillus* sp.G153 เมื่อแปรผันขนาดเม็ดเจลสปอร์ตรึงต่างกัน 2 ขนาด..... 48
10. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 เมื่อแปรผันความเข้มข้นแอมโมเนียมซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงต่างกัน..... 51
11. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 เมื่อแปรผันปริมาณเม็ดเจลสายใยตรึงที่ใช้ในการผลิตกรดต่างกัน..... 53
12. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงระดับขยายส่วนในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อใช้น้ำตาลกลูโคส 100 กรัมต่อลิตรเป็นแหล่งคาร์บอน..... 56
13. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงระดับขยายส่วนในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อแปรผันอัตราการให้อากาศต่าง ๆ กัน..... 57

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

14. การผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงระดับขยายส่วนในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อแปรผันปริมาณเม็ดเจลสายใยตรึงที่ใช้ในการผลิตต่าง ๆ กัน..... 60
15. การผลิตกรดกลูโคนิคระดับขยายส่วนในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่างโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp. G153 เมื่อใช้น้ำตาลกลูโคส 50 กรัมต่อลิตรเป็นแหล่งคาร์บอน โดยแปรผันความหนาแน่นเม็ดเจลสายใยตรึงต่าง ๆ กัน.... 61
16. เปรียบเทียบผลการผลิตกรดกลูโคนิคระดับขยายส่วนในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อใช้น้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์และแป้งไฮโดรไลเสตเป็นแหล่งคาร์บอน... 63
17. เปรียบเทียบผลการผลิตกรดกลูโคนิคระดับขยายส่วนในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่างด้วยสายใยตรึง เมื่อใช้น้ำปลอดประจุและน้ำประปาในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ..... 65
18. เปรียบเทียบผลการผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตรึงในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่างกับสายใยอิสระในถังหมักขนาด 5 ลิตร..... 66
19. ปริมาณกรดกลูโคนิค เมื่อทำการผลิตซ้ำ 10 ครั้งโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 ในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อใช้น้ำปลอดประจุในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ..... 68
20. ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เหลือเมื่อผลิตกรดกลูโคนิคซ้ำ 10 ครั้งในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อใช้น้ำปลอดประจุในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ..... 69
21. ปริมาณกรดกลูโคนิคเมื่อทำการผลิตกรดซ้ำ 10 ครั้งโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 ในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อใช้น้ำประปาแทนน้ำปลอดประจุในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ..... 70
22. ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เหลือเมื่อผลิตกรดกลูโคนิคซ้ำ 10 ครั้งในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง โดยใช้น้ำประปาแทนน้ำปลอดประจุในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ..... 71

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

23. เปรียบเทียบปริมาณกรดกลูโคนิคเมื่อผลิตกรดซ้ำโดยสายใยตรึงในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง ใช้น้ำปลอดประจุและน้ำประปาในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ..... 72

24. ปริมาณกรดกลูโคนิค เมื่อทำการผลิตกรดซ้ำโดยสายใยตรึงในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง โดยเติมแหล่งไนโตรเจนในการผลิตครั้งแรกแต่ไม่เติมในการผลิตซ้ำที่ 2 ถึง 6..... 74

25. ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เหลือ เมื่อทำการผลิตกรดซ้ำโดยสายใยตรึงในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง โดยเติมแหล่งไนโตรเจนในการผลิตครั้งแรกแต่ไม่เติมในการผลิตซ้ำที่ 2 ถึง 6..... 75

26. ปริมาณกรดกลูโคนิค เมื่อทำการผลิตกรดซ้ำ 6 ครั้งโดยสายใยตรึงในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อไม่เติมแอมโมเนียมซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิตกรดทุกซ้ำ..... 76

27. ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เหลือ เมื่อทำการผลิตกรดซ้ำ 6 ครั้งโดยสายใยตรึงในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อไม่เติมแอมโมเนียมซัลเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิตกรดทุกซ้ำ..... 77

28. เปรียบเทียบปริมาณกรดกลูโคนิคในการผลิตซ้ำ 6 ครั้ง ในคอลัมน์แก้วที่มีการให้อากาศด้านล่าง เมื่อเติมแหล่งไนโตรเจนในการผลิตครั้งแรก แต่ไม่เติมในการผลิตซ้ำที่ 2 ถึง 6 กับเมื่อไม่เติมแหล่งไนโตรเจนในการผลิตทั้ง 6 ซ้ำ..... 78

29. HPLC โครมาโตแกรมของแคลเซียมกลูโคเนต ที่สร้างโดยสายใยตรึง *Aspergillus* sp.G153 80

30. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเจลสายใยตรึงผ่าครึ่ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเม็ดเจลสปอร์ตรึง ในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรเหมาะสมเพื่อการทำให้สปอร์ตรึงงอกนาน 66 ชั่วโมง..... 81

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

31. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของแว่นเม็ดเจลสายใยตริง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเม็ดเจลสปอร์ตริง ในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรเหมาะสม เพื่อการทำให้สปอร์ตริงงอกนาน 66 ชั่วโมง..... 82

32. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของแว่นเม็ดเจลสายใยตริง ที่ได้จากการผลิตกรดกลูโคนิคซ้ำ เมื่อเติมแอมโมเนียมซัลเฟตในการผลิตครั้งแรก หลังจากนั้นไม่เติม (ขยาย 430 เท่า)..... 83

33. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของแว่นเม็ดเจลสายใยตริงที่ได้จากการผลิตกรดกลูโคนิคซ้ำ เมื่อเติมแอมโมเนียมซัลเฟตในการผลิตครั้งแรก หลังจากนั้นไม่เติม (ขยาย 1000 เท่า)..... 84

34. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด แสดงความหนาแน่นของสายใยตริงที่เจริญอยู่บนผิวเม็ดเจลที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเม็ดเจลสปอร์ตริงในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรเหมาะสมเพื่อการทำให้สปอร์ตริงงอกนาน 66 ชั่วโมง..... 86

35. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด แสดงความหนาแน่นของสายใยตริงที่เจริญอยู่บริเวณผิวของเม็ดเจลที่ได้จากการผลิตกรดกลูโคนิคในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตริง 1 ครั้ง..... 87

36. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด แสดงความหนาแน่นของสายใยตริงที่เจริญอยู่บริเวณผิวของเม็ดเจลที่ได้จากการผลิตกรดกลูโคนิคซ้ำโดยเติมแอมโมเนียมซัลเฟต ในการผลิตครั้งแรกหลังจากนั้นไม่เติม..... 88

37. ผลการผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตริง *Aspergillus* sp.G153 ที่ได้จากเม็ดเจลสปอร์ตริงซึ่งเก็บไว้ที่ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน..... 89

38. ผลการผลิตกรดกลูโคนิคโดยสายใยตริง *Aspergillus* sp.G153 เมื่อเก็บเม็ดเจลสายใยตริงไว้ที่ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน..... 91