

ผลของภาวะการเลี้ยง *Acetobacter* สายพันธุ์ Agr 60 และ TISTR 975
ต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้นเซลล์ไคส

นางสาว ธัญญารัตน์ พงศ์ทรงกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-130-569-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CULTURE CONDITIONS ON PHYSICAL PROPERTIES OF CELLULOSE PELLICLE
PRODUCED BY *Acetobacter* spp. strain Agr 60 and TISTR 975

Miss Thunyarat Pongtharangkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Biotechnology

Programme of Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-130-569-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของภาวะการเลี้ยง *Acetobacter* สายพันธุ์ Agr 60 และ TISTR 975
ต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้นเซลล์ูโลส

โดย

นางสาว ธัญญารัตน์ พงศ์ทรงกูร

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเจียร

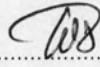
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

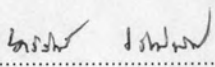

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

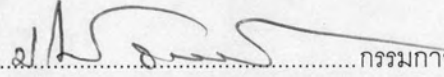
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเจียร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)


..... กรรมการ
(นาย ปราโมทย์ ธรรมรัตน์)

ฉัญญารัตน์ พงศ์พรานกุล: ผลของภาวะการเลี้ยง *Acetobacter* สายพันธุ์ Agr 60 และ TISTR 975 ต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้นเซลลูโลส (EFFECTS OF CULTURE CONDITIONS ON PHYSICAL PROPERTIES OF CELLULOSE PELLICLE PRODUCED BY *Acetobacter* spp. strain Agr 60 and TISTR 975) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. สุเมธ ตันตระเธียร, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: ผศ.ดร. พาสวดี ประทีปะเสน, 113 หน้า. ISBN 974-13-0569-9

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาวิธีการสำหรับใช้ในการวัดและประเมินคุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่ผลิตจากเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter* sp. และ 2) ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส องค์ประกอบและโครงสร้างร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่สร้างจากเชื้อสายพันธุ์ Agr 60 และ TISTR 975 ผลการทดลองพบว่าวิธีที่ง่ายและเหมาะสมสำหรับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นเซลลูโลส คือการวัดค่าแรงเจาะที่ความเร็ว 1 มม/ วินาที โดยค่าแรงเจาะสำหรับวุ้นเนื้อนิ่ม เนื้อแน่นและเนื้อแข็งมีค่าเท่ากับ 40.4 ± 1.7 , 71.0 ± 9.8 และ 101.5 ± 7.6 นิวตัน ตามลำดับ ปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียก (%cellulose content) ของแผ่นวุ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเซลล์แบคทีเรียต่อน้ำหนักเปียก (%cell content) ในอัตราส่วน 3.6:1 แต่เป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลส โดยแผ่นวุ้นชนิดนิ่มซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกต่ำที่สุดมีค่าของปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสสูงที่สุดและมีค่าเท่ากับ 219 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส ซึ่งสูงเป็น 1.5 และ 1.9 เท่าของค่าจากแผ่นวุ้นชนิดแน่นและชนิดแข็ง ตามลำดับ ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงว่าแผ่นวุ้นทั้ง 3 ชนิดมีขนาดโดยเฉลี่ยของเส้นใยใกล้เคียงกันเท่ากับ 60 นาโนเมตร แต่แผ่นวุ้นชนิดแข็งมีการรวมกลุ่มของเส้นใยเซลลูโลสเกิดเป็นกลุ่มของเส้นใยขนาดใหญ่ถึง 300 นาโนเมตร เมื่อปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นมีค่าสูงขึ้นนั้นร่างแหเซลลูโลสมีความหนาแน่นของการสานกันสูงขึ้น แต่มีขนาดของรูโพรงและช่องว่างสำหรับกักเก็บน้ำในโครงสร้างน้อยลง โดยแผ่นวุ้นชนิดนิ่มมีขนาดของรูโพรงใหญ่ที่สุดและมีค่าเท่ากับ 0.6 ไมครอน รองลงมาคือแผ่นวุ้นชนิดแข็งและชนิดแน่นซึ่งมีขนาดรูโพรงประมาณ 0.3 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งคาร์บอนในอาหารน้ำมะพร้าวพบว่า เชื้อ Agr 60 สร้างแผ่นวุ้นที่มีความหนาและน้ำหนักเปียกสูงกว่าเชื้อ TISTR 975 ถึง 1.4 เท่า โดยการเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสจาก 5 เป็น 10% ส่งผลให้ปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกและปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ทั้งหมดของ Agr 60 สูงขึ้นถึง 1.5 เท่า และมีค่าเท่ากับ 8.24 กรัม/ ลิตรเมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 10% นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสจาก 5 เป็น 10% ยังส่งผลให้แผ่นวุ้นที่สร้างจากเชื้อ Agr 60 มีค่าแรงเจาะและค่า Hardness สูงขึ้น 1.8 และ 1.4 เท่า ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวส่งผลให้เชื้อทั้งสองสายพันธุ์เจริญได้ดีขึ้นและมีปริมาณเซลล์แบคทีเรียทั้งหมดในแผ่นวุ้นเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า การเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณ 0.1% ส่งผลให้เชื้อ Agr 60 สร้างแผ่นวุ้นที่มีความหนาและน้ำหนักเปียกสูงขึ้นถึง 1.3 และ 1.5 เท่า และแผ่นวุ้นที่ได้มีค่าแรงเจาะและค่า Hardness ลดลงเหลือเพียง 40 และ 64% ตามลำดับ นอกจากนี้การเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณ 0.1% ยังส่งผลให้เชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์สร้างเซลลูโลสได้สูงขึ้นไปถึง 1.3 เท่า โดยเชื้อ Agr 60 สร้างเซลลูโลสได้สูงกว่า TISTR 975 ประมาณ 1.2 เท่าและสร้างเซลลูโลสได้ถึง 6.3 กรัม/ ลิตร อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียก ค่าแรงเจาะและค่า Hardness ของแผ่นวุ้น โดยการเพิ่มอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนจาก 20:1 เป็น 80:1 ส่งผลให้ปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียก ค่าแรงเจาะและค่า Hardness ของแผ่นวุ้นที่สร้างจาก Agr 60 เพิ่มขึ้นเป็น 1.4, 3.1 และ 1.7 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันก็ส่งผลให้ปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสลดลงจาก 130 เป็น 90 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส

ภาควิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....*ฉัญญารัตน์ พงศ์พรานกุล*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*[ลายมือ]*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*[ลายมือ]*.....

4072272323: MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: *Acetobacter* / BACTERIAL CELLULOSE / PHYSICAL PROPERTIES / CELLULOSE NETWORK STRUCTURE / NATA DE COCO

THUNYARAT PONGTHARANGKUL: THESIS TITLE. EFFECTS OF CULTURE CONDITIONS ON PHYSICAL PROPERTIES OF CELLULOSE PELLICLE PRODUCED BY *Acetobacter* spp. strain Agr 60 and TISTR 975. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUMATE TANTRATIAN, Ph.D., THESIS COADVISOR: ASST. PROF. PASAWADEE PRADIPASENA, Sc.D., 113 pp. ISBN 974-13-0569-9

This research aims at 1) development of scientific methods for measuring texture qualities and 2) determination of the relationship of strain, carbon source and nitrogen source concentration to chemical compositions, cellulose network structure and physical properties of cellulose pellicle produced by *Acetobacter* spp strain Agr 60 and TISTR 975. The results indicate that measuring of puncture force at 1 mm/sec is an easy and suitable method for classifying texture quality of cellulose pellicle. Puncture forces are 40.4 ± 1.7 , 71.0 ± 9.8 and 101.5 ± 7.6 N for soft, firm and hard cellulose pellicle, respectively. The cellulose content of pellicle is a linear function of the cell content, but is inversely proportional to water content. The increasing of 1% of cell content causes linearly increasing of 3.6% of cellulose content. Soft pellicle, which has the highest water content of 219 g-water per g-cellulose, has the lowest cellulose network density with 0.6 micron pore size while firm pellicle, which has the lowest water content of 120 g-water per g-cellulose, has the highest cellulose network density with 0.2 micron pore size. Even though an average size of cellulose fibril is around 60 nm for all three types, cellulose fibril bundle of the hard one is the largest of 300 nm, which results in its highest hardness and water lose during compression. Study on effects of addition of sucrose to the coconut medium shows that Agr 60 gives 1.4 times higher thickness and wet weight of pellicle than TISTR 975. In Agr 60, the increasing of sucrose concentration from 5 to 10% results in 1.5 times higher %cellulose content and cellulose yield (8.24 g/l). It also results in increasing of puncture force and hardness of about 1.8 and 1.4 times, respectively. The addition of ammonium dihydrogen phosphate, as a nitrogen source, enhances growth in both strains and results in 2 times higher %cell content. In Agr 60, the addition of 0.1% ammonium dihydrogen phosphate increases thickness and wet weight of 1.3 and 1.5 times, but decreases puncture force and hardness about 40 and 64%, respectively. The addition of 0.1% ammonium dihydrogen phosphate results in 1.3 times higher cellulose yield in both strain, but Agr 60 gives 1.2 times higher cellulose yield (6.3 g/l) than TISTR 975. For Agr 60 as the higher the C/N ratio of medium is increased, the higher the %cellulose content, puncture force and hardness are detected. The increasing of C/N ratio from 20:1 to 80:1 increases %cellulose content, puncture force and hardness about 1.4, 3.1 and 1.7 times, respectively, but decreases water content of pellicle from 130 to 90 g-water per g-cellulose.

Department Biotechnology

Field of study Biotechnology

Academic year 2000

Student's signature..... *Thunyarat Pongtharangkul.*

Advisor's signature..... *[Signature]*

Co-advisor's signature..... *[Signature]*

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยได้รับความกรุณา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและความช่วยเหลืออย่างยิ่ง รวมถึงกำลังใจจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเรีเยร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำงานวิจัย ข้อคิดเห็นและคำแนะนำเพื่อปรับปรุงผลงาน นอกจากนี้ยังกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ศิษย์ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อสายพันธุ์ Agr 60 และตัวอย่างแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวสดชนิดต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังกรุณาให้คำแนะนำและความรู้เพิ่มเติมในการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวอีกด้วย

ขอขอบคุณ คุณรัตนา ม่วงรัตน์ ตลาดมหรานาค ที่เอื้อเฟื้อน้ำมะพร้าวแก่สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกในการใช้สถานที่และห้องปฏิบัติการในระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณอาและพี่ๆน้องๆ รวมถึงเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณมากค่ะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 วารสารปริทัศน์	2
2.1 วัฒนธรรมมะพร้าว	2
2.2 ลักษณะ <i>Acetobacter aceti</i> subsp. <i>xylinum</i>	2
2.3 การสร้างแผ่นวุ้นเซลลูโลสของ <i>A. xylinum</i>	3
2.4 ชีวเคมีของการผลิตเซลลูโลสโดย <i>A. xylinum</i>	4
2.5 ลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลสและโครงสร้างของแผ่นวุ้นเซลลูโลส ที่สร้างโดย <i>A. xylinum</i>	7
2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเจริญและการสร้างแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวของ <i>A. xylinum</i>	11
2.7 อิทธิพลของปัจจัยในการเลี้ยงต่อสมบัติของเซลลูโลสที่สร้างโดย <i>A. xylinum</i>	16
2.8 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร	25
2.9 Texture Profile Analysis (TPA)	25
2.10 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นเซลลูโลส	27
2.11 การใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสที่ผลิตโดย <i>A. xylinum</i>	32
3 วิธีการทดลอง	34
3.1 วัตถุประสงค์	34
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	34
3.3 แบบคที่เรียกใช้ในการทดลอง	34
3.4 การเก็บรักษาเชื้อที่ใช้ในการทดลอง	34
3.5 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบและโครงสร้างร่างแห เซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ	35
3.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งคาร์บอนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติ ของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่สร้างโดยเชื้อ Agr 60 และ TISTR 975	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
3.7	ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติ ของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่สร้างโดยเชื้อ Agr 60 และ TISTR 975.....	39
3.8	ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อ สมบัติของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่สร้างโดยเชื้อ Agr 60.....	40
4	ผลการทดลองและวิจารณ์.....	41
4.1	ศึกษาสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบและโครงสร้าง ร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ.....	41
4.1.1	สมบัติทางกายภาพ.....	41
4.1.2	องค์ประกอบของแผ่นวุ้น.....	46
4.1.3	ลักษณะของการสานร่างแหและเส้นใยเซลลูโลส.....	50
4.2	ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งคาร์บอนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส.....	56
4.2.1	ความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น.....	56
4.2.2	สมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้น.....	58
4.2.3	องค์ประกอบของแผ่นวุ้นและปริมาณเซลลูโลสที่ได้.....	61
4.3	ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส.....	65
4.3.1	ความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น.....	65
4.3.2	สมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้น.....	67
4.3.3	องค์ประกอบของแผ่นวุ้นและปริมาณเซลลูโลสที่ได้.....	69
4.3.4	ลักษณะของการสานร่างแหและเส้นใยเซลลูโลส.....	69
4.4	ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าว ต่อสมบัติต่างๆของแผ่นวุ้นเซลลูโลส.....	73
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	77
	รายการอ้างอิง.....	81
	ภาคผนวก.....	88
	ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	89
	ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์.....	90
	ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล คาร์บอนและไนโตรเจนในน้ำมะพร้าว.....	93
	ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	94
	ประวัติผู้เขียน.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	แสดงอิทธิพลของสารเคมีชนิดต่างๆต่อความยาวของเซลล์ <i>A. xylinum</i> , ความกว้างของเส้นใยเซลลูโลสที่เชื่อมต่อและค่า Young's Modulus ของแผ่นซีทที่ได้ 18
2	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวต่อความหนาของแผ่นวุ้นเซลลูโลสในงานวิจัยอื่นๆ 19
3	อิทธิพลของการเลี้ยงแบบ 2 ขั้นตอนต่อสมบัติของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 24
4	ผลของความเร็วในการเจาะต่อค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ 42
5	ค่าแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสจากการทำ TPA ของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ 45
6	องค์ประกอบของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ 47
7	ขนาดของเส้นใยเซลลูโลส เซลล์แบคทีเรียและโพรงในร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ 51

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	วิถีเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตใน <i>A. xylinum</i> 5
2	วิถีชีวเคมีของการผลิตเซลลูโลสของ <i>A. xylinum</i> 6
3	ภาพจำลองกลไกการทำงานของ cellulose synthase..... 6
4	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ P-fracture force ของ lipopolysaccharide membrane (PF) และ outer surface (ES) ของเซลล์แบคทีเรีย <i>A. xylinum</i> แสดงลักษณะการเรียงเป็นเส้นตรงของ TC ขนานไปกับแกนสมมาตรตามยาวของเซลล์..... 8
5	ภาพจำลองแสดงรูปแบบการเรียงของ TC และการรวมตัวของสายเซลลูโลสที่สร้างจาก <i>A. xylinum</i> 8
6	ภาพจำลองแสดง cellulose-synthesizing complex ของ <i>A. xylinum</i> 8
7	ภาพจำลองการสร้างเส้นใยเซลลูโลสของ <i>A. xylinum</i> 9
8	เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสที่สร้างจาก <i>A. xylinum</i> กับเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์อื่น ๆ..... 10
9	ภาพจำลองการแตกกิ่งของเส้นใยเซลลูโลสแบบ 3-way branching points ซึ่งเกิดจากการแบ่งเซลล์ของ <i>A. xylinum</i> 10
10	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่สร้างโดย <i>A. xylinum</i> 12
11	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดง fracture edge ของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่สร้างโดย <i>A. xylinum</i> 12
12	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะของเซลลูโลสที่ผลิตจากเชื้อ <i>A. xylinum</i> เมื่อใช้น้ำตาล (a) กลูโคส และ (b) ไฮโดรเจน เป็นแหล่งคาร์บอน..... 20
13	กราฟแสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของออกซิเจนใน gaseous phase ต่อปริมาณเซลลูโลสที่ผลิตได้..... 22
14	กราฟแสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของออกซิเจนใน gaseous phase ต่อความหนาและปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 22
15	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะของร่างแหเซลลูโลสที่ความเข้มข้นของออกซิเจนใน gaseous phase ต่างๆ (a) 10% (b) 21% และ (c) 50% 23
16	อิทธิพลของการเลี้ยงแบบ 2 ขั้นตอนต่อการเจริญและปริมาณเซลลูโลสของแผ่นวุ้น..... 24
17	TPA curve จากการทำ TPA test..... 26
18	Texture curve ของการเจาะแผ่นวุ้นสดที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นต่างๆ (a) 0% (b) 12.5% (c) 37.5% และ (d) 52.5% 29
19	ภาพจำลองแสดงลักษณะของ binary polymer gel network แบบต่างๆ..... 30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
20	แผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆเมื่อทดสอบโดยการกดด้วยนิ้วมือ (a) แผ่นวุ้นชนิดนิ่ม (b) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (c) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง..... 36
21	ลักษณะการโค้งงอของแผ่นวุ้นเซลลูโลสคุณภาพดีเมื่อถูกยก (ซ้าย) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (ขวา) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง 36
22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นกับ ปริมาณเซลล์แบคทีเรียต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น 49
23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสของแผ่นวุ้นกับ ปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น..... 49
24	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มี ลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆที่กำลังขยาย 2,000 เท่า (a) แผ่นวุ้นชนิดนิ่ม (b) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (c) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง..... 52
25	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มี ลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (a) แผ่นวุ้นชนิดนิ่ม (b) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (c) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง..... 53
26	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มี ลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆที่กำลังขยาย 35,000 เท่า (a) แผ่นวุ้นชนิดนิ่ม (b) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (c) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง..... 54
27	กราฟแสดงการกระจายของขนาดรูโพรงในร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มี ลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ (a) แผ่นวุ้นชนิดนิ่ม (b) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (c) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง..... 55
28	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อความหนาของแผ่นวุ้นเซลลูโลส..... 57
29	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นเซลลูโลส..... 57
30	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 59
31	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่า Hardness ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 59
32	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของ แผ่นวุ้นเซลลูโลส 62
33	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ทั้งหมด 62
34	ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักในวันที่ 8 ของการเลี้ยง ... 62
35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่าแรงเจาะของ แผ่นวุ้นเซลลูโลส 64
36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่า Hardness ของ แผ่นวุ้นเซลลูโลส 64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
37	ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อความหนาของแผ่นวุ้นเซลลูโลส..... 66
38	ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อน้ำหนักเปียกของ แผ่นวุ้นเซลลูโลส 66
39	ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 68
40	ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อค่า Hardness ของ แผ่นวุ้นเซลลูโลส 68
41	ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ทั้งหมด 70
42	ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อปริมาณเซลล์แบคทีเรียใน แผ่นวุ้นเซลลูโลส 70
43	ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียก ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 70
44	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นที่สร้างจาก Agr 60 ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมใน อาหารน้ำมะพร้าวเท่ากับ (a) 0% และ (b) 1% 71
45	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นที่สร้างจาก Agr 60 ที่กำลังขยาย 500 เท่า เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมใน อาหารน้ำมะพร้าวเท่ากับ (a) 0% และ (b) 1% 72
46	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหาร น้ำมะพร้าวกับปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 74
47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหาร น้ำมะพร้าวกับค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 74
48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหาร น้ำมะพร้าวกับค่า Hardness ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 74
49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหาร น้ำมะพร้าวกับปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 74
50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่าแรงเจาะ ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 76
51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่า Hardness ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 76
52	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับปริมาณน้ำต่อ กรัมเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลส 76

คำย่อและสัญลักษณ์

%	=	เปอร์เซ็นต์
มม	=	มิลลิเมตร
a	=	%cellulose content
b	=	%cell content
c	=	water per g-cellulose
d	=	puncture force
e	=	hardness